

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง จักรใจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.เผด็จศักดิ์ จารยะพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย (Peer review)

รองศาสตราจารย์ ดร.อุทัย กลิ่นเกสร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกาย เทพहार	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ศักดิ์ ศิริษะภูมิ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บวรศักดิ์ ลีนานนท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกร โรจนกร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสมพร ปรีเปรม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
สัตวแพทย์หญิง ดร.โอปอล์ พิทักษ์สกุลรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ เขมาชีวะกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มินตรา ศีลอุดม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี วังเดือย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถาวร จันทโชติ	มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชณี เจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ มกระชัช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะพร คามภิรภาพพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนกร กฤษณชาญติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาภรณ์ เอี่ยมแข่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.ธนิตชา พุทธิมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.รุศมา มฤปดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรงค์ ลังกาพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวิทย์ อุปถัมภานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ไพรัตน์ บุญญาเจริญนนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รองศาสตราจารย์ ดร.จรวัดณ์ เจริญจิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิลป์ สีเผือก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานวิทย์ แนนใส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้อมจิตต์ แก้วไทย อันเดร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มามะฮะฮูไฮมี มะแซ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระเกียรติ ทรัพย์มี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ชานาญวิทย์ พรหมโคตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญชัย ฤทธิรุทธ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิญญา รักษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเปญญา จิตตพันธ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรูญ สารินทร์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุภัทร เมฆพ่าย	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ นวลแก้ว	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย ถิฉิตระการ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐยา เหล่าฤทธิ์	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.วรวิดี สุขชัยยะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทยา ใจคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิญญู ชงไชย	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ดร.สุเมธ เพ็ญยุระ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดิมา พานิชย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์เทพ จันทรสันเทียะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รสพร เจริญจริยธรรม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.การุณ ทองประจักษ์แก้ว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศิริวงศ์ไพศาล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.กรณัญจนา ถาอินชุม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญาภรณ์ ทัดพิชญางกูร พรหมโชติ	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

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Professor Ir. Dr. Anuar Mat Safar

University Malaysia Perlis, Malaysia

Professor Mitsuhiro Sano

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

Professor Qinghua Zhang

Chongqing University of Posts and Telecommunications, China

Professor Zhangyong Li

Chongqing University of Posts and Telecommunications, China

Professor Clarissa Yvonne Domingo

Central Luzon State University, Philippines

Professor Virginia Venturina

Central Luzon State University, Philippines

Professor Noraine Medina

Central Luzon State University, Philippines

Professor Ravelina Velasco

Central Luzon State University, Philippines

Professor Ronaldo Alberto

Central Luzon State University, Philippines

Professor Edilyn Lansangan

Central Luzon State University, Philippines

Professor Ariel Mactal

Central Luzon State University, Philippines

Associate Professor Dr. David Crookall

University of Nice Sophia Antipolis, France

Associate Professor Dr. Ir. Wan Arfiani Barus, M.P

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

รองศาสตราจารย์ณัฐวรรธน์ ปภาวสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่น จันจุฬา

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติรี หอมเขียว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข อุคม

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์เกษรา คูหา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ประพจน์ พรหมสมบูรณ์

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยโท (หญิง) ดร.เกิดศิริ เจริญวิศาล

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิธิดา จรุงเกียรติกุล

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ แก้วบุญมา

คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักษมี วิทยา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิกรม ฉันทรางกูร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ดร.ทรงสิน ชีระกุลพิศุทธิ์

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ดร.ทักษิณ ขาวเนียม

คณะคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ดร.กิตติมา ตันติหาชัย

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ดร.สหพงศ์ สมวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

นางสาวคุณิกา ธนะเสวตร

วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

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

Effects of Extracting Conditions of Pigmented Rice Bran on Anthocyanin.....	541-552
and Antioxidant Activity and Its Storage Stability	
Supaporn Pajareon	
ผลกระทบของปริมาณยางรถยนต์บดและยางพาราแห้งต่อสมบัติทางกล.....	553-567
ของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก	
ชาติรี หอมเขียว สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์ และ วรพงศ์ บุญช่วยแทน	
การอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่.....	568-583
เกียรติศักดิ์ ใจโต เทวรัตน์ ตริอำนาจ และ กระวี ตริอำนาจ	
การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช.....	584-597
การันย์ พรหมเทพ	
การติดโรคปรสิตในระบบทางเดินอาหารและเลือดของโคเนื้อ.....	598-608
ในอำเภอฉวาง จังหวัดนครราชสีมา	
วิมลจิตา จันทน์เขียว	
ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากฝอยทองและแบคทีเรีย.....	609-622
ต่อการควบคุมไรไขปลา	
กิริติ ดันเรือน สุภัค คนดารา เรืองวุฒิ ชุติมา ทิวธวัช นาพิรุณ	
และ พิธิษฐ์ พูลประเสริฐ	
An Integrated Fluidized Bed Bioreactor (iFBBR) by Mathematical Models	623-636
Rattapol Suksomboon Sutawan Tangjitjaroenkit	
and Chaiyan Junsiri	
ผลของอายุผลต่อคุณภาพการเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอม.....	637-646
สุดนัย เครือหิ์ กฤษณพงศ์ สุขกาย วุฒิสักดิ์ รัตนสุภา	
และ ธรรมศักดิ์ พุทธกาล	
การศึกษาปริมาณไมโครเว็กซ์ที่เหมาะสมในการเคลือบเชือกกล้วย.....	647-658
สำหรับผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์	
โสภิตา วิศาลศักดิ์กุล และ อรวิทย์ อุปลัมภานนท์	

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิ้น.....	659-675
และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกกีข้าวสังข์หยด	
อมรรัตน์ ถนนแก้ว	
สมบัติทางด้านซีเมนต์ของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต.....	676-691
จากขยะอิเล็กทรอนิกส์	
กฤษดา เสือเอี่ยม อติศักดิ์ ข่ายม่าน บุรฉัตร นัทรวิระ	
และ ณัฏฐ์ มากุล	
ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากขยะดอกกล้วยไม้ในท้องถิ่น.....	692-703
รพีพร ชัยชนะ	
ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ได้จากการหมักเปลือกส้มโอ.....	704-716
ในการยับยั้งแบคทีเรีย	
ฉานิกา แซ่แฉ่ ชุกกลั่น วรรณวิภา ไชยชาญ และ ปวีณา ดิกิจ	
ผลของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ (<i>Phyllanthus urinaria</i>) ต่อสุขภาพตับและ.....	717-731
ตับอ่อน การต้านอนุมูลอิสระ การตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน และความต้านทาน	
โรคตับและตับอ่อนวายฉับพลันของกุ้งขาวแวนนาไม (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	
อุทร เจริญเดช วรวุฒิ เกิดปราง และ จำเริญศรี ถาวรสุวรรณ	
ผลการทดแทนบ้วยสดด้วยบ้วยดองเค็มต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อุเมะซู	732-741
สกุลคุณ มากคุณ ชุพรัตน์ โพธิ์เศษ และ สุมณา เหลืองจิติกายจนา	
An Efficiency of DNA Extraction Methods for Green Microalgae	742-753
Watcharee Kunyalung Piriya Putanyawiwat	
Chaivarakun Chaipanya and Vipa Hongtrakul	
ผลของอายุการเก็บเกี่ยว ต่อปริมาณสารโพลีแซคเคียม สารทุตยภูมิ.....	754-763
และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของหญ้าหนวดแมว	
นรินทร์ ท้าวแก่นจันทร์ กอบลาภ อริศรีสม ภาวิณี อริศรีสม	
และ ศักดิ์ชัย เสถียรพีระกุล	
ผลของวัสดุปลูกและแสงที่มีต่อการเจริญของกระบองเพชร.....	764-777
ธิดาวดี ดิษฐปาน นุริศดาเยห์ บาระดาเย สุวรรณี ปาธารัตน์	
และ วรางคณา เรียนสุทธิ	

ปริมาณแคลเซียม คุณภาพทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาท..... 778-789

สัมผัส ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาตากเสริมผงก้างปลาตาก

วชิรญา เหลียวตระกุล วิจิตรา เหลียวตระกุล และ ชุพิน พุนดี

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับโดยใช้สารสกัดธรรมชาติจาก..... 790-803

ใบเทียนกิ่ง แก่นฝาง ดอกอัญชัน เปลือกมังคุด และกะหล่ำปลีแดง

สุพัตรา รักษาพรต กวินภพ เย็นแยม สุชาติพิศ กลั่นแดง วรยุทธ ชำปฏี

ปานศิริ ธรรมเกษตร สุพัตรา งอกงาม และ สุนิษา สุวรรณเจริญ

ผลของสภาวะที่ใช้ในการสกัดรำข้าวที่มีสีต่อปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านออกซิเดชันและความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา

Effects of Extracting Conditions of Pigmented Rice Bran on Anthocyanin and Antioxidant Activity and Its Storage Stability

สุภาพร พาเจริญ *

Supaporn Pajareon*

Received: 6 May 2020, Revised: 8 June 2020, Accepted: 2 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสายพันธุ์รำข้าวที่มีสี (PRB) และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (TPC), ปริมาณแอนโทไซยานิน (TAC), ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH) และศึกษาความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา โดยในการทดลองจะศึกษาสายพันธุ์ของข้าว 3 สายพันธุ์, ขนาดอนุภาคของรำข้าว 3 ขนาด, สภาวะในการสกัดแบบแช่และไม่แช่, ตัวทำละลายในการสกัด 6 รูปแบบ, เวลาและอุณหภูมิในการสกัด 4 แบบ จากผลการทดลองพบว่า สายพันธุ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ ข้าวหอมนิล ที่มีขนาดอนุภาค 60 เมช สกัดในสภาวะที่มีการแช่ ด้วยตัวทำละลาย 2% ของสารละลายชนิดรี โดยทำการสกัดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยมีค่า TPC, TAC และ ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี DPPH มีค่าเท่ากับ 320 มิลลิกรัมแกลลิก (GAE)/100กรัม, 238.02 มิลลิกรัมไซยานิดิน /100กรัม และ 87.09% ตามลำดับ นอกจากนั้นในการศึกษาความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาที่ 3 อุณหภูมิ ในช่วงเวลา 0-63 วันโดยเก็บในสภาวะที่มีแสงและไม่มีการทดลองพบว่า ปริมาณ TPC, TAC และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้นและเก็บในสภาวะที่มีแสง ดังนั้น ในการสกัดแอนโทไซยานินจากรำข้าวที่มีสีสามารถนำมาใช้เป็นสารออกฤทธิ์ชีวภาพในอาหารและในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางได้ แต่อย่างไรก็ตาม ควรเก็บสารสกัดไว้ในสภาวะที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้เพื่อให้ความคงตัวและเกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ: รำข้าวที่มีสี, การสกัด, แอนโทไซยานิน, สายพันธุ์ข้าว, ความคงตัว

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
พระนครศรีอยุธยา 13000

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvannabhumi, Phranakhon Sri Ayutthaya 13000, Thailand.

* Corresponding author, e-mail: Supapornpa24@gmail.com Tel: 08 6757 7110

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine the effects of pigmented rice bran (PRB) cultivars and anthocyanin extraction conditions on total phenolic content (TPC), total anthocyanin content (TAC) and DPPH scavenging activity (DPPH) and then to assess conditions for the stability of the optimal anthocyanin. We tested 3 cultivars, 3 particle sizes, shake vs. no shake, 6 solvents, 4 extraction times and 4 temperatures. The results showed that the appropriate cultivar and extraction parameters were Homnil cultivar, 60 mesh particle size, shaking, 2% (w/v) citric acid and extraction for 3 h at 40°C. The TPC, TAC and DPPH scavenging activity were 320 mg gallic acid equivalent (GAE)/100g, 238.02 mg cyanidin /100g and 87.09% respectively. We investigated stability at 3 storage temperatures ranging from 0-63 days and with the presence and absence of light. The results showed that the TPC, TAC and DPPH activity decreased with increasing storage temperature, time and light exposure. Therefore, anthocyanin from pigmented rice bran extract is useful as a bioactive food or beverage ingredient; however, it should be kept under appropriate conditions for stability.

Key words: pigmented rice bran, extraction, anthocyanin, rice cultivars, stability.

INTRODUCTION

Pigmented rice (*Oryza sativa* L.) has been consumed for a long time in Asia, especially China, Japan, Korea and many countries in Southeast Asia. Several varieties of pigmented rice, particularly red and black rice, are cultivated in Thailand. The healthy properties of pigmented rice were reported to include the capability of preventing atherosclerosis in a mouse model and human study (Kannan *et al.*, 2010). These results may in part be attributed to the presence of natural antioxidants (Oki *et al.*, 2002). Moreover, pigmented rice was reported to have a greater antioxidant capacity than white rice (Ahuja *et al.*, 2007). Pigmented rice is an economically important rice species and derives its name from its rich natural anthocyanin compounds, such as cyanidin 3-glucoside and peonidin 3-glucoside, which possess anti-oxidative and anti-inflammatory activities. Previous investigators have shown that dietary supplementation with black rice pigment significantly inhibited atherosclerotic plaque formation in rabbits (Maier *et al.*, 2009).

Pigmented rice bran has a higher content of bioactive compound as compared to white rice bran (Shao *et al.*, 2014). The antioxidant activity of pigmented rice bran extract is pH

dependent; its antioxidant activity decreases as pH increases from pH 2 to 7 (Sukhapat *et al.*, 2004). However, there is little information regarding the extraction of anthocyanin or the effects of other extraction or storage conditions on the antioxidant properties of pigmented rice bran extract from different cultivars in Thailand. Therefore, the objectives of this study were to investigate optimum anthocyanin extracting conditions among three rice cultivars and then to investigate conditions to achieve higher TPC content, TAC and DPPH by using the Homnil cultivar. Finally, we investigated the effect of storage time, temperature and lighting on the shelf-life and stability of the extracted anthocyanin.

MATERIALS AND METHODS

Materials and chemicals

Rice bran samples of pigmented rice (*Oryza sativa* L.) from 3 cultivars (Homnil (RB1) from Surin province, Rice berry (RB2) from Kampangsang province, and Hommali dang (RB3) from Phattalung province) were obtained by milling rice grains in a local mill and the obtained rice bran was passed through a 60 mesh screen sieve. The content of moisture on pigmented rice bran was 8.75%. The rice

bran samples were kept at -18°C for extraction and Folin Ciocalteu reagent, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), gallic acid and sodium carbonate were purchased from Sigma Chemical Co., Ltd (St. Louis, USA). Other chemical reagents were analytical grade purchased from Sigma-Aldrich Co., Ltd (Steinheim, Germany).

Factors affecting anthocyanin extraction

Rice cultivars

Five grams of each cultivar was extracted with 20 ml of 95 % ethanol: 1.5N HCl 85:15(v/v) in a shaker (SWB25, New Brunswick Scientific, USA) at 150 rpm at room temperature for 3 h. Samples were then filtered through Whatman No.1 filter paper and the solvent was removed with a rotary evaporator (BUCHI R-3, Germany) at 50°C under vacuum. The obtained concentrated extracts (with moisture content of 70 % (wet basis)) were weighed for % yield (wet matter basis, wb) calculation and then stored at -18°C until use for determination of the yields, total phenolic content (TPC), total anthocyanin content (TAC), and DPPH-scavenging activity (DPPH). We used the best performing cultivar in all subsequent studies. The experiment involved as a completely randomized design (CRD).

Shaking and particle size

Five grams of selected pigmented rice bran particle sizes 40, 60 and 80 mesh was extracted with 20 mL of 95% ethanol:1.5N HCl, 85:15(v/v) in a shaker at 150 rpm at room temperature for 3 h under shaking compared with non-shaking conditions. The samples were filtered through Whatman No.1 filter paper and stored at -18°C until used for the determination of TPC, TAC, and DPPH. The experiment employed a completely randomized design (CRD).

Type of solvents

Five grams of selected pigmented rice bran particle sizes from the effect of shaking and particle sizes study was extracted with 20 ml of one of 6 solvent treatments (distilled water (control); 95 % ethanol:1.5N HCl, 85:15 (v/v) and 0.5, 1, 1.5 and 2% (w/v) citric acid) under conditions in the effect of shaking and particle sizes study and shaking at 150 rpm at room temperature for 3 h. The samples were filtered through Whatman No.1 filter paper and stored at -18°C until used for the determination of TPC, TAC and DPPH. The experiment utilized a completely randomized design (CRD).

Temperature and time

Five grams of selected pigmented rice bran was extracted with 20 ml of selected solvent from the effect of type of solvents study by varying the extraction time (1, 2, 3 and 4 h) and temperature (room temperature (RT), 40, 50, 60 and 70°C). Samples were then filtered through Whatman No.1 filter paper. The sample were stored at -18°C for the determination of TPC, TAC, and DPPH. The experiment used a completely randomized design (CRD).

Effect of storage conditions on anthocyanin stability

The pigmented rice bran extract was stored at 3 temperatures (4°C , 15°C and RT), time (0-63 days) and in the presence and absence of light. The TPC, TAC and DPPH scavenging activity of the samples were determined (see below).

Analysis of pigmented rice bran extract

Determination of the pigmented rice bran extraction yield

The obtained extracts were weighed for % yield (wet basis, wb) calculated using the following equation:

$$\text{Yield (\% wet basis)} = W1/W2 \times 100$$

Where: W1 = weight of pigmented rice bran extract after evaporation

W2 = weight of pigmented rice bran before extract

Determination of total phenolic content (TPC)

The total phenolic content was determined using the Folin-Ciocalteu reagent according to the method of Masuda *et al.* (1999). The reaction mixture contained 100 µL of the diluted pigmented rice bran extract, 500 µL of freshly prepared diluted Folin Ciocalteu reagent, and 400 µL of 7.5% sodium carbonate. Mixtures were kept in the dark for 2 h at room temperature to complete the reaction. The absorbance at 750 nm was measured with a UV-Vis spectrophotometer (Shimadzu Corp., Bara Scientific Co., Ltd.). Gallic acid was used as a standard and the results were expressed as mg gallic acid (GAE)/100g rice bran extract.

Determination of total anthocyanin content (TAC)

The total anthocyanin content in the pigmented rice bran was measured by a pH-differential method (Giusti and Wrolstad, 2001). Anthocyanin from the pigmented rice bran extracted by 0.025 M potassium chloride buffer (pH 1.0) and 0.4 M sodium acetate buffer (pH 4.5) was measured at 510 and 700 nm, respectively. The content of total anthocyanin was calculated using the following formula:

$$\text{anthocyanin contents} = (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 1000) / \epsilon$$

where MW represents molecular weight of cyanidin-3-glucoside (449.2), DF is the dilution factor (20), ϵ is molar absorptivity of cyanidin-3-glucoside (26,900 l/mol cm) and calculated from the following equation:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH } 4.5}$$

Note that A_{700} was measured and subtracted off in order to eliminate the effect of haze or sediments in the sample.

Determination of DPPH radical scavenging activity

Antioxidant capacity was determined by the DPPH (1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) assay according to the method of Masuda *et al.* (1999) with some modifications. Each sample was diluted 10-fold in methanol and then a 2 mL subsample was mixed with 2 mL of freshly prepared methanolic solution containing 0.1 mM of DPPH solution. The mixture was shaken vigorously and left to stand for 30 min in the dark. Vitamin C was used as a positive control. The absorbance was then measured at 517 nm. The DPPH scavenging activity was calculated as follows:

$$\% \text{DPPH scavenging activity} = [1 - (\text{absorbance of sample} / \text{absorbance of blank})] \times 100.$$

Statistical analysis

Three sample replications were performed for each treatment combination. Data were analyzed by ANOVA and least significant difference procedures were used to separate means. Differences were reported to be significant at $p < 0.05$, using a standard statistical software package.

RESULTS AND DISCUSSION

Factors affecting anthocyanin extraction Rice cultivars

The effect of rice cultivars on the yields, total phenolic content (TPC), total anthocyanin content (TAC), and DPPH radical scavenging activity (DPPH) are shown in Table 1. The results showed that the yields, TPC, TAC, and DPPH of the RB1 (Homnil) cultivar (purple rice) were the highest with values of 6.90% (w/w by wet basis), 320.21 g gallic acid equivalent (GAE)/100g, 240.12 mg cyanidin/100g, and 87.09%, respectively. Yoshida *et al.* (2010) also reported that the DPPH radical scavenging activity of black rice was greater than that of red rice. Additionally, different environmental conditions could also alter the biosynthesis of phenolic compounds in grapes (Song *et al.*, 2015).

Table 1 Yield, total phenolic content (TPC), total anthocyanin content (TAC), and DPPH radical scavenging activity (DPPH) of different cultivars of pigmented rice bran extracts.

Varieties	Yield (%)	TPC (mg GAE/100g)	TAC (mg Cyn/100 g)	DPPH (%)
RB1	6.90 ± 1.03 ^a	320.21 ± 1.03 ^a	240.12 ± 0.11 ^a	87.09 ± 0.99 ^a
RB2	6.63 ± 1.06 ^a	309.71 ± 1.15 ^b	231.23 ± 0.22 ^b	76.09 ± 0.43 ^b
RB3	4.75 ± 1.12 ^b	265.45 ± 0.93 ^c	194.87 ± 0.87 ^c	67.45 ± 0.12 ^c

Means (standard deviation, n= 3) in the same column with different letters (a-c) are significantly different ($p < 0.05$).

Rice bran particle sizes and shaking

The effect of particle sizes and shaking on the total phenolic content (TPC), total anthocyanin content (TAC), and radical scavenging activity (DPPH) from RB1 are displayed in Figure 1(A-B). When the particle size decreased from the 40 to 60 mesh, the TPC, TAC and DPPH of the extracts significantly increased. However, TPC, TAC and DPPH of the extracts from particle size of 60 mesh were not significantly different from those of 80 mesh. The results showed that the highest TPC and TAC levels were observed with particle size of 60 mesh and shaking at 150 rpm with values of 300 mg gallic acid (GAE)/100g rice bran extract, 235.01 mg cyanidin/100g and 80% DPPH activity, respectively. Hiba *et al.* (2014) reported that the smaller particle size of grape by products increased the extraction of total

phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins. Moreover, Maisuthisakul and Changchub (2014) also found significant differences in antioxidant activities among some Thai rice samples that were attributed to several complex factors including cultivar, growing environment, and extraction conditions. Particle size is one of the most significant factors affecting the efficiency of extraction because the particle size controls the kinetics of mass transfer and the access of the solvent to soluble compounds. An increase in the extraction rate of total polyphenols was observed with the decrease of particle size. The influence is predictable since the contact surface and the pore diffusion path increase with decreasing particle size, and leads to an easier permeability or diffusivity of the solvent into the material (Patrauanu *et al.*, 2019).

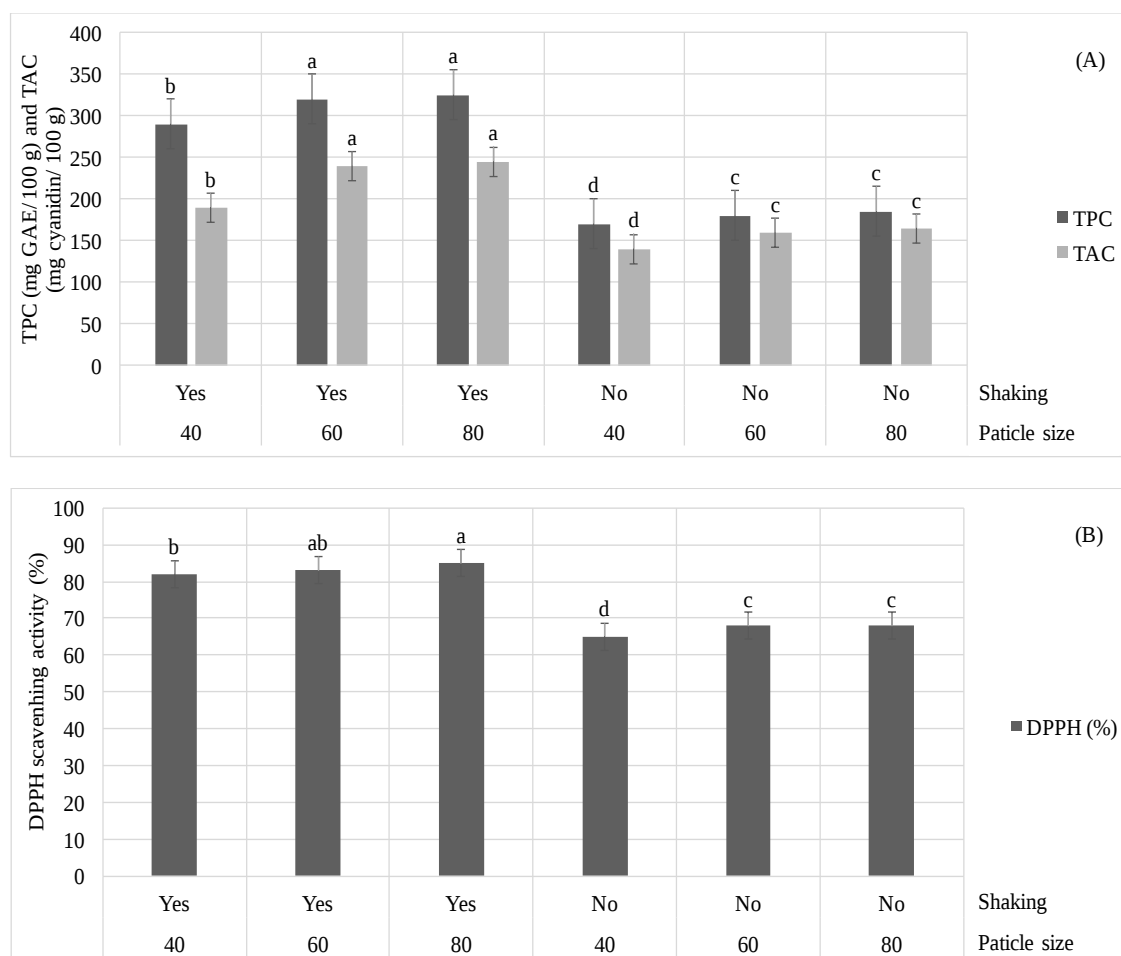


Figure 1 Effect of shaking on total phenolic content (TPC) and total anthocyanin content (TAC)(A) and DPPH assay (B) in Homnil rice bran extract. Error bars indicate the standard error of the mean (n=3). Mean bars with different letters (a-d) are significantly different ($p<0.05$).

Solvent types

The effect of solvent types on the total phenolic content (TPC), total anthocyanin content (TAC), and DPPH radical activity of Homnil rice bran extract are shown in Figure 2(A-B). The results indicated that the highest TPC and TAC were observed, using 2% citric acid (with values of 310 mg/100g and 238.31 mg/100g, respectively) and 95 % ethanol:1.5N HCl 85:15(v/v). However, when Homnil rice bran was extracted by citric acid at concentrations higher than 2% (at 2.5 %), the TPC and TAC were not significantly different from that extracted by 2% citric acid (data not shown). Extraction using distilled water (as a control) yields the lowest TPC and TAC. It is also known that the use of acid is necessary to obtain the

flavylium cation form, which is red and stable in an acid medium. However, low pH levels or high concentrations of citric acid resulting in partial hydrolysis and anthocyanin decomposition (Ahuja *et al.*, 2007). Fera *et al.* (2013) also showed that the highest yield of anthocyanin extraction from buni fruits was obtained by acidification of extraction solvent with citric acid, since citric acid could maintain the low pH that favors the formation of flavylium chloride. The 95% ethanol:1.5N HCl 85:15(v/v) solvent was reported as one of the good solvents for extraction of phenolic compounds from natural sources. However, 2% citric acid solution was selected to be used for extraction of anthocyanin from pigmented rice bran in the remaining experiments in this study

since it is simple, low cost and safer than the 95% ethanol:1.5N HCl 85:15(v/v)

solvent. DPPH results from Figure 2B are presented.

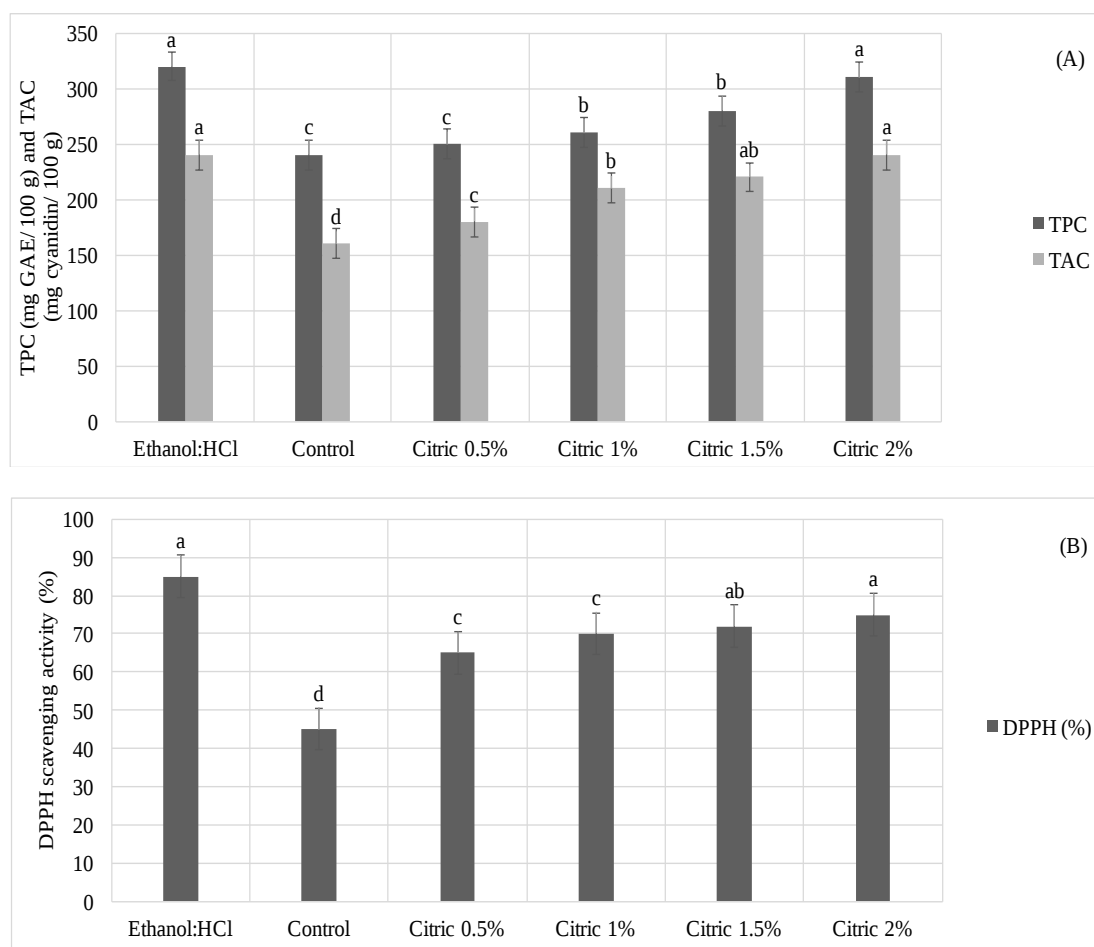


Figure 2 Effect of type of solvent on the total phenolic content (TPC) and total anthocyanin content (TAC)(A), and DPPH assay(B) of Homnil rice bran extract.

Error bars indicate the standard error of the mean (n=3). Mean bars in the same response variable with different letters (a-c) are significantly different ($p < 0.05$).

Temperature and time

The effect of temperature and time of extraction of the RB1 cultivar on the TPC, TAC and DPPH assay are shown in Figure 3A-C. The extraction temperature and time affected the extractability of anthocyanins and phenolic compounds. The results revealed that the TAC of Homnil rice bran extracted at 40 °C or 50 °C, for 3 to 4 h were the highest ($p < 0.05$)

of all the treatment conditions. Similarly, the TPC and DPPH of Homnil rice bran extracted at 40 or 50 °C, for 3-4 h were also the highest. However, at temperatures above 60 °C, rates of anthocyanin decomposition were high. Jing and Giusti (2007) also found that temperatures higher than 70 °C can cause rapid degradation and discoloration of anthocyanins in purple corn.

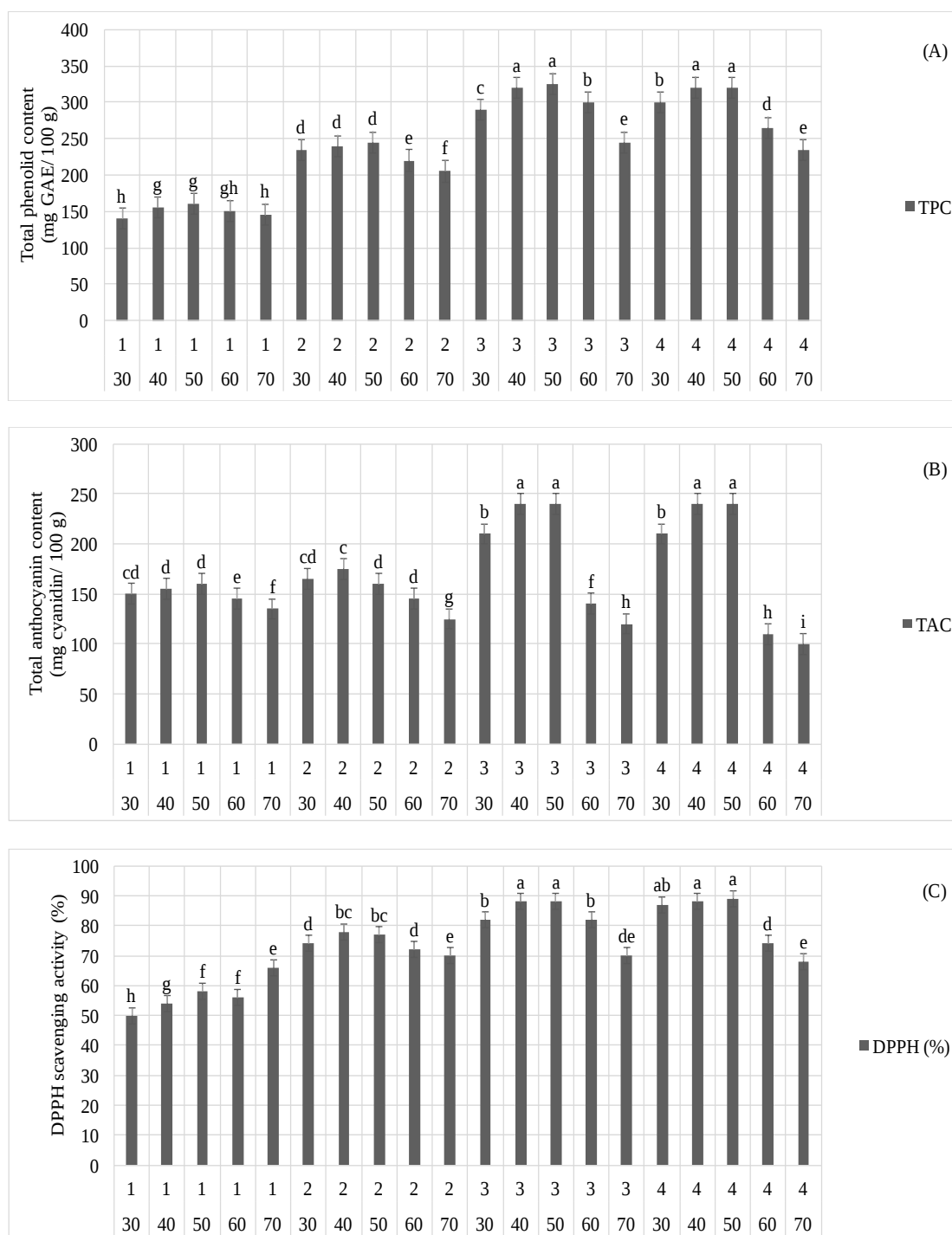


Figure 3 Effect of extraction temperature and time on the total phenolic content (TPC)(A), total anthocyanin content (TAC)(B) and DPPH assay(C) of Homnil rice bran extract. Error bars indicate the standard error of the mean (n=3). Mean bars with different letters (a-i) are significantly different ($p<0.05$).

Effect of storage conditions on anthocyanin stability

Effect of storage temperature

The TPC, TAC and DPPH assay results for Homnil rice bran extract during storage at 4 °C, 15°C and room temperature

(30±2°C) for up to 63 days are given in Figure 4A-C. The results revealed that storage temperature had a significant effect on the stability of anthocyanin ($p<0.05$) with less degradation of TAC, TPC and DPPH over time at 4°C than the other

temperature treatments. Laleh *et al.* (2006) also found that higher storage temperatures accelerated the destruction of anthocyanins in *Berberis* (a genus of shrub). An increase of temperature shifted an anthocyanin equilibrium towards the chalaone form (Ahuja *et al.*, 2007) Giusti and Wrolstad (2000) reported that the speedy destruction of anthocyanin in higher temperatures

could be due to hydrolyzation of 3-glycoside structure. Moreover, the hydrolyzation of the pyrilium ring resulted in production of chalcone, which was responsible for brown color development of anthocyanin in food. Therefore, low temperature storage is crucial to maintaining the benefits of these anthocyanins.

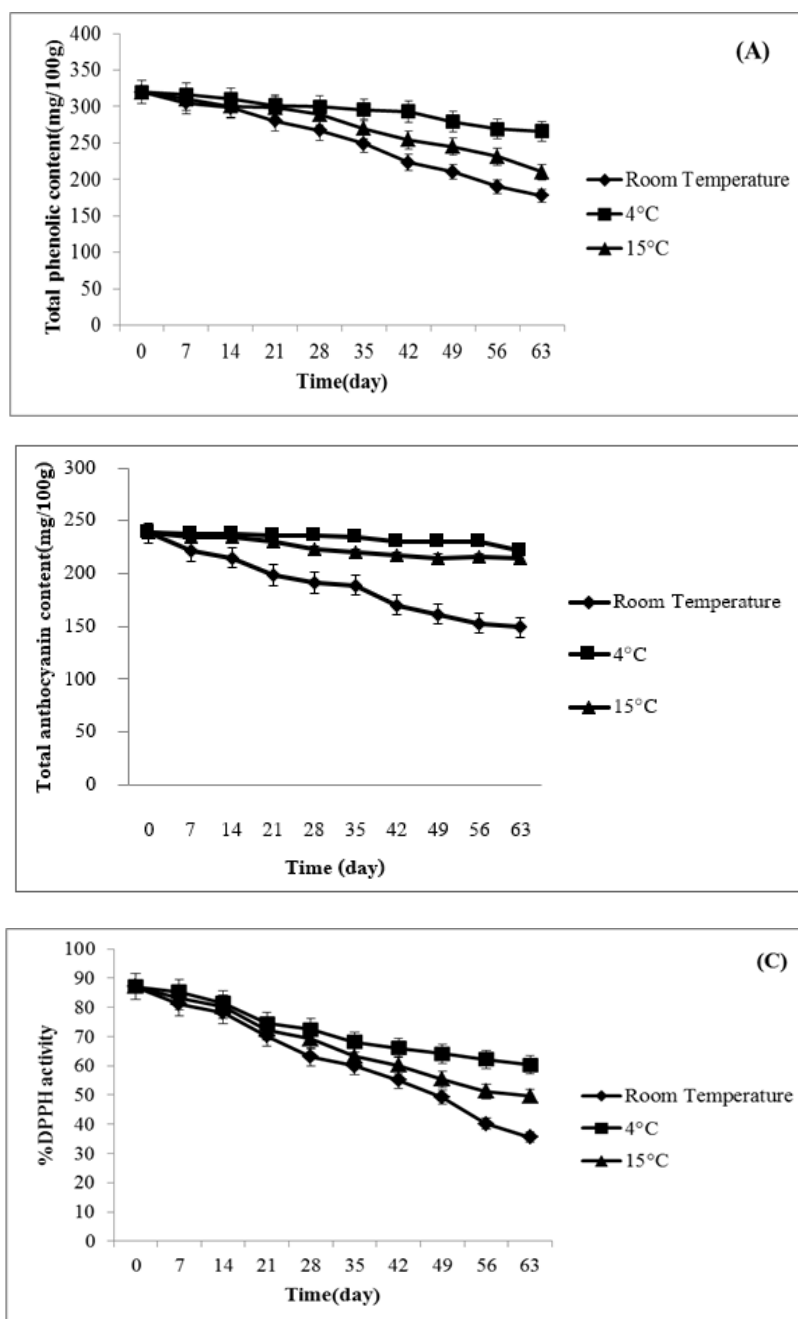
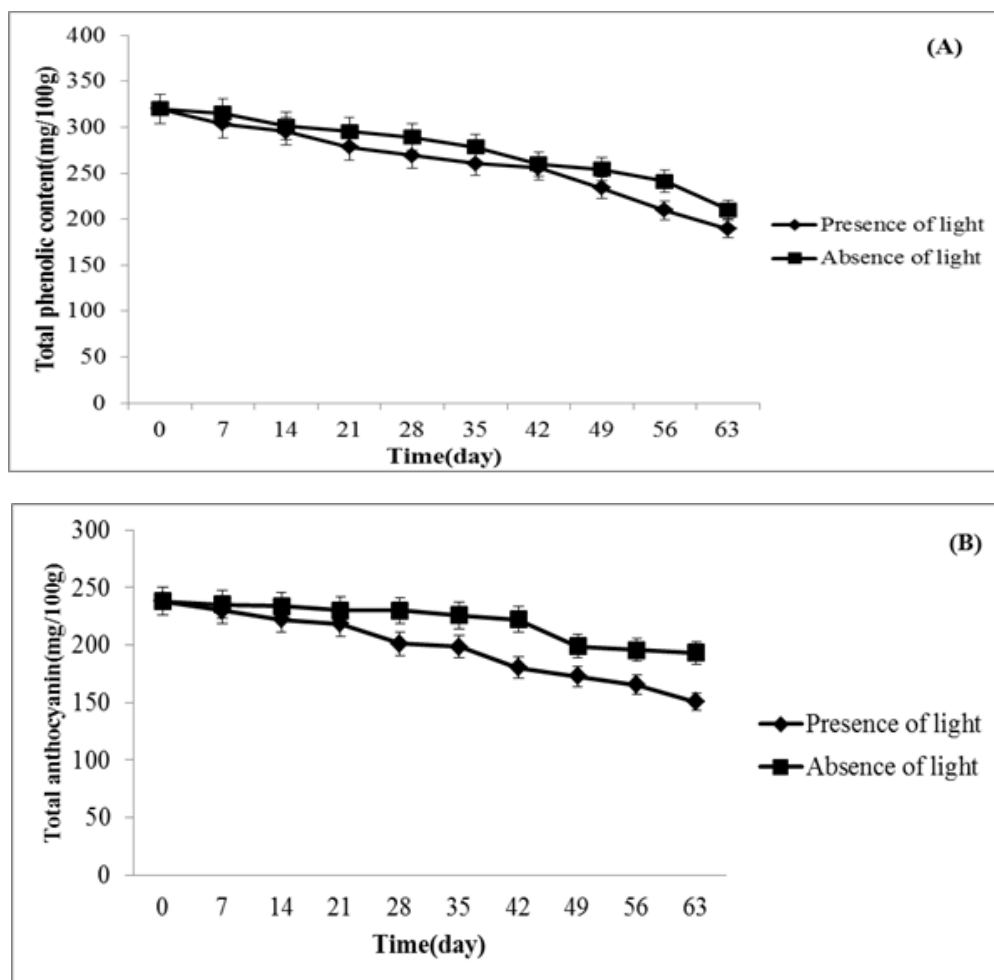


Figure 4 The effect of storage temperatures and times on total phenolic content (TPC)(A), total anthocyanin content (TAC)(B) and DPPH assay(C) of Homnil rice bran extract. Error bars indicate the standard error of the mean (n=3).

Effect of light exposure

The TPC, TAC and DPPH assay in Homnil rice bran extract during storage at room temperature ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$) in the presence and absence of light for 63 days are shown in Figure 5 A-C. The results indicated that the TPC, TAC and DPPH assay of extracts stored in the absence of light were higher than in the presence of light ($p<0.05$). Light affected TAC and DPPH much more than TPC. The anthocyanin of Homnil rice bran extract lost only 16% when kept in

the absence of light, and the most anthocyanin loss (37%) was observed in presence of light. Maier *et al.* (2009) showed that light considerably decreased the phenolic and anthocyanin content of pectin and gelatin gels enriched with grape pomace extracts during storage. Palamidis and Markakis (1975) also reported that grape anthocyanins in beverage had a half-life of 416 days in dark against only 197 days in daylight at 20°C .



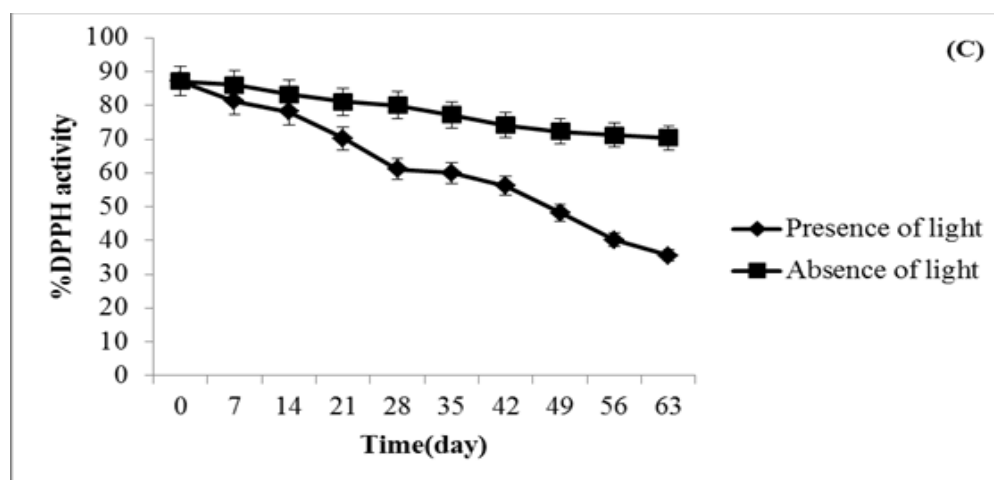


Figure 5 The effect of light exposure on total phenolic content (TPC)(A) and total anthocyanin content (TAC)(B) and DPPH assay(C) of Homnil rice bran extract during storage at room temperature ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) for 63days
Error line indicate the standard error of the mean ($n=3$).

CONCLUSION

The TPC, TAC and DPPH scavenging activity of Homnil rice bran extract were higher than those of Rice berry and Hommali dang rice bran extracts. The ideal extraction parameters for anthocyanin extraction from Homnil rice bran were particle size at 60 mesh, shaking, 2% (w/v) citric acid and extraction for 3 h at 40°C . The TPC, TAC and DPPH scavenging activity in Homnil rice bran extract decreased with increasing storage temperature, time and light. Therefore, pigmented rice bran extract could be potentially extracted for use as food or beverages ingredients; however, it should be stored under appropriate conditions and used as soon as possible.

ACKNOWLEDGMENTS

Special thanks are extended to Mr.Aram Songsuayrup for providing different pigmented rice bran cultivars.

REFERENCES

- Ahuja, U., Ahuja, S.C., Chaudhary, N. and Thakrar, R. 2007. Red Rices-Past, Present, and Future. **Asian Agri-History** 11: 291-304.
- Fera, A., Galih, N.A., Arini, M., Alia, N.F., Sisca, U. and Mimiek, M. 2013. Extraction and stability test of anthocyanin from Buni fruits (*Antidesma bunius* L.) as an alternative natural and safe food colorants. **Journal of Food and Pharmaceutical Science** 1: 49-53.
- Giusti, M.M. and Wrolstad, R.E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Vis spectroscopy, pp.26-29. *In* Wiley. **Current protocols in Food Analytical Chemistry Unit F1.2**. John Wiley & Sons, Inc., United States.
- Hiba, N.R., Nada, El, D., Zeina H., Nadia, B., Eugene, V., Richard, G.M. and Nicolas, L. 2014. Extraction of total phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and tannins from grape byproducts by response surface methodology. Influence of solid-liquid ratio, particle size, time, temperature and solvent mixtures on the optimization process. **Food and Nutrition Sciences** 5: 397-409.
- Jing, P. and Giusti, M.M. 2007. Effects of extraction conditions on improving the yield and quality of an anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) color extract. **Journal of Food Science** 72(7): 363-368.

- Kannan, A., Hettiarachchy, N.S., Lay, J.O. and R. Liyanage. 2010. Human cancer cell proliferation inhibition by a pentapeptide isolated and characterized from rice bran. **Peptides** 31: 1629-1634.
- Laleh, G.H., Frydoonfar, H., Heidary, R., Jameei, R. and Zare, S. 2006. The effect of light, temperature, pH and species on stability of anthocyanin pigments in four *Berberis* species. **Pakistan Journal of Nutrition** 5: 90-92.
- Maier, T., Fromm, M., Schieber, A., Kammerer, D.R. and Carle, R. 2009. Process and storage stability of anthocyanins and non-anthocyanin phenolics in pectin and gelatin gels enriched with grape pomace extracts. **European Food Research and Technology** 229: 949-960.
- Maisuthisakul, P. and Changchub, L. 2014. Effect of extraction on phenolic antioxidant of different Thai rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **International Journal Food Properties** 17(4): 855-865.
- Masuda, T., Yonemori, S., Oyama, Y., Takeda, Y., Tanaka, T. and Andoh, T. 1999. Evaluation of the antioxidant activity of environmental plants: activity of the leaf extracts from seashore plants. **Journal of Agricultural and Food Chem** 47: 1749-175.
- Oki, T., Masuda, M., Kobayash, M., Nishiba, Y., Furuta, S., Suda, I and Sato, T. 2002. Polymeric procyanidins as radical-scavenging components in red-hulled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50(26): 7524-7529.
- Patrauanu, O.A., Lazer, L., Popa, V.I. and Volf, I. 2019. Influence of particle size and size distribution on kinetic mechanism of spruce bark polyphenols extraction. **Cellulose Chemistry and Technology** 53: 71-78.
- Palamidis, N and Markakis, P. 1975. Stability of grape anthocyanin in a carbonated beverage. **Journal of Food Science** 40: 1047-1048.
- Shao, Y., Xu, F., Sun, X., Bao, J. and Beta, T. 2014. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). **Journal of Cereal Science** 59:211-218.
- Song, J., Smart, R., Wang, H., Dambergs, B., Sparrow, A. and Qian, M.C. 2015. Effect of grape bunch sunlight exposure and UV radiation on phenolics and volatile composition of *Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir wine. **Food Chemistry** 173: 424-431.
- Sukhapat, N., Ungphaiboon, S., Itharat, A., Puripattanaavong, J. and Pinsuwan, S. 2004. Influence of pH on antioxidant activity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract in aqueous solution, p184. **In The 10th World Congress on Clinical Nutrition: Nutrition in the Next Decade: Nutraceutical/Functional Food: Product Performance in Health, Disease and Safety, 30 Nov-3 Dec., 2004.** Organized by PSU, INC and BIOTEC, Phuket.
- Yoshida, H., Tomiyama, Y. and Mizushima, Y. 2010. Lipid components, fatty acids and triacylglycerol molecular species of black and red rice. **Journal of Food Chemistry** 123: 210-215.

ผลกระทบของปริมาณยางรถยนต์บดและยางพาราแท่งต่อสมบัติทางกล ของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก

Effects of Ground Rubber Tire and Natural Rubber Contents on Mechanical Properties of Thermoplastic Elastomer

ชาตรี หอมเขียว^{1,2*}, สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์^{1,2} และ วรพงศ์ บุญช่วยแทน^{1,2}

Chatree Homkhiew^{1,2*}, Surasit Rawangwong^{1,2} and Worapong Boonchouytan^{1,2}

Received: 4 May 2020, Revised: 6 July 2020, Accepted: 29 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณและชนิดยาง (ยางรถยนต์บด และยาง STR 5L) ต่อสมบัติทางกลของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก ในการผลิตวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกดำเนินการผสมส่วนผสมต่างๆ โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ และขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นงานตัวอย่างโดยใช้เครื่องอัดรีด ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงให้เห็นว่า ปริมาณยางรถยนต์บดและยาง STR 5L ในช่วง 30-70 wt% มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าความเครียดการดึงสูงสุด และค่าความแข็งของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก เมื่อผสมยางรถยนต์บดหรือยาง STR 5L เพิ่มขึ้นในช่วง 30-70 wt% ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง และค่าความแข็งของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณยางทั้ง 2 ชนิด ที่เดิมเป็นส่วนผสม แต่ค่าความเครียดการดึงสูงสุดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์บดมีค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง และค่าความแข็งสูงกว่าวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่ผสมยาง STR 5L อย่างชัดเจน ทว่าการผสมยาง STR 5L ให้ค่าความเครียดการดึงสูงสุดมากกว่า ในขณะที่ยวกันจากโครงสร้างสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นได้ว่า พลาสติกและยาง STR 5L ไม่สามารถประสานเป็นเนื้อเดียวกันได้

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

² หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

² Materials Processing Technology Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): chatree.h@rmutsv.ac.th

คำสำคัญ: วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก, พอลิเมอร์ผสม, ยางรถยนต์บด, ยางธรรมชาติ, การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ABSTRACT

This research aimed to analyze the effects of rubber content and types (ground rubber tire and STR 5L) on mechanical properties of thermoplastic elastomer. In manufacturing the thermoplastic elastomer, a twin-screw extruder was used to blend mixture components. The thermoplastic elastomer pellets were then molded in a compression molding machine as sample panels. Analysis of variance (ANOVA) indicated that the ground rubber tire and STR 5L contents in the range of 30-70 wt% significantly (p -value < 0.05) affected modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), tensile strength (TS), tensile modulus (TM), maximum strain and hardness of the thermoplastic elastomer. The addition of ground rubber tire or STR 5L in range of 30-70 wt% resulted a decrease in MOR, MOE, TS, TM and hardness but an increase in the maximum strain of the thermoplastic elastomer. Furthermore, the thermoplastic elastomer blended with the ground rubber tire clearly provided higher MOR, MOE, TS, TM and hardness than blended with the STR 5L, whereas the thermoplastic elastomer with the STR 5L showed larger maximum strain. Finally, morphology of the thermoplastic elastomer revealed that plastic and rubber were immiscible polymer blends.

Key words: thermoplastic elastomer, polymer blend, ground rubber tire, natural rubber, analysis of variance

บทนำ

ในหลายทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศไทยมีการผลิตรถยนต์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีการผลิตยางรถยนต์มากขึ้นตามไปด้วย ยกตัวอย่าง ประเทศไทยมีการบริโภคผลิตภัณฑ์ยางทั้งหมดประมาณ 242 ตัน จากปริมาณดังกล่าว ประมาณ 90 ตัน เป็นผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ (Sukontasukkul and Wiwatpattanapong, 2009) เมื่อยางรถยนต์เกิดการเสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งาน จะไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เนื่องจากมีความทนทานที่เกิดจากการปรับปรุงสมบัติด้วยสารเคมีต่างๆ ในกระบวนการผลิต หากนำไปกำจัดด้วยการเผาจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมและมลพิษทางอากาศ เช่น สารพิษไดออกซิน (Budnumpecth and Tanpaiboonkul, 2016) อย่างไรก็ตาม

ในปัจจุบันมีการกำจัดโดยการนำยางรถยนต์เก่ามาบดย่อยให้กลายเป็นยางผง (Crumb rubber) แล้วนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น บล็อกยางปูพื้น พรอมปูพื้น ยางบังโคลน ท่อยาง และการนำไปผสมกับยางมะตอยเพื่อทำถนน (Budnumpecth and Tanpaiboonkul, 2016) ในขณะเดียวกันยางผงหรือยางรถยนต์บดสามารถนำไปผสมกับพลาสติกเพื่อผลิตเป็นวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกได้อีกด้วย ซึ่งการกำจัดยางรถยนต์เก่าโดยการนำมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการต่างๆ เหล่านี้สามารถลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและพื้นที่กำจัดขยะ ตลอดจนสามารถลดต้นทุนการผลิต (Nunes *et al.*, 2018)

วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกคือ วัสดุที่มีการผสมกันระหว่างยางและพลาสติกประเภท

เทอร์มอพลาสติก (Jamil *et al.*, 2006; Homkhiew *et al.*, 2018a) เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิสไตรีน เป็นต้น ซึ่งเหตุผลหลักของการผสมกันระหว่างพอลิเมอร์คือ เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ดั้งเดิม เพื่อให้ง่ายต่อกระบวนการผลิต และเพื่อลดต้นทุนของวัสดุ (Campbell *et al.*, 1978; Jamil *et al.*, 2006) นอกจากนี้วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกก็มีสมบัติพิเศษคือ ที่อุณหภูมิสูงสามารถอ่อนตัวและหลอมไหลได้เหมือนเทอร์มอพลาสติก และที่อุณหภูมิลดลงมีสมบัติยืดหยุ่นอ่อนนุ่มคล้ายยาง (Legge *et al.*, 1987; Kosonmetee, 2008) ทำให้วัสดุชนิดนี้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยใช้กระบวนการที่เหมือนกับการขึ้นรูปเทอร์มอพลาสติกทั่วไป เช่น กระบวนการอัดรีด กระบวนการอัดรีด และกระบวนการฉีดเข้าแก้ว เป็นต้น และที่สำคัญวัสดุชนิดนี้สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ หลังจากผ่านการแปรรูปมาแล้ว (Kosonmetee, 2008)

เมื่อทบทวนงานวิจัยในอดีตพบว่า มีการนำยางผสมกับพลาสติกเพื่อพัฒนาเป็นวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก ยกตัวอย่าง Saleesung *et al.* (2010) เตรียมเทอร์มอพลาสติกวัลคาไนเซด (Thermoplastic Vulcanizates: TPVs) จากผงยางไนไตรล์วัลคาไนซ์ผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ซึ่งลักษณะทางสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นเป็น 2 เฟส ที่อนุภาคผงยางกระจายตัวในเมทริกซ์พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ Sae-Oui *et al.* (2010) นำผงยางธรรมชาติผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพบว่า ความหนืดของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณยาง แต่มอดูลัสและความแข็งแรงลดลง และ Pichaiyut *et al.* (2012) พัฒนาวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกพอลิยูรีเทนจากการผสมยางธรรมชาติกับพอลิยูรีเทน โดยเปิดเผยว่า การผสมยางในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้

ความแข็งแรงดิ่งและการยืด ณ จุดขาดลดลง อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำยางรถยนต์มาผสมกับพลาสติกเป็นวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกยังมีอยู่อย่างจำกัด เช่น Nunes *et al.* (2018) นำยางรถยนต์มาผสมกับเทอร์มอพลาสติกเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการผสมขนาดอนุภาคผงยาง และชนิดพลาสติก

จากข้อมูลข้างต้น ยางรถยนต์เก่าที่หมดอายุการใช้งาน จะไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และหากกำจัดไม่ถูกวิธีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการนำยางรถยนต์เก่ามาผสมกับพลาสติกเพื่อพัฒนาเป็นวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกสามารถดำเนินการได้ ซึ่งเป็นวิธีการใช้ประโยชน์ยางรถยนต์เก่าที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถลดต้นทุนการผลิตวัสดุ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณยางรถยนต์ต่อสมบัติทางกลของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก และวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกระหว่างที่ผสมยางรถยนต์และที่ผสมยาง STR (Standard Thai Rubber) 5L ที่ાયสุดผลจากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์เก่า

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถแบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ วัสดุที่ใช้ในการวิจัย การผลิตวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก และการวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่นำมาใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) พลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรด 1100NK ที่มีดัชนีการหลอมไหล 12 กรัม/10 นาที และผลิตโดยบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) 2) ยางพาราแท่ง STR 5L ดัง

แสดงในภาพที่ 1(ก) จัดซื้อมาจาก องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จ.นครศรีธรรมราช และ 3) ยางรถยนต์บด (Ground rubber tire) ขนาด 20 เมช จัดซื้อมาจาก KKI Recycle จ.นครปฐม ดังแสดงในภาพที่ 1(ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 วัสดุ (ก) ยางแท่ง STR 5L และ (ข) ยางรถยนต์บด

2. การผลิตวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก

การเตรียมวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกจากพลาสติกพอลิโพรพิลีนและยางแท่ง STR 5L หรือยางรถยนต์บดตามสูตรที่ออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 1 กระทำโดยการนำวัสดุดังกล่าวผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ (รุ่น CTE-D25L40

บริษัท เจริญทัศน์ จำกัด จ.สมุทรปราการ) ที่มีการควบคุมอุณหภูมิการผสมอยู่ในช่วง 180-200 °C และความเร็วหมุนของเกลียวในการผสม 60 rpm จากนั้นนำเส้นวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่อัดรีดออกจากเครื่องไประบายความร้อนในน้ำ และนำไปตัดให้เป็นเม็ดวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก

ตารางที่ 1 สูตรส่วนผสมของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก

Sample code	Polypropylene (wt%)	Rubber STR 5L (wt%)	Ground Rubber Tire (wt%)
P100	100	-	-
P7RL3	70	30	-
P6RL4	60	40	-
P5RL5	50	50	-
P4RL6	40	60	-
P3RL7	30	70	-
P7RT3	70	-	30
P6RT4	60	-	40
P5RT5	50	-	50
P4RT6	40	-	60
P3RT7	30	-	70

หมายเหตุ: wt% คือ เปรอเซ็นต์โดยน้ำหนัก

ในขั้นตอนต่อไปนำเม็ควัสดุยึดหุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นแผ่นชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้เครื่องอัดรีด ซึ่งในการขึ้นรูปจะทำการอุ่นแม่พิมพ์จนมีอุณหภูมิ 190°C ตามที่ได้ตั้งอุณหภูมิไว้ จากนั้นนำวัสดุยึดหุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกใส่ในแม่พิมพ์ และอัดด้วยแรงดัน 500 psi เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลาจะทำการอัดซ้ำด้วยแรงดัน 1500 psi เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำแม่พิมพ์และแผ่นชิ้นงานตัวอย่างใส่ในเครื่องอัดเย็นที่มีน้ำหมุนเวียน และอัดด้วยแรงดัน 1500 psi เช่นกันเป็นเวลา 30 นาที เพื่อระบายความร้อนออกจากแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง หลังจากนั้นถอดแผ่นชิ้นงานตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์และตัดเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบต่างๆต่อไป

3. การวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติ

1) การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลกระทบของปริมาณอย่างต่อเนื่องทางกลของวัสดุยึดหุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่ (Tukey's multiple comparison test) ในขณะเดียวกันการวิเคราะห์ผลกระทบของชนิดอย่างต่อเนื่องทางกลของวัสดุยึดหุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกดำเนินการโดยการทดสอบความแตกต่างของค่ากลางของสองประชากรอิสระ (2-Sample t-test) ซึ่งในการวิเคราะห์ทางสถิตินี้ดำเนินการที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$)

2) การวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยา

การถ่ายภาพกำลังขยายสูงบริเวณพื้นผิวที่แตกหัก (Fracture surface) ของวัสดุยึดหุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก เพื่อวิเคราะห์รูพรุนภายในโครงสร้างและการประสานระหว่างเมทริกซ์ยางและเมทริกซ์พลาสติก ดำเนินการด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM รุ่น Quanta 400, FEI company, Oregon, USA) อย่างไรก็ดีก่อนการส่องด้วย SEM บริเวณผิวหน้าที่แตกหักต้องเคลือบด้วยทองคำ

3) การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบการดัด เพื่อหาค่าความแข็งแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัด (Modulus of Elasticity; MOE) เป็นการทดสอบที่ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D790 (ASTM, 2017) โดยเป็นการทดสอบดัดแบบ 3 จุด ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาด $13\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 4.8\text{ mm}$ บารองรับชิ้นงาน (Span distance) มีระยะห่าง 80 mm และความเร็วที่ใช้ในการดัด คือ 2 mm/min ในขณะเดียวกันการทดสอบการดึง เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength; TS) ค่ามอดูลัสการดึง (Tensile Modulus; TM) และค่าความเครียดการดึงสูงสุด (Maximum strain) เป็นการทดสอบที่ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D638 (ASTM, 2014) โดยใช้ชิ้นงานทดสอบประเภทที่ 4 ซึ่งมีขนาด $19\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ และความเร็วที่ใช้ในการดึง คือ 5 mm/min สำหรับการทดสอบการดัดและการดึงนี้ ดำเนินการโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ (รุ่น NRI-TS500-50 ของบริษัท นรินทร์ อินสทรูเมนต์ จำกัด จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย) นอกจากนี้ในการทดสอบความแข็งแรงดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D2240 (ASTM, 2015) โดยใช้อุปกรณ์วัดความแข็ง Durometer แบบ Shore D (รุ่น GS-702G ของบริษัท Teclock Corporation จำกัด Nagano, Japan) ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาด $30\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ ในการทดสอบสมบัติทางกลทั้ง 3 ประเภทนี้ ดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง 25°C และทดลองแบบสุ่ม 5 ตัวอย่างของแต่ละสูตรการทดลอง

การทดสอบการสึกหรอ (Abrasion test) ของวัสดุ ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D3389 (ASTM, 2016) โดยใช้เครื่อง Taber abrasion (TABER Industries, USA) ในการทดสอบชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นบางกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 cm และดำเนินการทดสอบ 1000 รอบ (cycle) โดยมีก้อนน้ำหนักขนาด 500 กรัม กดในขณะทดสอบ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบคือ ค่าการสูญเสีย น้ำหนัก (Weight loss)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ในการออกแบบการทดลองมีตัวแปรอิสระคือ ปริมาณและชนิดยาง ซึ่งสามารถออกแบบสูตรที่ใช้ในการทดลองได้ 11 สูตร และค่าผลตอบสนองที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าความเครียดการดึงสูงสุด ค่าความแข็ง และค่าการสูญเสีย น้ำหนัก

1. การวิเคราะห์ผลทางสถิติในผลกระทบของปริมาณและชนิดยาง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในผลกระทบของปริมาณและชนิดยางต่อสมบัติทางกลของวัสดุ ยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ปริมาณยาง STR 5L และยางรถยนต์บดในช่วง 30-70 wt% มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อทุกสมบัติทางกลคือ ค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าความเครียดการดึงสูงสุด และค่าความแข็งของวัสดุ ยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณยางรถยนต์บด 30 wt% (ตัวอักษร a) ให้ค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าปริมาณยางรถยนต์บด 40 wt% (ตัวอักษร a) อย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ให้ค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าปริมาณยางรถยนต์บด 50 wt% (ตัวอักษร b), 60 wt% (ตัวอักษร c), 70 wt% (ตัวอักษร d) อย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) เช่นเดียวกัน ปริมาณยางรถยนต์บด 60 wt% (ตัวอักษร c) ให้ค่าความแข็งแรงดัดมากกว่าปริมาณยางรถยนต์บด 70 wt% (ตัวอักษร d) อย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในผลกระทบของปริมาณและชนิดยางต่อสมบัติทางกลของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก

Property	Rubber type	Rubber content (wt%)					P-value
		30	40	50	60	70	
MOR	RL	19.5 aG	15.4 bG	9.0 bcG	3.8 cdG	1.6 dG	0.000*
(MPa)	RT	24.0 aH	21.2 aH	15.6 bH	10.9 cH	7.2 dH	0.000*
MOE	RL	489 aG	465 aG	346 bG	131 cG	16 dG	0.000*
(MPa)	RT	725 aH	554 bH	419 cH	320 cH	188 dH	0.000*
TS	RL	12.3 aG	8.2 bG	5.7 cG	2.5 dG	0.9 eG	0.000*
(MPa)	RT	13.1 aG	10.5 bH	8.7 cH	6.4 dH	4.5 eH	0.000*
TM	RL	192 aG	169 bG	129 cG	52 dG	9 eG	0.000*
(MPa)	RT	205 aG	181 aG	177 abH	142 bH	76 cH	0.000*

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Property	Rubber type	Rubber content (wt%)					P-value
		30	40	50	60	70	
Max. Strain	RL	13.3 aG	15.2 aG	17.6 abG	18.8 bcG	19.2 cG	0.000*
(%)	RT	8.7 aH	13.7 aG	15.7 aH	16.2 abH	17.9 bG	0.001*
Hardness	RL	62.2 aG	55.3 bG	53.2 bG	35.2 cG	17.7 dG	0.000*
(Shore D)	RT	65.8 aH	62.5 bH	57.8 cH	53.5 dH	46.0 eH	0.000*

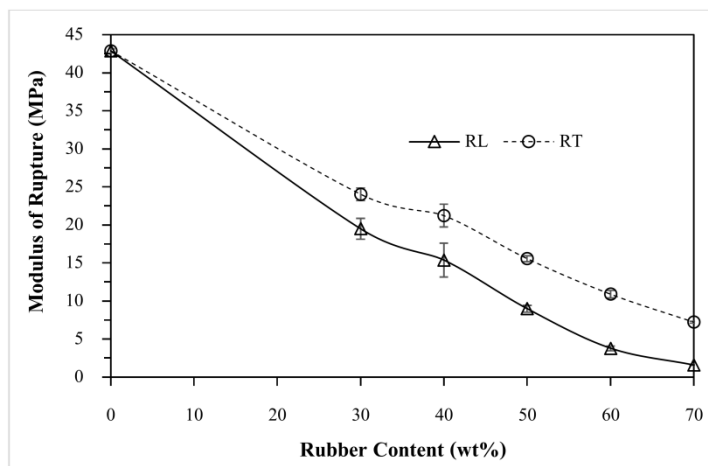
หมายเหตุ: * หมายถึง ปริมาณยางมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p < 0.05$) และในแต่ละสมบัติที่มีตัวอักษรเหมือนกัน (a-e สำหรับผลกระทบปริมาณยาง และ G-H สำหรับผลกระทบของชนิดยาง) หมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($\alpha=0.05$) นอกจากนี้ RL คือ ยาง STR 5L และ RT คือ ยางรถยนต์

เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของชนิดยางโดยใช้ 2-Sample t-test พบว่า ที่ปริมาณการเติมยางเป็นส่วนผสมในวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกเท่ากัน การเติมยางรถยนต์ (RT) เป็นส่วนผสมปริมาณ 30, 40, 50, 60 และ 70 wt% (ตัวอักษร H) ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าการเติมยาง STR 5L (RL) (ตัวอักษร G) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสการดึงพบว่า การเติมยางรถยนต์เป็นส่วนผสมปริมาณ 30 wt% (ตัวอักษร G) ให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสการดึงสูงกว่าการเติมยาง STR 5L ปริมาณ 30 wt% (ตัวอักษร G) อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

2. ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อสมบัติการดัด

ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัดของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก แสดงดังภาพที่ 2 และ

3 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นว่า การผสมยางรถยนต์ (RT) หรือยาง STR 5L (RL) เพิ่มขึ้นในช่วง 30-70 wt% ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัดของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณยางทั้ง 2 ชนิด ที่เดิมเป็นส่วนผสม พฤติกรรมการลดลงของค่าความแข็งแรงดึงมีสาเหตุมาจากยางที่มีความแข็งแรงดัดน้อยกว่าพลาสติก ทำให้เมื่อผสมยางเป็นส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกลดลงตามปริมาณยางที่เดิมเป็นส่วนผสม ในขณะที่การลดลงของค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัดมีสาเหตุมาจากธรรมชาติของยางรถยนต์ และยาง STR 5L มีความแข็งแรง (Stiffness) น้อยกว่าพลาสติก ทำให้เมื่อเติมยางเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกจึงลดลง (Mohamed *et al.*, 2018)

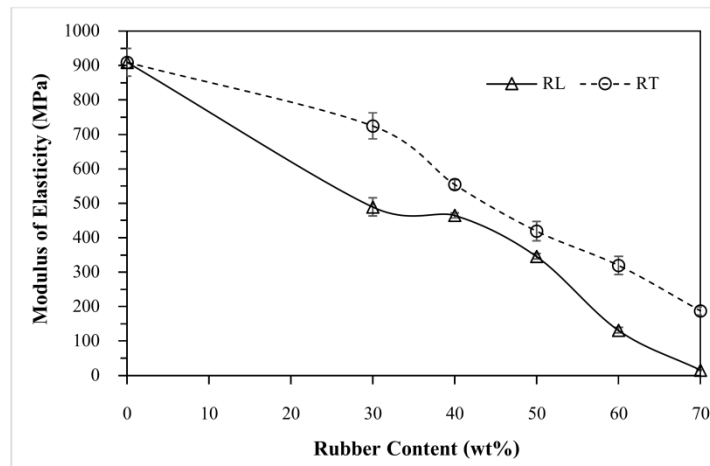


ภาพที่ 2 ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่าความแข็งแรงคดของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก

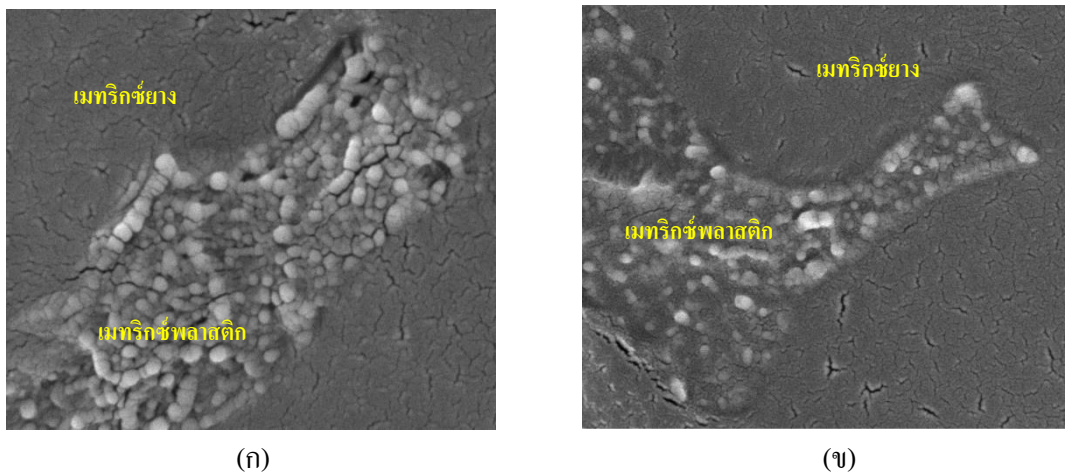
นอกจากนี้เมื่อพิจารณาโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของวัสดุเทอร์มอพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่กำลังขยาย 25,000 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าวัสดุพลาสติกและยาง STR 5L ไม่ประสานเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Mohamed *et al.* (2018) ที่กล่าวว่า พลาสติกและยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่ผสมเข้ากันไม่ได้ และ Homkhiew *et al.* (2018b) พบด้วยว่า พลาสติกไม่สามารถหลอมเป็นเฟสต่อเนื่องในเมทริกซ์ยาง โดยภาพที่ 4(ก) เมื่อเติมยางเป็นส่วนผสม 30 wt% สังเกตเห็นได้ว่า เมทริกซ์พลาสติกมีการแยกเฟสกับเมทริกซ์ยางอย่างชัดเจน ในขณะที่เดียวกันภาพที่ 4(ข) เมื่อเติมยางเป็นส่วนผสม 60 wt% เมทริกซ์ยางมีการกระจายตัวแทรกเข้าสู่เนื้อพลาสติก และสังเกตเห็นด้วยว่า มีรอยแยกหรือช่องว่างเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในเนื้อยาง ลักษณะ

ดังกล่าวนี้เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ความแข็งแรงคดของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกลดลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงคดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการคดระหว่างวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์กับที่ผสมยาง STR 5L ที่อัตราส่วนผสมเท่ากัน พบว่า วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์มีค่าความแข็งแรงคดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการคดสูงกว่าวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยาง STR 5L อย่างชัดเจน เนื่องจากยางรถยนต์เป็นวัสดุที่ผ่านการผสมสารเคมีและสารเสริมแรง ตลอดจนผ่านการวัลคาไนซ์มาแล้ว ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่ายาง STR 5L ส่งผลให้การเติมยางรถยนต์เป็นส่วนผสมให้ค่าความแข็งแรงคดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการคดที่สูงกว่า



ภาพที่ 3 ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการคัดของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก

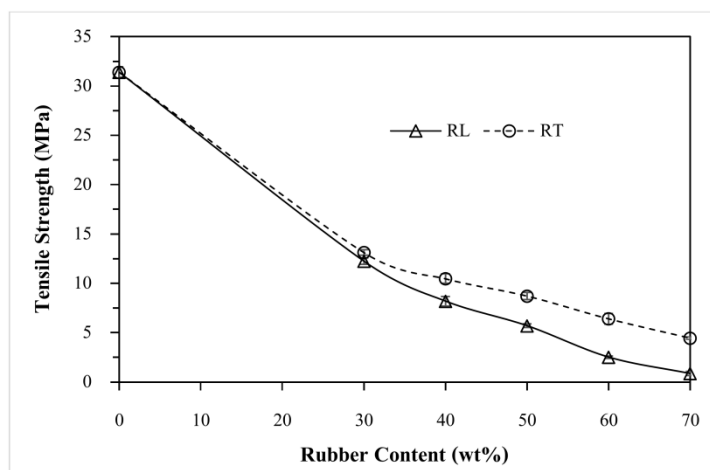


ภาพที่ 4 โครงสร้างสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 25,000 เท่า ของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่มียาง STR 5L เป็นส่วนผสม (ก) 30 wt% และ (ข) 60 wt%

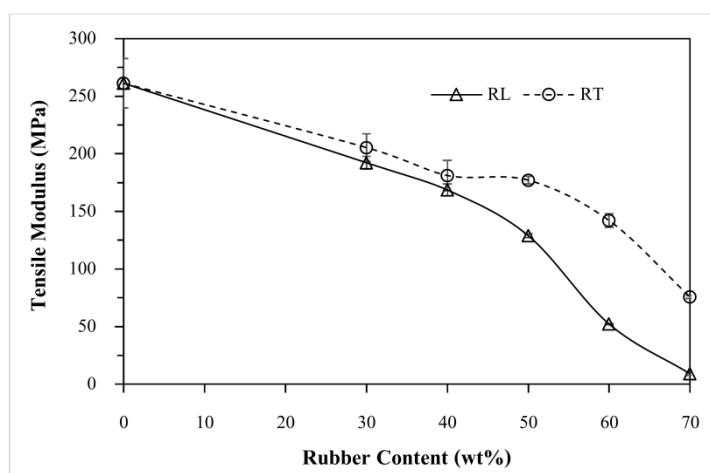
3. ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อสมบัติการดึง

ภาพที่ 5 และ 6 แสดงความผันแปรในค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสการดึง ตามลำดับของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่มีผลกระทบมาจากปริมาณและชนิดยาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมยางรถยนต์และยาง STR 5L เป็นส่วนผสมในวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกมากขึ้น ส่งผลให้ทั้งค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสการดึงลดลงตามปริมาณของยางทั้ง 2 ที่เติมเป็นส่วนผสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pichaiyut *et al.* (2012) ที่

พบว่า ค่ามอดูลัสของยังของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกลดลงตามสัดส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber; ENR) ที่ผสม สิ่งนี้เกิดจาก ความแข็งแรงที่ต่ำกว่า ซึ่งวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกมีการอ่อนตัวเพิ่ม เมื่อเติมยางเป็นส่วนผสมมากขึ้น (Pichaiyut *et al.*, 2012) ในทำนองเดียวกันสามารถสังเกตเห็นได้ว่า ค่ามอดูลัสการดึงลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเติมยางรถยนต์หรือยาง STR 5L เป็นส่วนผสม 60-70 wt%



ภาพที่ 5 ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก



ภาพที่ 6 ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่ามอดูลัสการดึงของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก

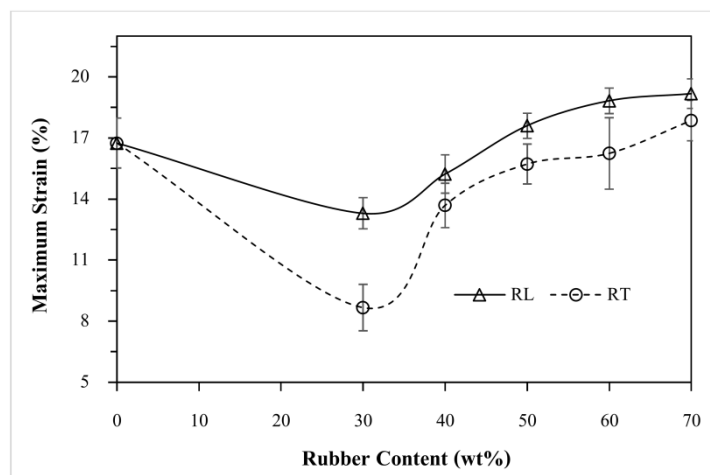
นอกจากนี้ยังพบว่า วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์มีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสการดึงสูงกว่าที่ผสมยาง STR 5L อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนผสมเท่ากัน เนื่องจากการผลิตยางรถยนต์มีการเติมสารเติมแต่งจำนวนมาก เช่น สารเพิ่มความเสถียร (Stabilizers) สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) สารต้านทานปฏิกิริยาโอโซน (Antiozonants) และผงคาร์บอนแบล็คในกระบวนการวัลคาไนซ์ ซึ่งทำให้ยางรถยนต์มีความสามารถต้านทานการสลายตัวทางชีวภาพ การสลายตัวด้วยแสงและเคมี และการเสื่อมสภาพทางความร้อน (Fazli and Rodrigue, 2020) ดังนั้นจากผลเหล่านี้สามารถกล่าวได้ว่า วัสดุ

ยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์มีประสิทธิภาพในการดึงสูงกว่าวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยาง STR 5L

จากการทดสอบการดึงยังพบว่า ค่าความเครียดการดึงสูงสุดของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกมีความผันแปรอันเนื่องมาจากปริมาณและชนิดยางที่เติมเป็นส่วนผสมเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 7 โดยพบว่า วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์มีค่าความเครียดการดึงสูงสุดน้อยกว่าที่ผสมยาง STR 5L เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนผสมเท่ากัน สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า ยางรถยนต์ได้ผ่านการผสมสารเสริมแรง เช่น ผงคาร์บอนแบล็ค ทำให้สมบัติความยืดหยุ่น

ลดลง ในขณะที่ด้วยกันพบด้วยว่า การเติมยางทั้ง 2 ชนิด เป็นส่วนผสมในวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกปริมาณ 30 wt% ส่งผลให้ค่าความเครียดการดึงสูงสุดลดลงอย่างเห็นได้ชัด สิ่งนี้เกี่ยวข้องกับพลาสติกเหลวไม่ดีในเมทริกซ์ยาง ซึ่งพลาสติกเหลวไม่ดีนี้นำไปสู่การประสานที่ไม่ดีระหว่างพลาสติกและเมทริกซ์ยาง ในขณะที่ด้วยกันการเติมพลาสติกเป็นการลดการยึดตัวที่จุดแตกหัก ซึ่งการลดลงนี้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ลดลงระหว่าง

เฟสแข็งของพลาสติกและเมทริกซ์วัสดุ (Abu-Abdeen and Elamer, 2010) ทำให้ความสามารถในการยึดตัวของวัสดุลดลง อย่างไรก็ตามค่าความเครียดการดึงสูงสุดกลับมาเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเติมยางเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วง 40-70 wt% สิ่งนี้เกิดจากวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกเริ่มมียางเป็นเนื้อพื้น ทำให้ความสามารถในการยึดตัวเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 7 ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่าความเครียดการดึงสูงสุดของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก

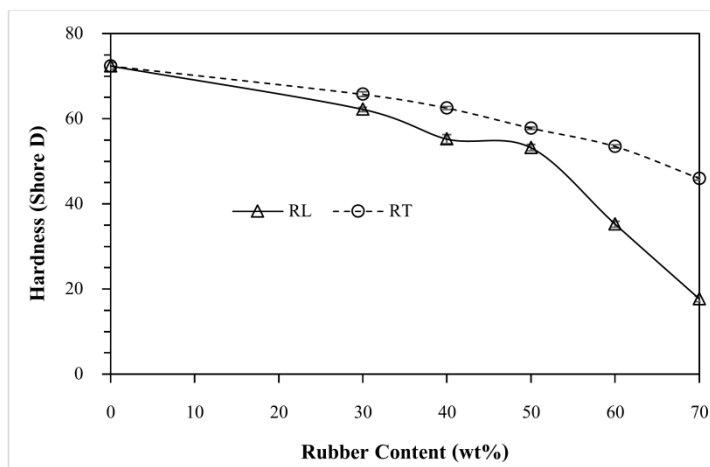
4. ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อสมบัติความแข็ง

ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่าความแข็งของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก แสดงดังภาพที่ 8 โดยชี้ให้เห็นว่า การเติมยาง STR 5L หรือ ยางรถยนต์เป็นส่วนผสมในวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกเพิ่มขึ้นในช่วง 30-70 wt% ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงตามปริมาณยางที่เดิมเป็นส่วนผสม Saleesung *et al.* (2010) กล่าวว่า ความแข็งของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการผสมยาง ซึ่งจะสอดคล้องกับผลของค่าโมดูลัส การลดลงของความแข็งดังกล่าวนี้อาจเกิดจากผลกระทบของการเงา โดยคุณลักษณะของเฟสพลาสติกมีความแข็งของผลึกที่ค่อนข้างสูง และจะถูก

เงาจากลงด้วยยางที่มีคุณลักษณะยืดหยุ่น ดังนั้นการเติมยางเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการลดลงของระดับผลึก (Sae-Oui *et al.*, 2010; Saleesung *et al.*, 2010) ในขณะที่ด้วยกันพบด้วยว่า การเติมยาง STR 5L เป็นส่วนผสมปริมาณ 60-70 wt% ทำให้ค่าความแข็งลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากที่ปริมาณดังกล่าวนี้วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกมีความคงรูปที่ต่ำมาก นอกจากนี้ยังพบด้วยว่า วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์มีความแข็งสูงกว่าที่ผสมยาง STR 5L อย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนผสมเท่ากัน ในความเป็นจริงยางรถยนต์มีความแข็งสูงกว่ายาง STR 5L มาก เนื่องจากเป็นยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์และมีการผสม

สารเสริมแรงที่มีความแข็งแรงสูงเป็นส่วนผสม ทำให้เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนดำ STR 5L เป็นส่วนผสม

ยางรถยนต์จึงให้ค่าความแข็งแรงในวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่สูงกว่า

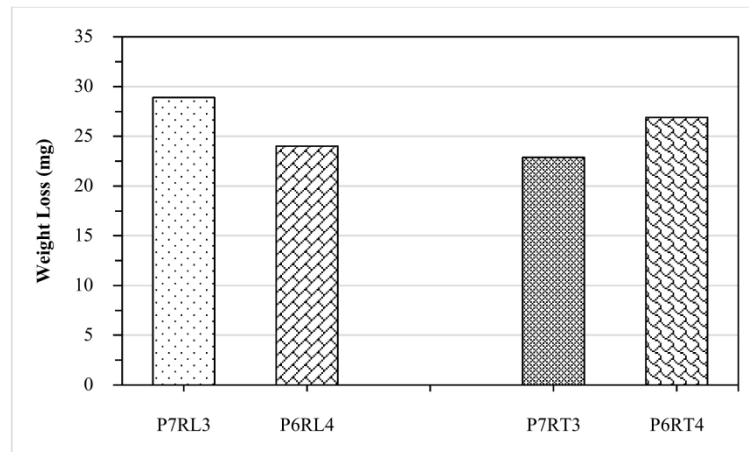


ภาพที่ 8 ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก

5. ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อสมบัติการสึกหรอ

ภาพที่ 9 แสดงผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก โดยพบว่าคาร์บอนดำ STR 5L เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นจาก 30 wt% เป็น 40 wt% ในวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติก ส่งผลให้ค่าการสูญเสีย น้ำหนักลดลง แต่การเติมยางรถยนต์เพิ่มขึ้นในช่วง 30-40 wt% กลับทำให้ค่าการสูญเสีย น้ำหนักของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกเพิ่มขึ้น ในความเป็นจริงกลไกการสึกหรอของวัสดุเกิดจากการเสียดสีที่รุนแรงระหว่างผิวหน้าที่อ่อนของพอลิเมอร์กับพื้นผิวที่แข็งและหยาบของล้อหิน (Abu-Abdeen and Elamer, 2010) ดังนั้นวัสดุที่มีผิวหน้าที่อ่อน และมีการประสานที่ไม่แข็งแรงภายในโครงสร้างจะมีการสูญเสีย น้ำหนักได้ง่ายกว่า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณการผสมยางเป็นส่วนผสมในวัสดุยืดหยุ่น

แบบเทอร์โมพลาสติกเท่ากันพบว่า ที่ปริมาณการผสมยาง 30 wt% วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่ผสมยาง STR 5L มีค่าการสูญเสีย น้ำหนักมากกว่าการผสมยางรถยนต์ บด ทว่าที่ปริมาณการผสมยาง 40 wt% วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์กลับมีค่าการสูญเสีย น้ำหนักมากกว่าการผสมยาง STR 5L สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า ที่ปริมาณการผสมยาง 30 wt% วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์มีผิวหน้าแข็งกว่าที่ผสมยาง STR 5L ทำให้การสูญเสีย น้ำหนักน้อยกว่า แต่เมื่อผสมยางเพิ่มขึ้นเป็น 40 wt% วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่ผสมยาง STR 5L มีความเหนียวมากขึ้น ในขณะที่วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์โมพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์มีการประสานระหว่างเฟสเมทริกซ์ของยางและพลาสติกน้อยลง ทำให้วัสดุที่ผสมยางรถยนต์มีการสูญเสีย น้ำหนักมากกว่า



ภาพที่ 9 ผลกระทบปริมาณและชนิดยางต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก

สรุป

ผลจากการศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่มีผลกระทบมาจากปริมาณและชนิดยาง (ยางรถยนต์บด และยาง STR 5L) พบว่า ปริมาณยางมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น การดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าความเครียดการดึงสูงสุด และค่าความแข็งแรงของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติก โดยความแข็งแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่นการดัด ความแข็งแรงดึง มอดูลัสการดึง และความแข็งแรงของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกมีค่าลดลง แต่ความเครียดการดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อผสมยางรถยนต์บดหรือยาง STR 5L เพิ่มขึ้นในช่วง 30-70 wt% เนื่องจากเกิดการเจือจางของระดับผลึกในเฟสพลาสติกด้วยคุณลักษณะยืดหยุ่นของยาง ในขณะที่เดียวกันวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์บดมีค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นการดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง และค่าความแข็งแรงสูงกว่าที่ผสมยาง STR 5L อย่างชัดเจน เนื่องจากยางรถยนต์บดเป็นวัสดุที่ผ่านการผสมสารเคมีและสารเสริมแรงตลอดจนผ่านการวัลคาไนซ์มาแล้ว ทำให้มีความแข็งแรงและแข็งแรงมากกว่ายาง STR 5L อย่างไรก็ตามการ

ผสมยาง STR 5L ให้ค่าความเครียดการดึงสูงสุดมากกว่า นอกจากนี้การเติมยาง STR 5L เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นจาก 30-40 wt% ส่งผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกลดลง แต่กลับทำให้วัสดุยืดหยุ่นแบบเทอร์มอพลาสติกที่ผสมยางรถยนต์บดมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น และจากโครงสร้างฐานวิทยาศาสตร์แสดงให้เห็นด้วยว่า พลาสติกและยาง STR 5L ไม่สามารถประสานเป็นเนื้อเดียวกันได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินแผ่นดิน (รหัสข้อเสนอการวิจัย 256107A1710012) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปี 2561 และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

Abu-Abdeen, M. and Elamer, I. 2010. Mechanical and swelling properties of thermoplastic elastomer blends. **Materials and Design** 31: 808-815.

- ASTM. 2014. ASTM D638-14. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International. West Conshohocken, PA.
- ASTM. 2015. ASTM D2240-15e1. Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. ASTM International. West Conshohocken, PA.
- ASTM. 2016. ASTM D3389-16. Standard Test Method for Coated Fabrics Abrasion Resistance (Rotary Platform Abrader). ASTM International. West Conshohocken, PA.
- ASTM. 2017. ASTM D790-17. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International. West Conshohocken, PA.
- Budnumpecth, T. and Tanpaiboonkul, N. 2016. Properties of lightweight concrete containing crumb rubber and cement replacing with fly ash from coal power plant. **Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University** 3(4): 62-75. (in Thai)
- Campbell, D.S., Elliott, D.J. and Wheelans, M.A. 1978. Thermoplastic natural rubber blends. **Natural Rubber Technology** 9(21): 29-37.
- Fazli, A. and Rodrigue, D. 2020. Waste rubber recycling: A review on the evolution and properties of thermoplastic elastomers. **Materials** 13(3): 782-812.
- Homkhiew, C., Rawangwong, S., Boonchouytan, W. and Thongruang, W. 2018a. Mechanical and physical properties of thermoplastic natural rubber composites reinforced with rubberwood sawdust. **SWU Engineering Journal** 13(1): 107-122. (in Thai)
- Homkhiew, C., Rawangwong, S., Boonchouytan, W., Thongruang, W. and Ratanawilai, T. 2018b. Composites from thermoplastic natural rubber reinforced rubberwood sawdust: Effects of sawdust size and content on thermal, physical, and mechanical properties. **International Journal of Polymer Science** 2018(3): 1-11.
- Jamil, M.S., Ahmad, I. and Abdullah, I. 2006. Effects of rice husk filler on the mechanical and thermal properties of liquid natural rubber compatibilized high-density polyethylene/natural rubber blends. **Journal of Polymer Research** 13(4): 315-321.
- Kosonmetee, K. 2008. Preparation and mechanical properties of rubber composites made from thermoplastic natural rubber blended with jute fiber. Thesis of Master of Science in Polymer Science and Technology, Prince of Songkla University.
- Legge, N.R., Holden, G. and Schroeder, H.E. 1987. **Thermoplastic Elastomers: A Comprehensive Review**. Hanser Publishers, New York.
- Mohamed, W.Z.W., Baharum, A., Ahmad, I., Abdullah, I. and Zakaria, N.E. 2018. Mengkuang fiber reinforced thermoplastic natural rubber composites: Influence of rubber content on mechanical properties

- and morphology. **Malaysian Journal of Analytical Sciences** 22(5): 906-913.
- Nunes, A.T., Santos, R.E., Pereira, J.S., Barbosa, R. and Ambrosio, J.D. 2018. Characterization of waste tire rubber devulcanized in twin-screw extruder with thermoplastics. **Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology** 34(3): 143-157.
- Pichaiyut, S., Nakason, C. and Vennemann, N. 2012. Thermoplastic elastomers-based natural rubber and thermoplastic polyurethane blends. **Iranian Polymer Journal** 21: 65-79.
- Sae-Oui, P., Sirisinha, C., Sa-nguanthammarong, P. and Thaptong, P. 2010. Properties and recyclability of thermoplastic elastomer prepared from natural rubber powder (NRP) and high density polyethylene (HDPE). **Polymer Testing** 29(3): 346-351.
- Saleesung, T., Saeoui, P. and Sirisinha, C. 2010. Mechanical and thermal properties of thermoplastic elastomer based on low density polyethylene and ultra-fine fully-vulcanized acrylonitrile butadiene rubber powder (UFNBRP). **Polymer Testing** 29(8): 977-983.
- Sukontasukkul, P. and Wiwatpattanapong, S. 2009. Lightweight concrete mixed with superfine crumb rubber powder part 1: Insulation properties. **The Journal of KMUTNB** 19(3): 1-10.

การอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

Cassava Pulp Drying Using a Double Drum Dryer

เกียรติศักดิ์ ใจโต¹ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค^{1*} และ กระวี ตรีอำนรรค²

Kaattisak Jaito¹, Tawarat Treeamnuk^{1*} and Krawee Treeamnuk²

Received: 1 June 2020, Revised: 25 August 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

กากมันสำปะหลังเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเช่น เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล อาหารสัตว์ และปุ๋ยบำรุงดิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังจำเป็นต้องทำการลดความชื้นเพื่อให้การบริหารจัดการง่ายขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้กับวัสดุที่เป็นของเหลวหนืดชนิดหนึ่ง โดยทำการอบแห้งกากมันสำปะหลังที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 84.55% (มาตรฐานเปียก) ปริมาณ 1 กิโลกรัม ด้วยอุณหภูมิลูกกลิ้ง 130 140 และ 150 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.19 0.34 และ 0.51 รอบต่อนาที ประเมินสมรรถนะการอบแห้งจากความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลัง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ อัตราการอบแห้ง และความสามารถในการอบแห้ง ผลการศึกษาพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที เป็นสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด กากมันแห้งที่ได้มีความชื้นสุดท้าย 8.03% (มาตรฐานเปียก) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 4.17 เมกะจูลต่อกิโลกรัม อัตราการอบแห้ง 3.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความสามารถในการทำแห้ง 59.85 กรัมต่อนาที

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่, การอบแห้ง, กากมันสำปะหลัง

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

* ผู้ติดต่อประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): tawarat@sut.ac.th Tel: 08 4694 2933

ABSTRACT

Cassava pulp is a waste product from the cassava starch industry. It can be used for various purposes i.e. biomass fuel, animal feed, and soil nourishing fertilizer, etc. However, to take advantage of cassava pulp, moisture removal is required to facilitate management. Therefore, the objective of this research is to study the optimum conditions for drying cassava pulp by a double drum dryer which is a type of dryer for drying viscous materials. In the study, 1 kg of cassava pulp samples with average initial moisture content of 84.55% (wet basis) were used. The drum dryer temperature was set at 130, 140 and 150°C, the distance between rollers 0.15, 0.30 and 0.50 mm and the speed of the drying rollers set at 0.19, 0.34 and 0.51 rpm. Evaluation of the drying performance of cassava pulp was made in terms of the final moisture content, the specific energy consumption (SEC), the drying rate (DR), and the drying capacity. The results showed that drying at 140°C, the distance between the rollers of 0.30 mm, the speed of 0.34 rpm are the optimum conditions for cassava pulp drying; this was reflected in the final moisture content at 8.03% (wet basis), SEC of 4.17 MJ/kg, DR of 3.00 kg/h and drying capacity of 59.85 g/min.

Key words: double drum dryer, drying, cassava pulp

บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังสูงถึง 66.90% ของตลาดส่งออกทั่วโลก (Smarter Global Sourcing Starts Here, 2018) และมีปริมาณการผลิตอยู่ที่ 29.3 ล้านตันในปี 2018 โดยมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะถูกนำไปแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะมีกากมันสำปะหลังเป็นของเหลือทิ้ง ประมาณ 3-5 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 10-20 ของปริมาณการผลิต (Khempaka *et al.*, 2009) ซึ่งหากกากมันสำปะหลังจำนวนมากไม่ได้รับการจัดการจะทำให้เกิดขยะอุตสาหกรรม (Hermiati *et al.*, 2012) ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามพบว่ากากมันสำปะหลังมีส่วนประกอบได้แก่ โปรตีน เถ้า ไขมัน แป้ง และเส้นใย คิดเป็นร้อยละ 2.60, 2.10, 0.13, 59.39 และ

31.67 ตามลำดับ (Kachenpukdee *et al.*, 2016) เมื่อพิจารณาถึงส่วนประกอบของกากมันสำปะหลังพบว่ามีความศักยภาพที่จะนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในอาหารสัตว์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ (Paepatung *et al.*, 2009) หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล แต่เนื่องจากกากมันสำปะหลังที่ออกจากกระบวนการผลิตจะมีความชื้นสูงประมาณ 60-85% (Olusegun and Ajiboye, 2010) และหากปล่อยทิ้งไว้จากก่อให้เกิดกระบวนการหมักจนทำให้เกิดเป็นกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนที่อยู่รอบข้าง ซึ่งหากมีวิธีการลดความชื้นของกากมันสำปะหลังลงก็จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ อีกทั้งการทำแห้งยังช่วยให้กากมันสำปะหลังมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น และช่วยลดน้ำหนักหรือปริมาตรลงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษาได้อีก

ด้วย (Hemhirun and Bunyawanichakul, 2017) ปัจจุบันการทำแห้งกากมันสำปะหลังส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการตากแดดไว้บนลานคอนกรีตในช่วงเดือนที่ไม่มีฝนตก แต่ในช่วงเดือนที่มีฝนตกก็จะใช้วิธีการดังกล่าวไม่ได้ และอาจก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการตามมา (Tangpinijkul, 2015) ดังนั้นการทำแห้งหรือลดความชื้นกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การลดความชื้นกากมันสำปะหลังสามารถทำได้ในช่วงเดือนที่มีฝนตก จากการศึกษาพบว่ามีผู้นำเทคโนโลยีในการทำแห้งมาประยุกต์ใช้กับกากมันสำปะหลัง โดย Duangsrisen *et al.* (2013) นำกากมันสำปะหลังที่ผ่านการลดความชื้นทางกลด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ มาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน พบว่าการอบแห้งกากมันสำปะหลังจำนวน 40 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่ามีการอบแห้งที่รวดเร็วเกินไป ร่วงหลุดจากตะแกรงมากถึง 55% ซึ่งกากมันส่วนนี้ต้องถูกนำกลับมาอบแห้งใหม่จึงไม่สะดวกต่อการทำงาน ในขณะที่การทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนต่ำ ง่ายต่อกระบวนการผลิต มีกำลังการผลิตสูง และมีระยะเวลาในการทำแห้งสั้นจึงมีความเหมาะสมต่อการลงทุนในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม (Tangduangdee, 1993)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแนวทางในการอบแห้งกากมันสำปะหลังต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

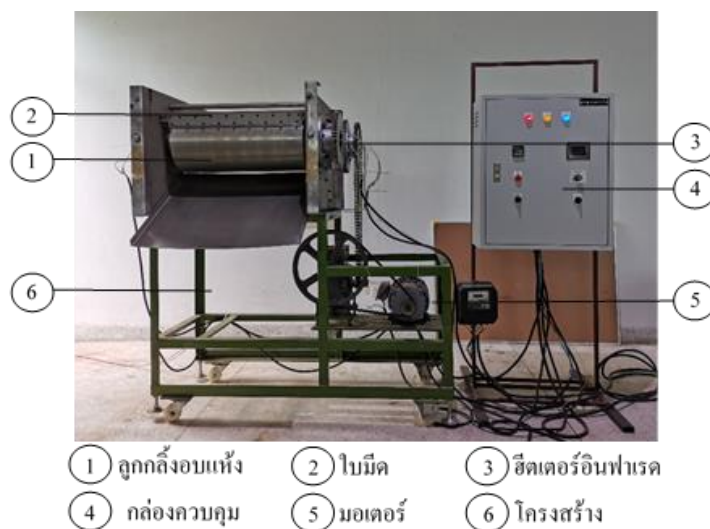
1. กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังสด (ภาพที่ 1) ได้จากโรงงานแปรรูปมันสำปะหลัง (บริษัทอุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด, จังหวัดนครราชสีมา) มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 84.55% (มาตรฐานเปียก)



ภาพที่ 1 กากมันสำปะหลังที่ใช้ในการอบแห้ง

2. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้แหล่งความร้อนจากอินฟราเรด

การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Prangpru *et al.*, 2015) และศึกษาข้อมูลทางกายภาพของกากมันสำปะหลัง เช่น ความหนาแน่นของกากมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการหาขนาดของลูกกลิ้ง ความหนืดของกากมันสำปะหลังใช้ในการหาขนาดของมอเตอร์ ความชื้นของกากมันสำปะหลังเพื่อหาปริมาณน้ำที่ต้องการระเหย ทำการออกแบบและเขียนแบบส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง โดยใช้โปรแกรมเขียนแบบทางวิศวกรรม (SolidWork) เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น (ภาพที่ 2) ใช้ความร้อนจากอินฟราเรดประกอบไปด้วย (1) ลูกกลิ้ง 1 คู่ทำจากสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 26.5 cm และยาว 60 cm ทำหน้าที่อบแห้งผลิตภัณฑ์ (2) ใบมีดทำจากสแตนเลส ทำหน้าที่ขูดผลิตภัณฑ์แห้งออกจากลูกกลิ้ง (3) ฮีตเตอร์อินฟราเรด ติดตั้งอยู่ภายในลูกกลิ้ง ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนให้แก่ลูกกลิ้ง (4) ตู้ควบคุมมีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (5) มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการหมุนลูกกลิ้ง (6)

โครงสร้างเครื่องอบแห้งทำหน้าที่รับน้ำหนักของเครื่องอบแห้ง

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งทำการป้อนกากมันสำปะหลังด้านบนระหว่างลูกกลิ้ง เมื่อลูกกลิ้งหมุนจะพาทากมันสำปะหลังเคลือบลูกกลิ้งเป็นฟิล์มบาง เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวของลูกกลิ้งไปยังฟิล์มของกากมันสำปะหลังด้วยการนำความร้อน เมื่อลูกกลิ้งหมุนไปจนถึงตำแหน่งใบมีด ใบมีดจะทำการขูดกากมันสำปะหลังออกมาเป็นแผ่นบางหรือผงตกลงภาชนะรองรับด้านล่าง

3. การทดสอบอบแห้งกากมันสำปะหลัง

การทดสอบอบแห้งกากมันสำปะหลังเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งและความเร็วรอบของลูกกลิ้งอบแห้งต่อสมรรถนะการอบแห้งโดยออกแบบการทดลองแบบ $3 \times 3 \times 3$ แฟกทอเรียลใน CRD โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ (130 140 และ 150 องศาเซลเซียส) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (0.15 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร) ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (0.19 0.34 และ 0.51 รอบต่อนาที) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งระดับ

ปัจจัยในการศึกษาได้จากข้อมูลการวิจัย ของ Jaito *et al.* (2017) และการทดสอบเบื้องต้น โดยการทดสอบ เริ่มจากนำกากมันสำปะหลังไปหาความชื้นเริ่มต้น ด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Sriroth *et al.*, 2000) ค่าความชื้นของกากมันสำปะหลังสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$M = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times 100\% \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่

M = ความชื้นของกากมันสำปะหลัง (% , มาตรฐานเปียก)

w_i = น้ำหนักของกากมันสำปะหลังก่อนเข้าสู่ตู้อบลมร้อน (กรัม)

w_f = น้ำหนักของกากมันสำปะหลังที่ออกจากตู้อบลมร้อน (กรัม)

การทดสอบอบแห้งกากมันสำปะหลัง ดำเนินการโดยทำการตั้งค่าอุณหภูมิ ระยะห่าง ระหว่างลูกกลิ้งและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ตาม สภาวะการอบแห้งที่กำหนด จากนั้นป้อนกากมัน สำปะหลังจำนวน 1 กิโลกรัม เข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบ ลูกกลิ้งคู่ ระหว่างการทดสอบทำการบันทึกเวลาที่ใช้ ในการอบแห้ง น้ำหนักของกากมันสำปะหลังที่ออก จากเครื่องอบแห้งและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ อบแห้ง สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหา ค่า อัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และความสามารถในการทำแห้ง

4. ประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะในการอบแห้ง พิจารณาจากค่าความชื้นสุดท้ายของกากมัน

สำปะหลังที่ออกจากเครื่องอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะ อัตราการอบแห้ง และความสามารถ ในการอบแห้ง

4.1 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นอัตราส่วนของค่า พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่อง อบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ประกอบไปด้วยพลังงานไฟฟ้า ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า ฮีตเตอร์อินฟราเรดและ ระบบควบคุม สามารถวัดได้ด้วยมาตรวัดไฟฟ้า (kilowatt-hour meter) ต่อปริมาณน้ำ 1 กิโลกรัม ที่ ระเหยออกจากกากมันสำปะหลัง (Sharma and Prasad, 2006; Jaito *et al.*, 2016) ซึ่งสามารถหาได้ จากสมการที่ (2)

$$SEC = \frac{3.6 \times E}{m_{\text{water}}} \quad \text{.....(2)}$$

โดยที่

SEC = ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

E = พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

m_{water} = มวลของน้ำที่ระเหยออกจากกากมันสำปะหลัง (กิโลกรัม)

4.2 อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) เป็นความสามารถในการระเหยน้ำออกจากวัสดุโดยดูจาก

อัตราการระเหยน้ำออกจากกากมันสำปะหลังต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (Duangsrissen *et al.*, 2013) สามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$DR = \frac{m_{\text{water}}}{t} \quad \dots (3)$$

โดยที่

DR = อัตราการอบแห้ง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกากมันสำปะหลัง (ชั่วโมง)

4.3 ความสามารถในการอบแห้ง

ความสามารถในการอบแห้ง (Drying capacity, DC) บ่งบอกถึงความสามารถในการผลิต

กากมันสำปะหลังต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (Ademiluyi *et al.*, 2010) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\dot{m} = \frac{W_p}{t} \quad \dots (4)$$

โดยที่

$\dot{m}$ = ความสามารถในการทำแห้ง (กรัมต่อนาที)

W_p = น้ำหนักกากมันสำปะหลังสด (กรัม)

t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกากมันสำปะหลัง (นาที)

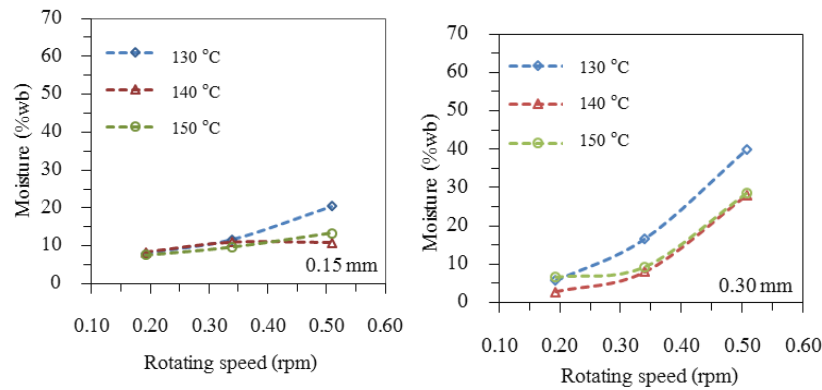
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการอบแห้ง

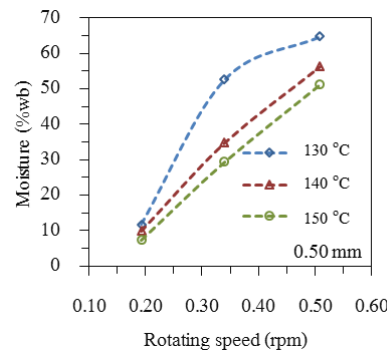
จากผลการทดสอบการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 140 และ 150 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร และที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ 0.19 0.34 และ 0.51 รอบต่อนาที นำไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 14 พบว่าอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อค่าความชื้นสุดท้าย SEC, DR และ DC อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิอบแห้งที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งและความเร็วรอบเดียวกัน

พบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้นแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suriyajunhom and Phongpipatpong (2017) ที่ศึกษาการทำแห้งผักข้าวพองด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าที่ระยะห่าง 0.15 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 0.19 และ 0.34 รอบต่อนาที หากตัดค่าที่สถานะอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 0.19 รอบต่อนาที และ อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที แล้วความชื้นสุดท้ายที่อุณหภูมิต่างๆ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1



(ก) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 มิลลิเมตร (ข) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.30 มิลลิเมตร



(ค) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.50 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังกับความเร็วยรอบหมุนของลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ
ต่างกัน

ตารางที่ 1 ค่าความชื้นสุดท้าย อัตราการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และความสามารถในการทำแห้งที่
สภาวะการอบแห้งต่างๆ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

สภาวะการอบแห้ง	ความชื้นสุดท้าย (%)	SEC (MJ/kg)	DR (kg/h)	DC (g/min)
0.15mm, 130°C, 0.19rpm	8.08 ^{bcd}	7.19 ^{lm}	0.88 ^a	17.52 ^a
0.15mm, 130°C, 0.34rpm	11.73 ^{cd}	6.09 ^{jk}	1.16 ^{ab}	23.35 ^{ab}
0.15mm, 130°C, 0.51rpm	20.52 ^f	4.90 ^{fgh}	1.46 ^{bc}	30.02 ^{bc}
0.15mm, 140°C, 0.19rpm	8.34 ^{bcd}	7.34 ^m	1.12 ^{ab}	22.35 ^{ab}
0.15mm, 140°C, 0.34rpm	10.97 ^{bcd}	5.50 ^{hij}	1.55 ^{bcd}	31.22 ^{bcd}
0.15mm, 140°C, 0.51rpm	10.87 ^{bcd}	4.92 ^{fgh}	1.77 ^{cd}	35.57 ^{cd}
0.15mm, 150°C, 0.19rpm	7.57 ^{abc}	7.18 ^{lm}	1.23 ^{ab}	24.59 ^{ab}
0.15mm, 150°C, 0.34rpm	9.70 ^{bcd}	5.20 ^{ghi}	1.89 ^{cde}	38.00 ^{cd}
0.15mm, 150°C, 0.51rpm	13.30 ^{de}	4.37 ^{def}	2.38 ^{ef}	48.04 ^{ef}
0.30mm, 130°C, 0.19rpm	5.76 ^{ab}	5.58 ^{hij}	1.85 ^{cd}	36.74 ^{cd}
0.30mm, 130°C, 0.34rpm	16.69 ^{ef}	4.26 ^{cdef}	2.64 ^{fg}	53.86 ^{fg}
0.30mm, 130°C, 0.51rpm	39.93 ⁱ	3.38 ^a	3.41 ^{ijk}	76.21 ^{jk}

ตารางที่ 1 (ต่อ)

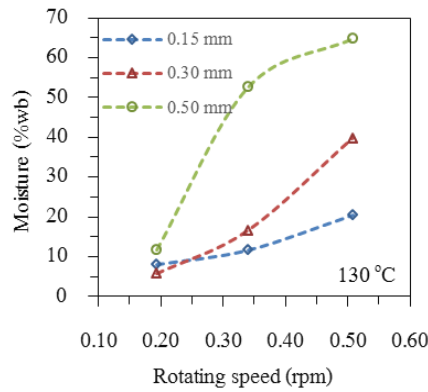
สภาวะการอบแห้ง	ความชื้นสุดท้าย (%)	SEC (MJ/kg)	DR (kg/h)	DC (g/min)
0.30mm, 140°C, 0.19rpm	2.82 ^a	6.83 ^{lm}	1.59 ^{bcd}	31.44 ^{bcd}
0.30mm, 140°C, 0.34rpm	8.03 ^{bcd}	4.17 ^{bcde}	3.00 ^{fgh}	59.85 ^{gh}
0.30mm, 140°C, 0.51rpm	28.16 ^g	3.50 ^{abc}	3.83 ^{kl}	81.13 ^k
0.30mm, 150°C, 0.19rpm	6.55 ^{abc}	7.31 ^m	2.00 ^{de}	39.89 ^{de}
0.30mm, 150°C, 0.34rpm	9.28 ^{bc}	4.33 ^{def}	2.75 ^{fg}	55.10 ^{fg}
0.30mm, 150°C, 0.51rpm	28.61 ^g	4.27 ^{def}	3.31 ^{hij}	70.12 ^{ij}
0.50mm, 130°C, 0.19rpm	11.74 ^{cd}	4.77 ^{efg}	1.92 ^{cde}	38.61 ^{cd}
0.50mm, 130°C, 0.34rpm	52.69 ^{jk}	4.07 ^{abcde}	2.75 ^{fg}	67.46 ^{hi}
0.50mm, 130°C, 0.51rpm	64.86 ^l	3.56 ^{abc}	3.74 ^{jkl}	108.61 ^l
0.50mm, 140°C, 0.19rpm	9.96 ^{bcd}	5.76 ^{ij}	1.84 ^{cd}	36.77 ^{cd}
0.50mm, 140°C, 0.34rpm	37.85 ^h	3.74 ^{abcd}	2.85 ^{fgh}	61.77 ^{ghi}
0.50mm, 140°C, 0.51rpm	53.60 ^k	3.37 ^a	3.99 ^l	102.22 ^l
0.50mm, 150°C, 0.19rpm	7.37 ^{abc}	6.58 ^{kL}	1.88 ^{cde}	37.35 ^{cd}
0.50mm, 150°C, 0.34rpm	29.42 ^g	5.18 ^{ghi}	2.84 ^{fgh}	60.02 ^{gh}
0.50mm, 150°C, 0.51rpm	51.21 ^j	3.47 ^{ab}	4.51 ^m	108.61 ^l

หมายเหตุ 1. อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

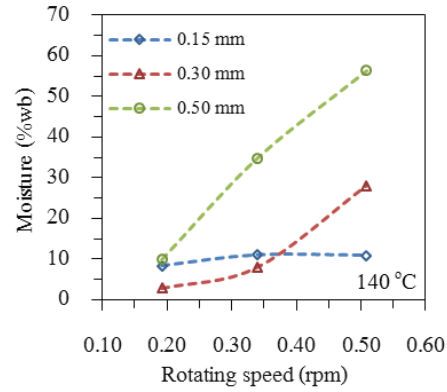
2. สภาวะที่เป็นแถบสีเทาไม่สามารถทำการอบแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายเหมาะสมกับการเก็บรักษาได้ (ความชื้นมากกว่า 14%)

เมื่อพิจารณาเฉพาะระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งส่งผลให้ความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังมีค่าสูงขึ้นแสดงดังภาพที่ 4 เนื่องระยะห่างที่เพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มของกากมันสำปะหลังหนาขึ้นส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลทำได้ยากขึ้น (Qiu *et al.*, 2020) จึงทำให้ความชื้นสูงขึ้นและเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเมื่อ

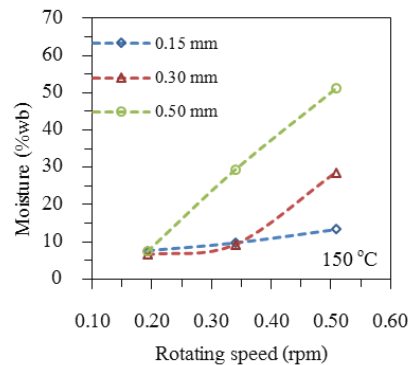
อุณหภูมิและระยะห่างคงที่พบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังมีค่าสูงขึ้น ซึ่งผลการศึกษานี้ให้ผลเช่นเดียวกัน Pua *et al.* (2010) และ Chia and Chong (2015) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบต่อการอบแห้งขนุนผง และเปลือกแก้วมังกรด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งตามลำดับ



(ก) อุณหภูมิในการอบแห้ง 130 องศาเซลเซียส



(ข) อุณหภูมิในการอบแห้ง 140 องศาเซลเซียส



(ค) อุณหภูมิในการอบแห้ง 150 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความเร็วยรอบของลูกกลิ้งที่ระยะห่างต่างๆ กัน

กากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งแล้วหากมีความชื้นต่ำกว่า 14% (ภาพที่ 5 ก) มีลักษณะทางกายภาพหลังการอบแห้งเป็นผง หรือแผ่นบางกรอบสามารถเก็บรักษาและจัดการต่อเป็นกากมันอัดเม็ด

และกากมันผงได้ง่าย ส่วนกากมันที่มีความชื้นสูงกว่า 14% (ภาพที่ 5 ข) มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนและไม่สามารถเก็บไว้นานเกิน 1 สัปดาห์เนื่องจากจะเกิดเชื้อราขึ้น



(ก) กากมันสำปะหลังมีความชื้นต่ำกว่า 14%



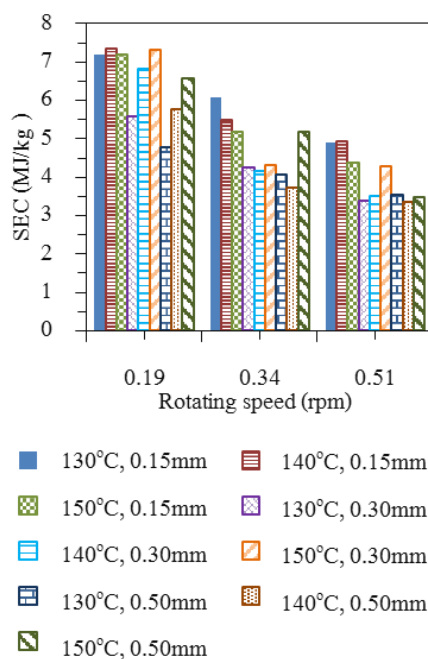
(ข) กากมันสำปะหลังมีความชื้นสูงกว่า 14%

ภาพที่ 5 ลักษณะกากมันสำปะหลังที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

2. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เมื่อพิจารณาด้านพลังงานในรูปของค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหรือ SEC พบว่าค่า SEC ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงร่วมกันของอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วยรอบการหมุนของลูกกลิ้ง ดังแสดงในภาพที่ 6 และตารางที่ 1 การเพิ่มขึ้นของความเร็วยรอบส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง เนื่องจากความเร็วยรอบที่เพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการอบแห้งเร็วขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานต่อปริมาณน้ำระเหยมีค่าลดลง ที่ความเร็วยรอบ 0.19 รอบต่อนาที พบว่าที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นต้องการพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับฮีตเตอร์อินฟราเรดที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งเพื่อใช้ในการอบแห้งกากมะพร้าวของ Jaito *et al.* (2016) ส่วนที่ 0.15 มิลลิเมตร พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อค่า SEC ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่า ลูกกลิ้งสามารถพาทากมันสำปะหลังไปบนลูกกลิ้งได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ จึงใช้เวลาในการอบแห้งรวมทั้งหมดสั้นกว่าเมื่อคิดเป็นค่า SEC แล้วจึงไม่แตกต่างกัน ที่ความเร็วยรอบ 0.34 รอบต่อนาที พบว่าที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความ

สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงเนื่องจากระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มของกากมันหนาขึ้น มีน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อผนวกกับค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำมีค่ามากขึ้น ซึ่งความหนาที่เพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 0.30 มิลลิเมตร เป็นค่าที่ยังอยู่ในช่วงที่พลังงานความร้อนจากลูกกลิ้งสามารถระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้จนถึงระดับการเก็บรักษาที่ปลอดภัย อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นถึง 0.5 มิลลิเมตร จะไม่สามารถลดความชื้นกากมันได้ถึงระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาได้ และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วยรอบ 0.51 รอบต่อนาที พบว่ามีค่า SEC ต่ำที่สุดเนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งต่ำ อย่างไรก็ตามที่ความเร็วยรอบนี้พบว่าสามารถอบแห้งให้กากมันมีความชื้นปลอดภัยได้ที่สภาวะระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.15 มิลลิเมตร และอุณหภูมิการอบแห้ง 140 และ 150 องศาเซลเซียสเท่านั้น ส่วนที่ความหนา 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร ไม่สามารถทำให้กากมันสำปะหลังแห้งได้ เนื่องจากทั้งความหนาของชั้นฟิล์มและความเร็วยรอบหมุนที่เร็วขึ้นทำให้ไม่สามารถระเหยน้ำออกจากกากมันได้ ก่อนที่จะออกจากเครื่องอบแห้ง ดังนั้นจึงถือได้ว่าที่ความหนา 0.30 และ 0.50 มิลลิเมตร และความเร็วยรอบของลูกกลิ้ง 0.51 รอบต่อนาที ไม่เหมาะสมต่อการอบแห้งกากมัน

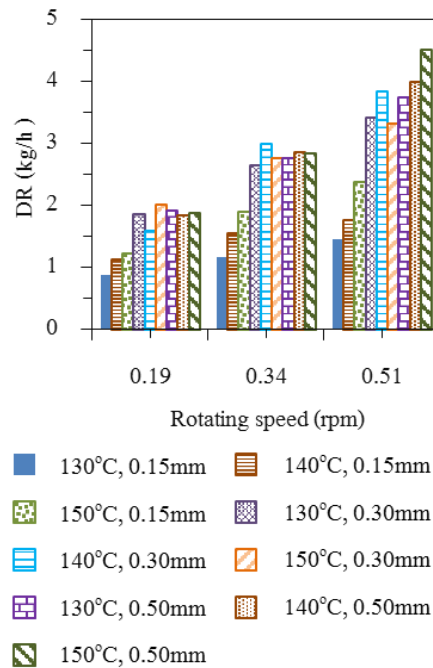


ภาพที่ 6 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

3. อัตราการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งพบว่า ค่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงร่วมกันของอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วรอบการหมุนลูกกลิ้ง แสดงดังภาพที่ 7 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งอบแห้งส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การถ่ายเทมวลได้มากขึ้น (Kumwan *et al.*, 2018) ส่วนความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการระเหยลดลงทำให้

อบแห้งเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นถึง 0.51 รอบต่อนาที ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 และ 0.5 มิลลิเมตร จะไม่สามารถลดความชื้นกากมันได้ถึงระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาได้ และเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งสูงสุดที่สามารถอบแห้งให้กากมันสำปะหลังมีความชื้นอยู่ในระยะปลอดภัยได้คือ ที่ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที อุณหภูมิอบแห้ง 140 องศาเซลเซียส ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร

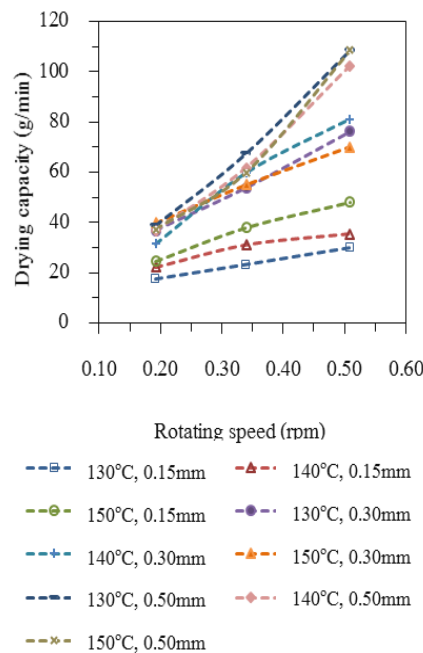


ภาพที่ 7 อัตราการอบแห้งของกากมันสำปะหลังอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

4. ความสามารถในการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาความสามารถในการอบแห้ง กากมันสำปะหลังพบว่า ค่าความสามารถในการอบแห้งขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ดังแสดงในภาพที่ 8 การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง ทำให้การนำกากมันสำปะหลังเข้าสู่ห้องอบแห้งได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ค่าความสามารถในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทำให้กากมันสำปะหลังเกาะติดเป็นฟิล์มหนาขึ้นส่งผลให้ป้อนกากมันสำปะหลังเข้าสู่เครื่องอบแห้งได้มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษากากมันสำปะหลังสำเร็จรูปของ Vanmontree *et al.* (2013) เมื่อพิจารณา

ที่ความเร็วรอบ 0.19 และ 0.34 รอบต่อนาที พบว่า ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร กับ 0.5 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนที่ความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้ง 0.51 รอบต่อนาที ให้ความสามารถสูงสุดในการทำแห้ง แต่ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ 0.3 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร ไม่สามารถอบแห้งกากมันสำปะหลังให้อยู่ในระบะปลดกัยได้ และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบที่ 0.34 รอบต่อนาที พบว่าสามารถอบแห้งให้กากมันมีความชื้นปลดกัยได้ที่ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.3 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 140 และ 150 องศาเซลเซียสเท่านั้น โดยที่อุณหภูมิการอบแห้งไม่ส่งผลต่อความสามารถในการอบแห้งกากมันสำปะหลัง



ภาพที่ 8 ความสามารถในการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการอบแห้งร่วมกัน ทั้งความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลัง ค่า SEC, DR, และ DC แล้ว พบว่าค่าความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังเป็นค่าที่มีความสำคัญต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังให้อยู่ในระยะปลอดภัยต่อการเก็บรักษาที่ความชื้นต่ำกว่า 14 % ร่วมกับค่า SEC, DR และ DC แล้วจากตารางที่ 1 พบว่าที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.30 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที นั้นมีค่าความชื้นสุดท้ายที่ 8.03% ค่า SEC เท่ากับ 4.17 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ค่า DR 3.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และให้ค่าความสามารถในการอบแห้งกากมันสำปะหลังเข้าเครื่องอบแห้งสูงสุดที่ 59.85 กรัมต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งกากมันด้วยเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนของ Duangsrissen *et al.* (2013) พบว่าที่

สภาวะการอบแห้งนี้สามารถลดการใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากกากมันสำปะหลังต่อกิโลกรัมลงได้ 25.80%

สรุป

จากการทดลองศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยความชื้นกากมันสำปะหลังเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 84.77% (มาตรฐานเปียก) พบว่าอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง และความเร็วรอบการหมุนลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสุดท้ายของกากมัน, SEC, DR และ DC ของการอบแห้งกากมันสำปะหลัง โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นสุดท้ายของกากมันลดลง แต่ SEC และ DR เพิ่มขึ้น และไม่ส่งผลกระทบบต่อค่า DC ส่วนค่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความชื้นสุดท้ายของกากมัน, DR และ DC เพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อค่า SEC และค่าความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความชื้นสุดท้ายของกากมัน, SEC, DR

และ DC เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อศึกษาปัจจัยทั้งสามพร้อมกัน พบว่าการอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.30 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 0.34 รอบต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกากมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เนื่องจากให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ มีอัตราการอบแห้งสูง และให้ค่าความสามารถในการทำแห้งสูงสุดโดยที่ความชื้นสุดท้ายของกากมันสำปะหลังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา ซึ่งสามารถพัฒนาต่อออกไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยการประยุกต์ใช้ความร้อนเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตมาเป็นแหล่งความร้อนให้กับลูกกลิ้งเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งการจัดการกากมันสำปะหลังและการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนการวิจัยแผนงานพัฒนาบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563

เอกสารอ้างอิง

- Ademiluyi, F.T., Abowei, M.F.N., Puyate, Y.T. and Achinewhu, S.C. 2010. Effects of drying parameters on heat transfer during drying of fermented ground cassava in a rotary dryer. **Drying Technology** 28(4): 550-561.
- Chia, S.L. and Chong, G.H. 2015. Effect of rotation speed and steam pressure on physico-chemical properties of drum dried pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **International Food Research Journal** 22(1): 372-376.
- Duangsrise, W., Treeamnuk, T., Sukthang, N. and Arjarn, W. 2013. A Study of Drying Cassava Pulp Using a Rotary Screen Dryer. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal** 19(1): 7-13. (in Thai)
- Hemhirun, S. and Bunyawachakul, P. 2017. Review of Control Methods for Paddy Drying in Various Dryers. **Engineering Journal Chiang Mai University** 24(1): 60-68. (in Thai)
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Sunarti, T.C., Suparno, O. and Prasetya, B. 2012. Potential utilization of cassava pulp for ethanol production in Indonesia. **Scientific Research and Essays** 7(2): 100-106.
- Jaito, K., Treeamnuk, T., Treeamnuk, K. and Prangpru, N. 2016. Shredded-Coconut Drying by Spouted-Bed Technique for Cold Press Coconut Oil Production. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal** 22(1): 64-72. (in Thai)
- Jaito, K., Treeamnuk, T. and Treeamnuk, K. 2017. The performance study of double drum dryer for moisture reduction of cassava pulp. **International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering** 6(4): 2394-2827.
- Kachenpukdee, N., Santerre, C.R., Ferruzzi, M.G. and Oonsivilai, R. 2016. Modified Dietary Fiber from Cassava Pulp and Assessment of Mercury Bio-accessibility and Intestinal Uptake Using an In Vitro Digestion/Caco-2Model System. **Journal of Food Science** 81: T1854-T1863.

- Khempaka, S., Molee, W. and Guillaume, M. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. **Journal of Applied Poultry Research** 18(3): 487-493.
- Kumwan, R., Thiangchanta, S. and Kesai, S. 2018. Determination of Drying Rate of Jackfruit by Infrared Dryer, Vacuum System. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal** 11(2): 67-77. (in Thai)
- Olusegun, H.D. and Ajiboye, T.K. 2010. The design, construction and testing of a vertical squeeze cassava pulp dewatering machine. **International Journal of Engineering & Applied Sciences** 2(1): 27-43.
- Paepatung, N., Nopharatana, A. and Songkasiri, W. 2009. Bio-methane potential of biological solid materials and agricultural wastes. **Asian Journal on Energy and Environment** 10(1): 19-27.
- Prangpru, N., Treeamnuk, T. and Treeamnuk, K. 2015. Comparison of the Efficiency of the Carrier Effect on the Drying Process of Tamarind Juice with a Drum Dryer, pp. 480-485. *In The 8th TSAE National Conference and the 16th TSAE International Conference.* BITEC Bangna, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Pua, C.K., Hamid, N.S.Abd., Tan, C.P., Mirhosseini, H., Rahman, R.B and Rusul, G. 2010. Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology** 43: 343-349.
- Qiu, J., Boom, R.M. and Schutyser, M.A. 2020. Model development for conductive thin film drying processes. **Journal of Food Engineering** 268: 1-6.
- Sharma, G.P. and Prasad, S. 2006. Specific energy consumption in microwave drying of garlic cloves. **Energy** 31(12): 1921-1926.
- Smarter Global Sourcing Starts Here. 2018. **Overview of Global Cassava Market.** Available Source: <https://www.tridge.com/intelligences/mandioca/export>, February 12, 2020.
- Sriroth, K., Chollakup, R., Chotineeranat, S., Piyachomkwan, K. and Oates, C.G. 2000. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Bioresource technology** 71(1): 63-69.
- Suriyajunhom, P. and Phongpipatpong, M. 2017. Effect of drying temperature, maltodextrin and gum arabic on physiochemical characteristics of Gac powder produced by double drum drying, pp. 243-249. *In The 18th TSAE National Conference and the 10th TSAE International Conference.* IMPACT Exhibition Center, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Tangduangdee, C. 1993. A Mathematical Modelling of Drying Process Using Rotary Drum Dryer. Master of Engineering, King

- Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Tangpinijkul, N. 2015. **Research Report no Research and Development of Machinery for Cassava Chip.** Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Vanmontree, B., Treeamnuk, T., Jitkuson, P. and Singkong, W. 2013. Drying of semi-finished germinated brown rice porridge with a double Drum dryer. *In The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference.* Hua Hin Grand Hotel and Plaza, Prachuap KhiriKhan. (in Thai)

การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช

Production of Fermented Vinegar from Cavendish Banana

(*Musa* spp. AAA group)

กัรรณย์ พรหมเทพ *

Karan Phromthep *

Received: 1 May 2020, Revised: 1 June 2020, Accepted: 10 June 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การนำวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ กล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่มีระดับความสุกมากจนเกินไปมาใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก กล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่นำมาศึกษาและผลิตน้ำส้มสายชูหมัก จะใช้กล้วยที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ สุกเกิน 100%, สุก 100%, และสุก 30% สำหรับขั้นตอนแรกของการหมักเพื่อให้ได้เอทานอล (ผลิตไวน์) ตัวอย่างกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ระดับความสุก จะถูกหมักโดยเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) เป็นเวลา 14 วัน และผลการทดลองพบว่า ไวน์จากกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ตัวอย่าง มีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 9.77 ถึง 9.88 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก (ผลิตน้ำส้มสายชูหมัก) นั้น จะนำตัวอย่างไวน์ที่ผลิตจากขั้นตอนที่ 1 มาผลิตโดยใช้เชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 และหมักเป็นเวลา 14 วันและผลการทดลองพบว่า น้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ตัวอย่าง มีปริมาณกรดอะซิติกอยู่ในช่วงระหว่าง 6.63 ถึง 7.19 เปอร์เซ็นต์ และ ตัวอย่างน้ำส้มสายชูที่หมักจากกล้วยหอมเขียวสุก 100% มีปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ FRAP assay) ในน้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่ายังคงตรวจพบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ภายหลังจากการหมักทั้งในขั้นตอนการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ และการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก เป็นเวลา 14 วัน

คำสำคัญ: น้ำส้มสายชูหมัก, กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช, *Saccharomyces cerevisiae*, *Acetobacter aceti*

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 71190

Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University, Nongbua, Muang, Kanchanaburi 71190, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): kphromthep@kru.ac.th

ABSTRACT

The present study aims at utilizing agricultural waste, which is overripe Cavendish bananas (*Musa* spp. AAA group), for fermented vinegar production. The three different ripe stages of Cavendish bananas including 1) over 100% ripe, 2) 100% ripe and 3) 30% ripe were prepared for vinegar production. For the ethanol fermentation (wines production), bananas were fermented by using *Saccharomyces cerevisiae* at 30 °C for 14 days. The results showed that there was no statistically significant difference in alcohol content among wine samples from three banana ripe stages which were in the range of 9.77 to 9.88 percent by volume. For the acetic acid fermentation (vinegar production), three banana wines were fermented by *Acetobacter aceti* TISTR 354 for 14 days. The results revealed that three vinegar samples had acetic acid content in the range of 6.63 to 7.19 percent by volume and the vinegar fermented from banana with 100% ripe stage had the highest acetic acid content ($p \leq 0.05$). In addition, the analyses of total phenolic content, total flavonoid content and the antioxidant activities (ABTS and FRAP assay) of vinegar samples fermented from three different banana ripe stages were determined. The results showed that both phenolic and flavonoid compounds were still detected and had antioxidant potentials after alcohol and subsequent acetic acid fermentation steps.

Key words: vinegar, Cavendish banana, *Saccharomyces cerevisiae*, *Acetobacter aceti*

บทนำ

กล้วยหอมเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกในประเทศไทยและสามารถส่งเป็นสินค้าส่งออกไปขายยังต่างประเทศ ในปัจจุบันกล้วยหอมที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ กล้วยหอมทอง (Gros Michel) และกล้วยหอมเขียว (Cavendish) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้เป็นกลุ่มย่อยของสายพันธุ์กล้วยในกลุ่ม AAA Group (Srisa ad et al., 2018) องค์ประกอบต่างๆ ที่พบในกล้วยหอมที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ ได้แก่ วิตามินบี วิตามินซี วิตามินเอ รวมไปถึงแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม นอกจากนี้กล้วยหอมยังเป็นแหล่งเส้นใย โปรตีน ไขมัน และเบต้า-แคโรทีน โดยสรรพคุณของกล้วยหอมที่สำคัญได้แก่ ช่วยบำรุงเลือด ช่วยลดความเครียด แก้อาการท้องผูก และโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหารและลำไส้ เป็นต้น (Silayoi, 2002)

น้ำส้มสายชูหมัก (vinegar) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่มีน้ำตาล เช่น ผลไม้ หรือ ธัญพืช ชนิดต่างๆ มาหมัก โดยมีกลไกการหมัก 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ (เอทานอล) ด้วยเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) 2. สกัดเอาแอลกอฮอล์ที่ได้และนำไปหมักต่อด้วยเชื้อแบคทีเรียที่สามารถสร้างกรดน้ำส้ม หรือกรดอะซิติก (*Acetobacter* spp.) สำหรับการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มสายชูหมัก คือใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหาร เครื่องดื่มสำหรับบริโภค นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเป็นเครื่องดื่มชนิดใหม่ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ น้ำส้มสายชูหมัก (Mangnoi et al., 2019) น้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตได้นั้นมีสรรพคุณเคมีที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก รวมไปถึงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาของ Chailangka (2009); Prisacaru and Oroian (2018) ได้

อธิบายไว้ว่า ระหว่างขั้นตอนการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูหมักจากผลหม่อนนั้น มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น แต่บางรายงานได้สรุปไว้ว่าระหว่างการหมักเพื่อให้ได้น้ำส้มสายชู อาจทำให้สูญเสียปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Gokirmakli *et al.*, 2019; Davies *et al.*, 2017) กล้วยหลายพันธุ์สามารถนำมาผลิตน้ำส้มสายชูหมักได้ โดยมีการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยและวัสดุเหลือทิ้งจากกล้วย ซึ่งได้ผลการทดลองที่น่าสนใจ ได้แก่ การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยที่สุกเกินไป (Konate *et al.*, 2015) และการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเนื้อกล้วยที่เหลือทิ้ง (Tanaka *et al.*, 2016) และ การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากเปลือกกล้วย (Prisacaru and Oroian, 2018) เป็นต้น

เนื่องจากการส่งเสริมการปลูกกล้วยหอมเขียวเพื่อการค้าและส่งออก ทำให้มีผลผลิตของกล้วยหอมเขียวเป็นจำนวนมาก และมีผลผลิตบางส่วนที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน จึงทำให้ไม่สามารถส่งไปจำหน่ายได้ ผลผลิตบางส่วนที่ไม่ได้มาตรฐาน

จะถูกนำมาจำหน่ายในตลาดท้องถิ่นทั่วไป บางส่วนก็นำไปแปรรูปต่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ และเนื่องจากมีผลผลิตออกมามากจนทำให้จำหน่ายไม่ทัน จึงทำให้กล้วยสุก งาม แล้วถูกทิ้งไปในที่สุด สำหรับวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ก็คือ การนำวัตถุดิบที่เหลือทิ้งมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมัก โดยการนำมาใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมัก เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบที่เหลือทิ้ง และให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบหลักและเชื้อจุลินทรีย์

1.1 กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช (*Musa spp.* AAA group “Cavendish”) ได้มาจาก อ.บ่อพลอย จ.กาญจนบุรี โดยระดับความสุกของกล้วยที่จะนำมาศึกษาจะคัดแปลงมาจาก Chanthima *et al.* (2015) โดยกำหนดระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ระยะ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความสุกของกล้วยที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช

ระดับการสุก	ลักษณะของกล้วย
ระยะที่ 1 (สุก 30%)	มีเปลือกเขียว (ดิบ 70%) เริ่มสุกและเป็นสีเหลืองมากขึ้น (30%)
ระยะที่ 2 (สุก 100%)	ผลมีสีเหลือง มีการสุกเต็มที่
ระยะที่ 3 (สุกเกิน 100%)	ผิวสีเหลือง และมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ)

1.2 เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ยี่ห้อ Red Star Montrachet® ประเทศสหรัฐอเมริกา
1.3 เชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* TISTR 354 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (Thailand MIRCEN)

2. การผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

2.1 การหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์
การเตรียมน้ำกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ได้คัดแปลงจากวิธีการของ Konate *et al.* (2015) โดยเริ่มจากนำตัวอย่างกล้วยไปทำความสะอาด ล้าง ปอกเปลือก หั่นเป็นแว่น (ความหนา 1.0 เซนติเมตร)

จากนั้นนำน้ำต้มสะอาดมาผสมกับกล้วยที่หั่นไว้ โดยผสมในอัตราส่วน (น้ำ: กล้วย) 2:1 ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ให้เท่ากับ 20 °Brix โดยใช้น้ำตาลทราย และค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้เท่ากับ 4.5 ด้วยกรดซิตริก

นำไปให้ต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 40 °C บรรจุลงในถังพลาสติกแล้วจึงเติมเชื้อกลั่นเชื้อยีสต์ปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ (w/v) จากนั้นหมักที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 14 วัน

2.2 การหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก

การหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก คัดแปลงจากวิธีการของ Lapa *et al.* (2011) โดยภายหลังจากการหมักเพื่อให้ได้เอทานอล 14 วัน จะได้ตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 2.1 มาแยกใช้เฉพาะส่วนใสแล้วเจือจางให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 5% (v/v) ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 5.5 ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำตัวอย่างของเหลวที่ได้ไปใส่ภาชนะพลาสติกที่สะอาด เติมห่วงเชื่อน้ำส้มสายชู คือ *A. aceti* TISTR 354 ปริมาณ 5% (v/v) แล้วปิดด้วยแผ่นพลาสติกใส จากนั้นหมักที่อุณหภูมิห้อง (30 °C) เป็นเวลา 14 วัน

3. การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี

ตัวอย่างที่ได้จากการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์เป็นเวลา 14 วัน และการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกเป็นเวลา 14 วัน จะถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีต่างๆ ดังต่อไปนี้ วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ ด้วยเครื่อง Ebulliometer (Per Vinum J. Salleron Dujardin, Paris ประเทศฝรั่งเศส) ตามวิธีของ Chumpookam *et al.* (2014) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Refractometer (ยี่ห้อ Atago รุ่น ATC - 1E ประเทศญี่ปุ่น), ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Mettler

Toledo รุ่น s220 ประเทศเยอรมนี) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ด้วยวิธีไทเทรต (AOAC, 2000)

4. การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ

ภายหลังการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ เป็นเวลา 14 วัน และการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกเป็นเวลา 14 วัน ตัวอย่างจะถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ซึ่งจะแสดงในรูปของกรดแกลลิกต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง (mg gallic/100ml sample) โดยวิธี Folin-Ciocalteu โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ในขณะที่การวิเคราะห์สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด แสดงในรูปของควอร์เซตินต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง (mg quercetin/100ml sample) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ซึ่งการวิเคราะห์นี้ได้คัดแปลงจาก Iqbal *et al.* (2007)

วิธีการวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ วิธี ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) แสดงในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลเทียบเท่าสารโทรลอคซ์ต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง (mg Trolox/100 ml sample) ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ในขณะที่วิธี FRAP (ferric ion reducing antioxidant power) จะแสดงในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของเฟอร์รัสซัลเฟต ต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง (mg FeSO₄/100 ml sample) ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ซึ่งการวิเคราะห์นี้ได้คัดแปลงจากวิธีของ Dudonne *et al.* (2009)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ศึกษาโดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทรีตเมนต์

ได้แก่ ระดับความสุกของกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ (ระยะที่ 1 (สุก 30%), ระยะที่ 2 (สุก 100%), ระยะที่ 3 (สุกเกิน 100%) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์โดยใช้ DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

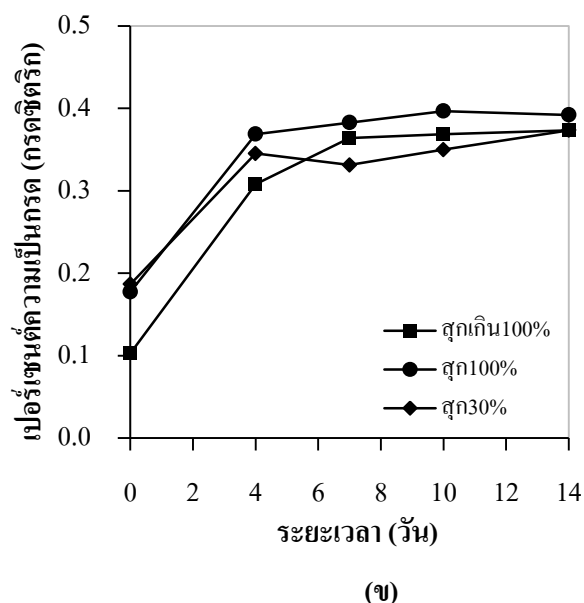
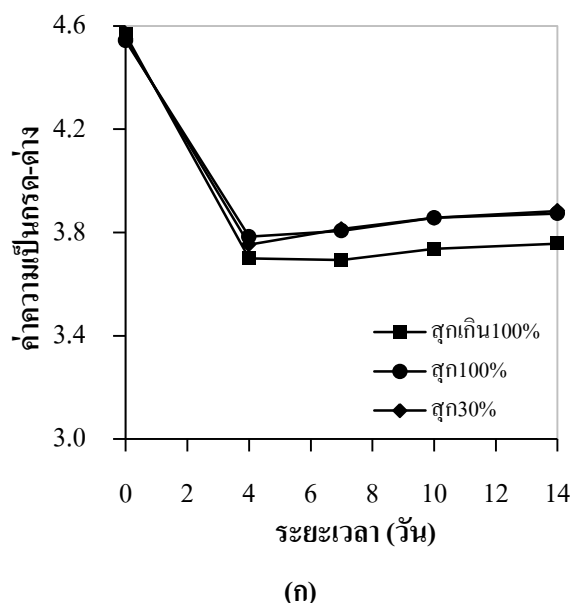
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การหมักเพื่อให้ได้น้ำส้มสายชูหมักนั้นจะแบ่งเป็นสองขั้นตอนด้วยกัน โดยขั้นตอนแรกจะเริ่มด้วยการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) จากนั้นจะเป็นการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก โดยใช้เชื้อแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (*A. aceti* TISTR 354) โดยการศึกษานี้ได้ผลิตน้ำส้มสายชูหมัก โดยใช้กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช

เวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ (1) กล้วยที่มีความสุกเกิน 100% (2) กล้วยที่มีความสุก 100% และ (3) กล้วยที่มีความสุก 30% สำหรับผลวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีระหว่างการหมัก พร้อมทั้งปริมาณสารสำคัญที่มีในตัวอย่าง แสดงดังตารางและภาพ ดังต่อไปนี้

1. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์

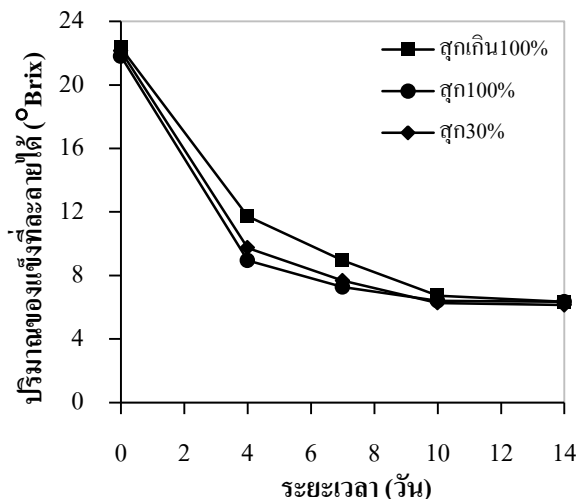
การหมักในขั้นตอนแรก เป็นการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ โดยจะวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณกรดทั้งหมด (กรดซิตริก), ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณแอลกอฮอล์ ของตัวอย่างไวน์ที่ผลิตจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่มีระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยการหมักเป็นเวลา 14 วัน ผลการทดลองแสดงดังในภาพที่ 1 ถึง 4 และตารางที่ 2



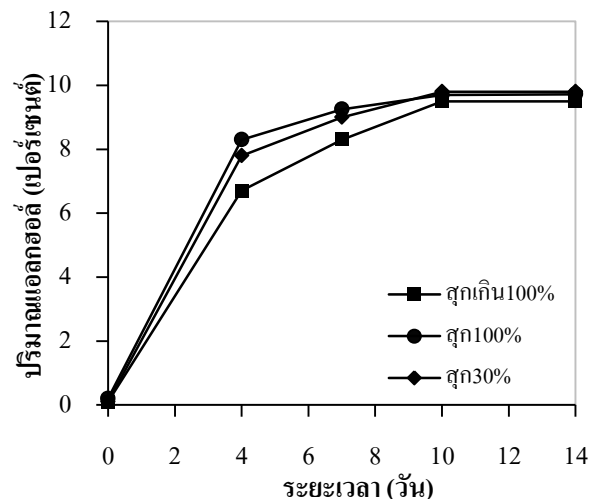
ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (ก) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดซิตริก) (ข) ของไวน์จากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ในระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของไวน์ทั้งสามตัวอย่าง มีแนวโน้มที่ลดลงระหว่างการหมัก ในช่วงวันที่ 0-4 แต่หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มที่คงที่ไปจนถึงวันที่ 14 ของการหมัก (ภาพที่ 1 (ก)) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดซิตริก) ในตัวอย่างไวน์ทั้งสามตัวอย่างนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

อย่างรวดเร็วในระหว่างการหมักช่วง 4 วันแรก หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ของไวน์ทั้งสามตัวอย่างมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่าคงที่ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน (ภาพที่ 1 (ข))



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ก) และปริมาณแอลกอฮอล์ (ข) ในไวน์จากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ในระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของตัวอย่างไวน์ทั้งสาม มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการหมักในช่วงวันที่ 0-4 แต่หลังจากนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงอย่างเล็กน้อยและคงที่ไปจนถึงวันที่ 14 ของการหมัก (ภาพที่ 2 (ก)) ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักเป็นเวลา 14 วันพบว่าตัวอย่างไวน์ทั้งสาม มีแนวโน้มของปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 4 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มอย่างขึ้นอย่างเล็กน้อยและคงที่ตลอดช่วงการหมักเป็นเวลา 14 วัน โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์มากกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2 (ข))

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เริ่มต้นของน้ำผลไม้หรือสารละลายที่จะนำมาหมักไวน์เพื่อให้ได้เอทานอลมีความสำคัญอย่างมาก โดยภายหลังจากกระบวนการหมักได้เริ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณแอลกอฮอล์และปริมาณกรดในตัวอย่างไวน์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่จะให้ผลที่ตรงกันข้ามกับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) สามารถผลิตเอนไซม์อินเวอร์เตส (Invertase enzyme) ที่สามารถย่อยสลายน้ำตาลซูโครสให้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส และหลังจากนั้นจะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แอลกอฮอล์ กรดอะซิติก กรด

เล็กคิก และคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเอนไซม์อื่นๆ ซึ่งจะเกี่ยวข้องในวิถี Embden-Meyerhof-Parnas (EMP pathway) ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง โดยเชื้อยีสต์จะนำน้ำตาลดังกล่าวไปใช้ในการเจริญเติบโตแล้วสร้างแอลกอฮอล์ไปพร้อมๆ

กัน และในระหว่างการหมักไวน์นั้นก็จะมีการสร้างกรดเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าลดลง (Chaikulsareewath and Wongprayoon, 2006; Jitjaroen, 2013)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเป็นกรด-ด่าง เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณแอลกอฮอล์ ของตัวอย่างไวน์กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดซิตริก)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (เปอร์เซ็นต์)
สุกเกิน 100%	3.76±0.01 ^a	0.37±0.02 ^a	6.33±0.11 ^a	9.77±0.06 ^a
สุก 100%	3.87±0.01 ^b	0.39±0.02 ^a	6.33±0.12 ^a	9.77±0.06 ^a
สุก 30%	3.88±0.01 ^b	0.37±0.02 ^a	6.13±0.12 ^a	9.88±0.06 ^a

^{a, b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวดังเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีในตัวอย่างไวน์ที่หมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ (เอทานอล) โดยใช้กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุก 3 ระดับ ซึ่งใช้เวลาหมักเป็นเวลา 14 วัน พบว่าระดับความสุกของกล้วยหอมเขียวนั้นมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.76 ถึง 3.88 โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุกเกิน 100% นั้นมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำที่สุดอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (กรดซิตริก) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.37 ถึง 0.39 เปอร์เซ็นต์, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.13 ถึง 6.33 $^{\circ}$ Brix และปริมาณแอลกอฮอล์มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 9.77 ถึง 9.88 เปอร์เซ็นต์ โดยที่คุณลักษณะทางเคมีดังกล่าวข้างต้นของไวน์ทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

คาร์โบไฮเดรตในเนื้อกล้วยส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล ซึ่งเชื้อยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ นอกจากนี้ในเนื้อกล้วยยังมีเกลือแร่ ไบโตน และโปรตีน ที่เหมาะสมสำหรับช่วยเสริมในการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ โดยในระหว่างการหมักไวน์จากเศษกล้วยเหลือทิ้ง พบว่าปริมาณน้ำตาลนั้นมีค่าลดลงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ในช่วงการหมักเป็นเวลา 45 ชั่วโมง (Tanaka *et al.*, 2016) และจากการศึกษาของ Sodchit and Weeragul (2012) พบว่าคุณลักษณะทางเคมีของตัวอย่างไวน์ที่ผลิตจากเศษกล้วยที่ใช้ระยะเวลา 15 วัน มีการเปลี่ยนแปลงโดยปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.00 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงจาก 22 $^{\circ}$ Brix เหลือ 7.00 $^{\circ}$ Brix และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าลดลงจาก 4.60 เหลือ 3.40

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารพฤกษเคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวคาเวนดิชที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ เป็นวัตถุประสงค์และใช้เวลาหมักเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งผลการทดลองจะแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ FRAP assay) ของตัวอย่างไวน์กล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ตัวอย่างไวน์	Total phenolic (mg gallic /100ml sample)	Total flavonoid (mg quercetin /100ml sample)	ABTS (mg trolox/100 ml sample)	FRAP (mg FeSO4 /100ml sample)
สุกเกิน 100%	13.31±0.19 ^c	6.50±0.06 ^c	11.84±0.15 ^c	38.83±0.95 ^b
สุก 100%	18.12±0.24 ^a	12.64±0.06 ^a	16.95±0.23 ^a	55.44±0.08 ^a
สุก 30%	15.69±0.39 ^b	6.74±0.06 ^b	12.36±0.26 ^b	36.32±1.18 ^c

^{a, b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 3 พบว่า ระดับความสุกของกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ระดับ มีอิทธิพลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยสำหรับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ในไวน์ทั้ง 3 ตัวอย่างนั้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 13.31 ถึง 18.12 mg gallic/100ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ในไวน์ทั้งสามตัวอย่าง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.50 ถึง 12.64 mg quercetin/100ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay พบว่าไวน์ทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่ากิจกรรม การต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง

11.84 ถึง 16.95 mg trolox/100 ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีค่ากิจกรรม การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay พบว่าตัวอย่างไวน์ทั้ง 3 มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง 36.32 ถึง 55.44 mg FeSO4/100ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ อัลคาลอยด์ เป็นสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่สามารถพบได้ทั่วไปในอาณาจักรพืชและอาหาร ในกล้วยนั้นจะมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกและอนุพันธ์ ซึ่งจะพบได้ในทุกๆ ส่วนของผลกล้วยและสารประกอบดังกล่าวนี้ จะมีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระ ซึ่งอาจจะสามารถใช้เป็นยา

เพื่อใช้รักษาโรคต่างๆ ได้ (Al Amri and Hossain, 2018) และจากการทดลองของ Aquino *et al.* (2016) ได้รายงานไว้ว่า ในเปลือกกล้วยที่สุกแล้ว จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มากที่สุด รองลงมาคือ เนื้อกล้วยที่สุก เปลือกกล้วยไม่สุก และเนื้อกล้วยที่ไม่สุกซึ่งจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุดในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่พบในกล้วยที่ระดับความสุกที่แตกต่างกันจะพบว่า เปลือกกล้วยสุกจะมีกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือกกล้วยไม่สุก เนื้อกล้วยที่สุก และเนื้อกล้วยที่ไม่สุก ตามลำดับ

ผลกระทบต่อสารต้านอนุมูลอิสระและ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากการหมัก เพื่อให้ได้เอทานอลและกรดอะซิติกที่รายงานโดย Chailangka (2009) ได้สรุปไว้ว่าตัวอย่างน้ำผลไม้

ที่ผ่านการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์โดยเชื้อยีสต์นั้น มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าน้ำผลไม้สดเริ่มต้น (ตัวอย่างควบคุม) ที่ไม่ได้ผ่านการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจาก ความร้อน (ประมาณ 36 ถึง 38 องศาเซลเซียส) ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักนั้นมีผลอย่างมากต่อสารต้านอนุมูลอิสระ

2. ผลการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมีและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก

คุณลักษณะทางเคมี ซึ่งวิเคราะห์ภายหลังจากการหมักโดยเชื้อ *Acetobacter acetii* TISTR 354 เป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้ได้กรดอะซิติก โดยผลการทดลองจะแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเป็นกรด-ด่าง เฟอร์เซนต์ความเป็นกรด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณแอลกอฮอล์ ของตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ตัวอย่าง น้ำส้มสายชู	ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ค่าเฟอร์เซนต์ ความเป็นกรด (กรดอะซิติก)	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	ปริมาณ แอลกอฮอล์ (เฟอร์เซนต์)
สุกเกิน 100%	2.66±0.01 ^a	6.63±0.02 ^c	5.27±0.12 ^b	1.53±0.12 ^a
สุก 100%	2.65±0.05 ^a	7.19±0.03 ^a	5.33±0.12 ^b	1.50±0.10 ^a
สุก 30%	2.66±0.05 ^a	6.91±0.05 ^b	5.73±0.12 ^a	1.20±0.10 ^b

^{a, b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4 พบว่า ระดับความสุกของกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ระดับ นั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางเคมี ได้แก่ ค่าเฟอร์เซนต์ความเป็นกรด (กรดอะซิติก) โดยระหว่างการหมักจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.63 ถึง 7.19 เฟอร์เซนต์ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน และตัวอย่างที่มีปริมาณกรดอะซิติกสูง

ที่สุดคือ น้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตจากกล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำส้มสายชูหมัก ทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.27 ถึง 5.73 องศาบริกซ์โดยตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตจากกล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 30% จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักเพื่อให้ได้น้ำส้มสายชูนั้น พบว่าจะมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากแอลกอฮอล์ (เอทานอล) นั้นเป็นสารตั้งต้นและเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติก และภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน จะมีปริมาณแอลกอฮอล์หลงเหลือในน้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.20 - 1.53 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตจากกล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 30% จะมีปริมาณแอลกอฮอล์เหลืออยู่น้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากมีปริมาณกรดอะซิติกที่เพิ่มมากขึ้นระหว่างการหมัก โดยที่ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน น้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยอยู่ในช่วงระหว่าง 2.65 ถึง 2.66 ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองของ Chanthima *et al.* (2015) ที่ได้ทดลองผลิตน้ำส้มสายชูจากกล้วยน้ำว้าพันธุ์ต่างๆ ที่มีระยะเวลาการสุก 3 ระยะ คือ สุกน้อย, สุก และสุกจัด ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่า ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 3 เดือน น้ำส้มสายชูที่ผลิตได้นั้น มีกลิ่นหอมของกล้วยและกลิ่นกรดอะซิติก และมีปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยสุกจัดมากที่สุด คือ 883.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของกล้วย ในขณะที่ปริมาณกรดอะซิติกในน้ำส้มสายชู

หมักจากกล้วยสุกน้อย มีค่าต่ำที่สุดคือ 700.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของกล้วย และจากการศึกษาของ Sodchit and Weeragul (2012) ที่ได้วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากเศษกล้วย พบว่า ภายหลังจากการทดลองเป็นเวลา 15 วัน ปริมาณแอลกอฮอล์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลง แต่ปริมาณกรดอะซิติกนั้น มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในตัวอย่างมีค่าคงที่ระหว่างการหมัก และจากผลการทดลองของ Tanaka *et al.* (2016) ซึ่งได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะทางเคมีของน้ำส้มสายชูหมักจากเศษกล้วยเหลือทิ้ง พบว่าแอลกอฮอล์ในไวน์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก ซึ่งปริมาณกรดอะซิติกนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 49.7 กรัมต่อลิตร และมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างมีแนวโน้มที่ลดลง จาก 4.0 เป็น 2.85 นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการผลิตน้ำส้มสายชูหมักเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี ได้แก่ ระดับอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน และปริมาณหัวเชื้อเริ่มต้น เป็นต้น

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ในตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน พบว่าสามารถตรวจพบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content), ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoid content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ FRAP assay) ของตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิช ที่ระดับความสุกแตกต่างกัน 3 ระดับ ภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน

ตัวอย่าง น้ำส้มสายชู	Total phenolic (mg gallic /100ml sample)	Total flavonoid (mg quercetin /100ml sample)	ABTS (mg trolox/100 ml sample)	FRAP (mg Fe SO ₄ /100ml sample)
สุกเกิน 100%	12.88±0.08 ^b	5.54±0.06 ^c	7.62±0.30 ^b	32.04±0.21 ^c
สุก 100%	16.52±0.19 ^a	9.93±0.24 ^a	10.74±0.02 ^a	45.06±1.43 ^a
สุก 30%	16.52±0.67 ^a	7.10±0.42 ^b	8.04±0.27 ^b	36.21±0.64 ^b

^{a, b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) พบว่าทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 12.88 ถึง 16.52 mg gallic/100ml sample โดยที่ตัวอย่างน้ำส้มสายชูที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 30% และ 100% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ในน้ำส้มสายชูหมักทั้งสามตัวอย่าง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5.54 ถึง 9.93 mg quercetin/100ml sample โดยที่ตัวอย่างไวน์ที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay พบว่าตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่าง มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง 7.62 ถึง 10.64 mg trolox/100 ml sample โดยที่ตัวอย่างน้ำส้มสายชูที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และจากการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay พบว่าตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

อยู่ในช่วงระหว่าง 32.04 ถึง 45.06 mg FeSO₄/100ml sample โดยที่ตัวอย่างน้ำส้มสายชูที่หมักโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay สูงที่สุด ($p \leq 0.05$)

Su and Chien (2007) ได้รายงานวาระระหว่างการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกนั้น กรดที่ถูกสร้างขึ้นจะไปทำลายโครงสร้างของสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่างๆ และทำให้เกิดการเสียสภาพไป โดยมีผลทำให้ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณแอนโทไซยานิน และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ในตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำส้มสายชูหมักจาก บลูเบอร์รี่ (rabbiteye blueberry, *Vaccinium ashei*) มีปริมาณลดลงหลังกระบวนการหมัก และ Chailangka (2009) ได้อธิบายไว้ว่าการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และค่า EC₅₀ นอกจากนี้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ในรูปของกรดแกลลิก และปริมาณฟลาโวนอยด์ในรูปของควอเซทินนั้น มีแนวโน้มลดลง และจากการศึกษาของ Gokirmakli *et al.* (2019) สรุปได้ว่า กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างน้ำส้มสายชู

จากผลสตรอบอร์รี่มีแนวโน้มลดลงระหว่างกระบวนการหมัก

สรุป

จากผลการศึกษาการผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวคาเวนดิชโดยเปรียบเทียบระดับความสุกที่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการหมักโดยเชื้อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) เป็นเวลา 14 วัน เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์พบว่าตัวอย่างไวน์จากกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ตัวอย่างมีปริมาณเอทานอลไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีความเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 9.77 ถึง 9.88 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณเอทานอลดังกล่าวนั้นเพียงพอสำหรับนำไปผลิตน้ำส้มสายชูหมักในขั้นตอนถัดไปได้ และในขั้นตอนการหมักเพื่อให้ได้กรดอะซิติกโดยเชื้อ *Acetobacter aceti* TISTR 354 พบว่าภายหลังจากการหมักเป็นเวลา 14 วัน ตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวทั้ง 3 ตัวอย่างมีความเฉลี่ยปริมาณกรดอะซิติกอยู่ในช่วงระหว่าง 6.31 ถึง 7.91 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างน้ำส้มสายชูหมักจากกล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% นั้นมีความเฉลี่ยปริมาณกรดอะซิติกสูงที่สุด

นอกจากนี้ ภายหลังจากกระบวนการหมักเพื่อให้ได้เอทานอลและกรดอะซิติกในตัวอย่างไวน์และน้ำส้มสายชูทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระยังคงหลงเหลือและมีกิจกรรมอยู่ โดยที่ตัวอย่างไวน์และน้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตโดยใช้กล้วยหอมเขียวที่ระดับความสุก 100% จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ FRAP assay) สูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- Al Amri, F.S. and Hossain, M.A. 2018. Comparison of total phenols, flavonoids and antioxidant potential of local and imported ripe bananas. **Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences** 5(4): 245-251.
- AOAC. 2000. **Official methods of analysis of AOAC international**. 17th Edition. Association of official analytical chemists. Gaithersburg, MD. USA.
- Aquino, C.F., Salomao, L.C.C., Ribeiro, S.M.R., Siqueira, D.L.D. and Cecon, P.R. 2016. Carbohydrates, Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Pulp and Peel of 15 Banana Cultivars. **Revista Brasileira de Fruticultura** 38(4): 1-11.
- Chaikulsareewath, A. and Wongprayoon, P. 2006. Research and Development of Mango Wine. **Journal of Food Technology Siam University** 2(1): 28-35. (in Thai)
- Chailangka, A. 2009. **Development of vinegar drink from mulberry juice**. CMU intellectual Repository. Available Source: <http://cmuir.cmu.ac.th/handle/6653943832/20404>, April 1, 2020. (in Thai)
- Chanthima, N., Thaenthong, S. and Srisuworamas, B. 2015. Production and qualification analysis of vinegar from banana. **Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal** 7(7): 57-76. (in Thai)

- Chumpookam, J., Subnum, V. and Jaruwattanaphan, T. 2014. Effect of component ratio on coffee pulp wine quality and consumer's satisfaction. **Khon Kaen Agricultural Journal** 42(3): 415-420. (in Thai)
- Davies, C.V., Gerard, L.M., Ferreyra, M.M., Schvab, M.D.C. and Solda, C.A. 2017. Bioactive compounds and antioxidant activity analysis during orange vinegar production. **Food Science and Technology** 37(3): 449-455.
- Dudonne, S., Vitrac, X., Coutiere, P., Woillez, M. and Mérillon, J.M. 2009. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. **Journal of agricultural and food chemistry** 57(5): 1768-1774.
- Gokirmakli, Ç., Budak, N.H., Filiz, B.E. and Karakulak, I.D. 2019. Antioxidant Properties of Strawberry Vinegar. **International Journal of Food Engineering** 5(3): 171-174.
- Iqbal, S., Bhanger, M.I. and Anwar, F. 2007. Antioxidant properties and components of bran extracts from selected wheat varieties commercially available in Pakistan. **LWT-Food Science and technology** 40(2): 361-367.
- Jitjaroen, W. 2013. **Wine Maker Handbook**. 1st Edition. Chiangmai printing co.ltd, Chiangmai. (in Thai)
- Konate, M., Akpa, E.E., Bernadette, G.G., Koffi, L.B., Ouattara, G., Honore, O.G. and Niamke, S.L. 2015. Banana Vinegars Production Using Thermotolerant *Acetobacter pasteurianus* Isolated from Ivorian Palm Wine. **Journal of Food Research** 4(2): 92-103.
- Lapa, P., Chompreeda, P. and Haruthaithanasan, V. 2011. Development of Fermented Vinegar from Black Glutinous Brown Rice, pp. 793-800. **In proceeding Khonkaen University National Graduate Research Conference 12th**. Khonkaen University, Khonkaen. (in Thai)
- Mangnoi, M., Srichayet, P. and Saithong, P. 2019. **Production of vinegar and vinegar drink**. Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Prisacaru, A.E. and Oroian, M.A. 2018. Quality Evaluation of Vinegar Obtained from Banana Peel, pp. 259-264. **In Proceedings, International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018 18th**. SGEM, Bulgaria.
- Silayoi, B. 2002. **Bananas**. 3rded. Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)
- Sodchit, C. and Weeragul, K. 2012. **Research Report no Increasing Potential of Banana Fragments in Phitsanulok Province: Production of Vinegar from Banana Fragments Prototype factory design and product marketing**. Faculty of Agriculture, Natural Resource and Environment Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)

- Srisa ad, A., Areesrisom, K. and Sumrongyen, P. 2018. **Cavendish banana**. 1st Edition. Naka intermedia co.ltd, Bangkok. (in Thai)
- Su, M.S. and Chien, P.J. 2007. Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) fluid products as affected by fermentation. **Food Chemistry** 104(1):182-187.
- Tanaka, C.A., Ruzon, F.I., Miranda, L.C.R., Galvan, D., Spinosa, W.A. and Castro-Goméz, R.J.H. 2016. **Modeling and Kinetics of Bioconversion and Chemical Properties (Wine and Vinegar) from Banana Pulp By-Products**. Preprints 2016. Available Source: <https://www.preprints.org/manuscript/201612.0007/v1>, April 1, 2020.

การติดโรคปรสิตในระบบทางเดินอาหารและเลือดของโคเนื้อ ในอำเภอนาง จังหวัดนครศรีธรรมราช

Gastrointestinal and Blood Parasitic Infestation of Beef Cattle in Chawang District, Nakhon Si Thammarat Province

วิรุณจิตา จันทร์เขียว *

Wiruntita Chankeaw *

Received: 12 April 2020, Revised: 21 May 2020, Accepted: 12 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกของการติดปรสิตในระบบทางเดินอาหารและเลือดของกลุ่มประชากรโคเนื้อในอำเภอนาง จังหวัดนครศรีธรรมราช รวมถึงศึกษาถึงปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการติดปรสิตและโดยสุ่มเก็บเก็บตัวอย่างอุจจาระและเลือด จำนวน 55 ตัวอย่าง มาจากโคเนื้อจำนวน 168 ตัว ระหว่างเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2562 โดยตัวอย่างอุจจาระและเลือด นำไปตรวจหาไข่ของปรสิตในระบบทางเดินอาหาร และตรวจหาปรสิตในเลือดตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าอัตราการติดปรสิตในทางเดินอาหารรวมร้อยละ 87.28 โดยพบไข่พยาธิตัวกลมชนิด strongyles สูงที่สุด (58.18%) รองลงมาคือพยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหาร (rumen fluke) (52.73%) และโอโอซิสต์ของโปรโตสัตว์ที่มีซีเลีย (ciliated protozoa) (16.36%) ตามลำดับ โดยโคเนื้ออายุน้อยกว่า 3 ปี มีอัตราการติดปรสิตในทางเดินอาหาร (94.44%) และเป็นการติดปรสิตเพียงชนิดเดียว (77.78%) ซึ่งสูงกว่าในโคที่มีอายุมากกว่า 3 ปีขึ้นไป ส่วนอัตราการติดปรสิตในเลือดรวมร้อยละ 5.45 และปรสิตในเลือดที่ตรวจพบได้แก่ *Anaplasma marginale* และ microfilaria ผลการศึกษาดังกล่าวบ่งชี้ให้เห็นว่าโคเนื้อในพื้นที่นี้มีอัตราการติดปรสิตในระบบทางเดินอาหารสูง แต่มีความชุกในการติดปรสิตในเลือดต่ำ ซึ่งอาจเนื่องมาจากขาดการจัดการด้านสุขภาพฝูงสัตว์ที่ดี ดังนั้นจึงควรแนะนำเกษตรกรเกี่ยวกับยาที่ใช้ในการรักษาและป้องกันโรคพยาธิในระบบทางเดินอาหารให้ถูกต้องและเหมาะสม เพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากการติดพยาธิดังกล่าว

คำสำคัญ: ความชุก, ปรสิต, ระบบทางเดินอาหาร, เลือด, โคเนื้อ

คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 133 หมู่ 5 ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอนาง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240
Faculty of Veterinary Sciences, Rajamangala University of Technology Srivijaya, 133 Moo 5, Thungyai, Thungyai, Nakhon si thammarat
80240, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): wiruntita.c@rmuts.ac.th

ABSTRACT

This study aims to investigate the prevalence of gastrointestinal and blood parasitic infestation of beef cattle in Chawang district, Nakhon Si Thammarat province, Thailand and to study risk factors related to parasitic infection. Fifty-five stool and blood samples were collected from 168 beef cattle during July to August 2019. Gastrointestinal and blood parasites were identified under a light microscope and a prevalence was calculated. Results revealed that the overall prevalence of gastrointestinal parasitic infestation was 82.28% and the most common gastrointestinal parasitic infestation were strongyles (58.18%), following by rumen fluke (52.73%) and ciliated protozoa (16.36%), respectively. Moreover, a group of cattle with lower than 3 years old was more susceptible infected by internal parasites than other aged groups (94.44%) and mainly shown a single type of parasite infection (77.78%). The prevalence of blood parasite infestation was 5.45% and the common blood parasitic infestation was *Anaplasma marginale* and microfilaria. This study indicated that beef cattle in the study area had a high prevalence of gastrointestinal parasitic infestation but low infection rate of blood parasites. This might be due to poor herd health management. Therefore, farmers should be educated about proper anthelmintic to reduce economic loss due to internal parasitic infestation.

Key words: prevalence, parasite, gastrointestinal, blood, beef cattle

บทนำ

โคเนื้อจัดเป็นสัตว์เศรษฐกิจมีการเลี้ยงทั่วทุกภูมิภาค ซึ่งจังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นจังหวัดที่มีการเลี้ยงสัตว์มากเป็นอันดับหนึ่งของภาคใต้ โดยมีเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อ จำนวน 35,935 ราย โดยมีการเลี้ยงโคเนื้อจำนวน 183,579 ตัว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการเลี้ยงโคพื้นเมือง (Department of Livestock, 2019) อำเภอฉวางก็เป็นอำเภอหนึ่งในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่มีการเลี้ยงโคเนื้อเป็นอาชีพเสริมเพื่อเพิ่มรายได้จากอาชีพหลัก เช่น การทำสวนยาง ปาล์มและผลไม้ โดยลักษณะการเลี้ยงโคเนื้อจะเป็นลักษณะการเลี้ยงแบบปล่อยให้เล็มหญ้าในสวนยางและสวนปาล์ม ซึ่งพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ราบเชิงเขา เขตพื้นที่ต้นน้ำของแม่น้ำตาปี

โรคปรสิตในระบบทางเดินอาหารเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญในการเลี้ยงโคเนื้อ ซึ่งทำให้น้ำหนัก

ตัวลด อัตราการเจริญเติบโตลดลงและทำให้คุณภาพซากลดลงอีกด้วย (Craig, 1988) การเลี้ยงโคเนื้อของเกษตรกรรายย่อยมักจะนิยมเลี้ยงแบบปล่อยแปลงหญ้าหรือปล่อยหาอาหารกินตามธรรมชาติ ทำให้ติดปรสิตได้ง่ายเนื่องจากมีโอกาสได้รับไข่พยาธิและตัวอ่อนระยะติดต่อที่ปนเปื้อนอยู่ในแปลงหญ้าหรือแหล่งน้ำได้สูงกว่าโคเนื้อที่เลี้ยงในระบบปิด (Slocombe, 1973; Sakwiwatkul *et al.*, 2017) ปรสิตพยาธิในทางเดินอาหารได้บ่อยในโคเนื้อ มีหลายชนิด เช่น พยาธิใบไม้ในตับ (*Fasciola* spp.) พยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหาร (rumen fluke) พยาธิตัวกลมชนิด strongyles, strongyloides, พยาธิไส้เดือน (*Ascaris* spp.) และพยาธิแส้ม้า (*Trichuris* spp.) (Craig, 1988; Kaewthamasorn and Wongsamee, 2006) โคที่ติดพยาธิในระบบทางเดินอาหารมักจะแสดงอาการซูบผอม โลหิตจาง โปรตีนในเลือดต่ำ ภูมิคุ้มกัน

ร่างกายต่ำ น้ำหนักตัวลด และการเจริญเติบโตช้า ส่วนปรสิตในเลือดที่พบได้บ่อย ได้แก่ *Trypanosoma evansi*, *Trypanosoma theileri*, *Babesia* spp., *Theileria* spp., *Anaplasma* spp. และ *microfilaria* (Rohaya *et al.*, 2017; Kamani *et al.*, 2010) ซึ่งเชื้อปรสิตในเลือดเหล่านี้สามารถแพร่กระจายได้ง่ายและรวดเร็ว ผ่านทางแมลงพาหะ เช่น เห็บ ยุงและแมลงดูดเลือด เป็นต้น ซึ่งจะทำให้โคเกิดภาวะโลหิตจาง อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร และเสียชีวิตในที่สุด ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจสูง

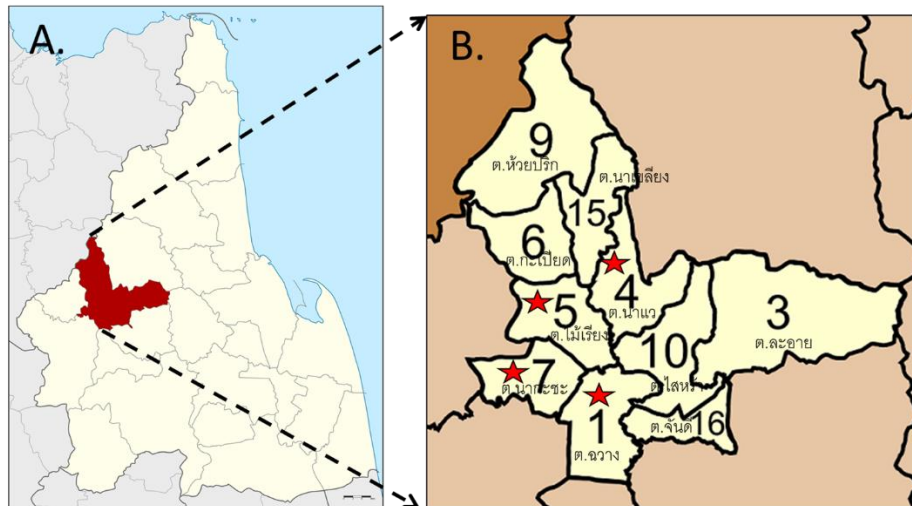
ใน 10 อำเภอที่อยู่ในเขตลุ่มแม่น้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้แก่ อำเภอปากพนัง อำเภอหัวไทร อำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอชะอวด อำเภोजุฬาภรณ์ อำเภอร่อนพิบูลย์ อำเภอพระพรหม และอำเภอลานสกา ได้มีการสำรวจความชุกของโรคปรสิตในระบบทางเดินอาหารและในเลือดของโค ในระหว่างปี พ.ศ. 2541-2548 (Worasing and Rattana, 2010) ในอุจจาระตรวจพบไข่พยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหาร (89.25%), ไข่พยาธิใบไม้ตับ (16.32%), โอโอซิสต์ของ *Buxtonella sulcata* (7.19%) และไข่พยาธิตัวกลม (2.88%) ตามลำดับ ส่วนในเลือดพบปรสิตชนิด *Theileria* spp. (20.94%), *microfilaria* (3.51%), *Trypanosoma theileri* (2.27%), *Trypanosoma evansi* (0.48%), *Anaplasma marginale* (0.11%) และ *Babesia bovis* (0.02%) ตามลำดับ หลังจากนั้นในปี พ.ศ. 2549-2551 มีการสำรวจพบว่าความชุกของการติดพยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหารเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 93.40 แต่ปรสิตในเลือดชนิด *Theileria* spp. ลดลงเหลือร้อยละ 7.48 (Chaisalee and Worasing, 2011) อย่างไรก็ตามการสำรวจและรายงานอัตราการเกิดโรคปรสิตในระบบทางเดินอาหารและในเลือด

ของโคเนื้อในเขตพื้นที่อำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราชยังไม่เคยมีการรายงานมาก่อน รวมถึงโคเนื้อที่เลี้ยงในพื้นที่ดังกล่าวประสบปัญหาเจริญเติบโตช้า น้ำหนักตัวน้อย ชุ่มพอมและสุขภาพอ่อนแอ ซึ่งอาจมีความเกี่ยวข้องกับการติดโรคพยาธิในระบบทางเดินอาหารและเลือดได้ และมีรายงานการระบาดของโรคพยาธิในจังหวัดนครศรีธรรมราชก่อนหน้านี้ในเขตลุ่มแม่น้ำปากพนังมีค่อนข้างสูง จึงเป็นไปได้ว่าอุบัติการณ์การเกิดโรคในอำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราชอาจมีความคล้ายคลึงหรือมีความแตกต่างจากพื้นที่อื่นๆ ได้ ดังนั้นการสำรวจครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการติดปรสิตในระบบทางเดินอาหารและเลือด ชนิดของปรสิตในระบบทางเดินอาหารและเลือดที่พบ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการติดปรสิตในโคเนื้อในเขตพื้นที่อำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปใช้ในการวางแผนการป้องกันและรักษาโรคปรสิตให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อในพื้นที่ดังกล่าวต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและพื้นที่ศึกษา

การสำรวจครั้งนี้ทำการศึกษาในพื้นที่อำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช ณ พิกัดภูมิศาสตร์ที่ลองจิจูด 99.501612° ละติจูด 8.442245° จำนวน 4 ตำบล ได้แก่ ตำบลนาเกาะ ตำบลไม้เรียง ตำบลนาแวน และตำบลฉวาง (ภาพที่ 1) ซึ่งทั้ง 4 ตำบลนี้ในอำเภอฉวางมีการเลี้ยงโคเนื้อที่หนาแน่นกว่าตำบลอื่นๆ



ภาพที่ 1 A. ตำแหน่งของอำเภอฉวางในจังหวัดนครราชสีมา และ B. ตำแหน่งของ 4 ตำบล (สัญลักษณ์รูปดาวสีแดง) ในอำเภอฉวาง จังหวัดนครราชสีมา ที่มีการสุ่มเก็บตัวอย่างอุจจาระและเลือดจากโคเนื้อเพื่อตรวจหาปรสิตในทางเดินอาหารและเลือด

ที่มา : คัดแปลงมาจาก Wikipedia, the free encyclopedia (2020)

2. ตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง

การศึกษานี้ทำการศึกษาจากโคเนื้อสายพันธุ์พื้นเมืองภาคใต้และลูกผสมบราห์มัน จำนวน 168 ตัว ของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อรายย่อย จำนวน 14 ราย โดยมีจำนวนโคเนื้อเฉลี่ย 12 ± 8 ตัว/ราย การเก็บตัวอย่างสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการในช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม พ.ศ. 2562 โดยโคเนื้อเหล่านี้มีลักษณะการเลี้ยงแบบปล่อยให้กินหญ้าในสวนยางและป่าละเมาะ แต่ไม่มีโปรแกรมการฉีดวัคซีนป้องกันโรคปากและเท้าเปื่อยและโปรแกรมการถ่ายพยาธิที่แน่นอนให้กับโคเนื้อที่เลี้ยง โดยข้อมูลเกี่ยวกับตัวสัตว์ที่บันทึก คือ เพศและอายุ ส่วนการเก็บตัวอย่างทำโดยการเก็บตัวอย่างแบบการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental sampling) จากโคเนื้อจำนวน 55 ตัว ในช่วง 8.00-12.00 น. เพื่อส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการ ได้แก่ 1) ตัวอย่างอุจจาระ ซึ่งการเก็บตัวอย่างอุจจาระทำโดยการส้วมผ่านทางทวารหนักหรืออุจจาระที่เพิ่งถ่ายออกมาโดยเก็บเฉพาะตรงบริเวณส่วนบนไม่ติดพื้นดิน 2) ตัวอย่าง

เลือด ซึ่งทำการเจาะเก็บจากหลอดเลือดดำใหญ่ที่คอ (jugular vein) ปริมาณ 2 มิลลิตร โดยใส่หลอดเก็บเลือดที่มีสารกันการแข็งตัวของเลือด EDTA โดยตัวอย่างอุจจาระและเลือดที่ได้จะถูกแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการเก็บตัวอย่างที่ฟาร์มของเกษตรกรเสร็จสิ้น ตัวอย่างอุจจาระและเลือดดังกล่าวถูกส่งไปยังห้องปฏิบัติการ ณ ศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยและทำการตรวจทางห้องปฏิบัติการภายใน 24 ชั่วโมง

3. การตรวจทางห้องปฏิบัติการ

3.1 การตรวจหาไข่พยาธิและปรสิตอื่นๆ ในระบบทางเดินอาหาร

ตัวอย่างอุจจาระที่ได้จะนำมาตรวจหาไข่พยาธิ ด้วยวิธีการลอยตัวอย่างง่าย (Simple floatation technique) โดยใช้ น้ำเกลืออิ่มตัว และวิธีการตกตะกอนอย่างง่าย (Simple sedimentation method) (Sangwaranon, 1998) หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปตรวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย

40-200 เท่า โดยจำแนกประเภทของไข่พยาธิและปรสิตอื่นๆ ด้วยตาเปล่าตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology)

3.2 การตรวจหาปรสิตในเลือด

ตัวอย่างเลือดที่ได้นำมาตรวจหาปรสิตในเลือดด้วย โดยวิธี capillary haematocrit technique (Sangwaranon, 1998) และนำ microhaematocrit centrifuged tube ส่องตรวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100-200 เท่า เพื่อตรวจหาปรสิตที่อาศัยอยู่ในน้ำเลือด ตรงบริเวณ buffy coat หลังจากนั้นนำเลือดมาทำฟิล์มเลือดป้ายสไลด์ชนิดบาง (thin blood

smear) แล้วย้อมด้วยสี Giemsa's เพื่อตรวจหาและจำแนกปรสิตชนิดต่างๆ ในน้ำเลือดและเม็ดเลือดด้วยการดูด้วยตาเปล่าตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยส่องตรวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400-1000 เท่า

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จากผลการตรวจหาไข่พยาธิและปรสิตอื่นๆ ในระบบทางเดินอาหารและเลือด นำมาคำนวณหาอัตราการติดปรสิตในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{อัตราการติดปรสิต} = \left(\frac{\text{จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบปรสิต}}{\text{จำนวนตัวอย่างที่ตรวจทั้งหมด}} \times 100 \right)$$

นอกจากนี้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น เพศและอายุกับการติดปรสิตในระบบทางเดินอาหาร โดยใช้ไคสแควร์ (chi-square test) ในการทดสอบ ที่ระดับความเชื่อมั่น ($p\text{-value}$) < 0.05

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ความชุกของโรคปรสิตในระบบทางเดินอาหาร

จากการสำรวจพบว่ามีโคเนื้อในพื้นที่อำเภอฉวาง มีอัตราการติดปรสิตในทางเดินอาหารรวมคิดเป็นร้อยละ 87.28% เมื่อแบ่งตามชนิดของไข่พยาธิและปรสิตอื่นๆ ที่พบในอุจจาระ พบว่าโคเนื้อมีการติดพยาธิตัวกลมชนิด strongylids สูงที่สุด (61.82%) รองลงมา ได้แก่ พยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหาร (52.73%), ciliated protozoa (16.36%) , พยาธิแส้ม้า (1.82 %) และพยาธิไส้เดือน (1.82 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาอัตราการติดพยาธิในระบบทางเดินอาหารของโคเนื้อในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จำนวน 10 อำเภอในจังหวัด

นครศรีธรรมราชระหว่างปี พ.ศ. 2549-2551 พบว่ามีอัตราการติดพยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหาร, พยาธิใบไม้ในตับและพยาธิตัวกลม คิดเป็นร้อยละ 93.40, 10.68 และ 1.03 ตามลำดับ และรายงานว่าอำเภอปากพนัง เป็นอำเภอที่มีอัตราการติดปรสิตมากที่สุดในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยพบความชุกของโรคพยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหารสูงที่สุด รองลงมาคือพยาธิใบไม้ในตับ โดยคิดเป็นร้อยละ 87.78 และ 14.58 ตามลำดับ (Chaisalee and Worasing, 2011) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าโคเนื้อที่เลี้ยงในพื้นที่ที่เลี้ยงในพื้นที่อำเภอฉวางที่ไม่อยู่ในสภาวะพาหะนำโรคพยาธิใบไม้ รวมถึงหอยน้ำจืดที่เป็นสัตว์พาหะนำโรคอยู่น้อยกว่าพื้นที่ลุ่มแม่น้ำปากพนัง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคตเกี่ยวกับประเด็นนี้ ในขณะที่รายงานของ Jullkaisucharit (2008) พบว่าโคมีอัตราการติดพยาธิใบไม้ในตับสูงที่สุดในจังหวัดราชบุรี ส่วนในภาคเหนือมีการสำรวจความชุกของการติดพยาธิในทางเดินอาหารของโคเนื้อในพื้นที่จังหวัดน่าน ซึ่ง

ตรวจพบไข่พยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหารสูงกว่าพยาธิชนิดอื่นๆ (Kaewthamasorn and Wongsamee, 2006) โดยผลการศึกษานี้แตกต่างจากรายงานของผู้วิจัยท่านอื่นๆ อาจเนื่องมาจากความแตกต่างด้านภูมิประเทศ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ในอำเภอฉวางนั้น อยู่บนที่ราบเนินเขา ระหว่างเทือกเขานครศรีธรรมราช และเทือกเขาบรรทัด เป็นแหล่งต้นน้ำของแม่น้ำตาปี ไม่มีน้ำขัง ไร่ไร่น้ำตามในช่วงที่มีมรสุม ซึ่งทำให้เกิดน้ำไหลเอ่อจากแม่น้ำตาปีและเกิดภาวะน้ำท่วมขังในพื้นที่การเกษตรได้ จากปัจจัยดังกล่าวทำให้โคเนื้อที่เลี้ยงในพื้นที่อำเภอฉวางมีโอกาสติดพยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหารและตับได้ต่ำกว่าในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำปากพนัง ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มมีน้ำขังตลอดทั้งปี โดยระยะติดต่อของพยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหารและตับจะอาศัยอยู่ในหอยน้ำจืดหลายๆ ชนิด เช่น *Lymnaea* spp., *Gyraulus* spp. และ *Helicorbis* spp. (Lloyd et al., 2000; Trouvé et al., 2000) ซึ่งจะพบได้มากในแปลงหญ้าที่ใกล้พื้นที่ที่มีน้ำขัง และเมื่อตัวอ่อนระยะติดต่อจะออกจากหอยมาเกาะอยู่บนหญ้าและพืชผักที่อยู่ในน้ำ โคจะติดพยาธิเหล่านี้โดยการกินหญ้าที่ตัวอ่อนของพยาธิปนเปื้อนอยู่เข้าไป (Chomphuchan et al., 1996; Sakwiwatkul et al., 2017)

นอกจากนี้จากการศึกษาปัจจัยเสี่ยงที่อาจมีผลต่อการติดปรสิตในทางระบบทางเดินอาหารของโคเนื้อ เช่น เพศและช่วงอายุ งานวิจัยครั้งนี้พบว่าโคเนื้อเพศผู้มีอัตราการติดปรสิตในทางเดินอาหารสูงกว่าโคเพศเมีย แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) ซึ่งคล้ายคลึงกับรายงานของ Rahman et al. (2009) พบว่าโคเนื้อเพศผู้ในประเทศบังกลาเทศมีความเสี่ยงในการติดพยาธิตัวกลมสูงกว่าโคเพศเมีย ซึ่งอาจเนื่องมาจากโคเพศผู้มักจะถูกเลี้ยงแบบปล่อยแปลงหญ้า และขาดการดูแลเอาใจใส่ในการถ่ายพยาธิมากกว่าโคเพศเมียที่จะ

ได้รับการถ่ายพยาธิบ่อยกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงก่อนการผสมเทียมและก่อนการคลอดลูก อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้จำนวนตัวอย่างอุจจาระที่เก็บมาจากโคเนื้อเพศผู้มีจำนวนน้อย เนื่องจากเกษตรกรมีการเลี้ยงโคเพศผู้คิดเป็นร้อยละ 10 ของประชากรโคเนื้อทั้งหมดที่ศึกษาซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าประชากรโคเพศเมีย เนื่องจากเกษตรกรนิยมใช้การผสมเทียมในการขยายพันธุ์มากกว่าการใช้พ่อพันธุ์ผสม ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์อาจทำให้ดูเหมือนว่าโคเพศผู้พบอัตราการติดปรสิตได้สูงกว่าโคเพศเมีย

อายุก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะมีความสัมพันธ์กับการติดปรสิตในทางเดินอาหาร จากการศึกษานี้พบว่าโคในทุกช่วงอายุมีอัตราการติดโรคปรสิตในระบบทางเดินอาหารสูง มากกว่าร้อยละ 75 โดยพบว่าโคอายุน้อยกว่า 3 ปี มีอัตราการติดโรคสูงที่สุด รองลงมาคือ 3-5 ปี และมากกว่า 5 ปีตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) เมื่อดูระดับความรุนแรงของการติดปรสิตในระบบทางเดินอาหาร พบว่าโคที่มีอายุน้อยกว่า 3 ปี มีอัตราการติดปรสิตมีความรุนแรงอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งคล้ายคลึงกับโคที่อายุมากกว่า 5 ปี ส่วนโคที่อยู่ในช่วงอายุ 3-5 ปี มีความรุนแรงของการติดพยาธิอยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ยังพบว่าช่วงอายุของโคมีความสัมพันธ์กับจำนวนชนิดของปรสิตที่ตรวจพบในระบบทางเดินอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยโคที่มีในช่วงอายุ 3-5 ปี และอายุมากกว่า 5 ปี พบการอัตราการติดปรสิตในทางเดินอาหารมากกว่า 2 ชนิด ที่ร้อยละ 72.73 และ 50.00 ตามลำดับ ซึ่งตรงข้ามกับโคในช่วงอายุ 0-3 ปี ที่พบการติดปรสิตในทางเดินอาหารเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ที่ร้อยละ 77.78 (ตารางที่ 4) ซึ่งเป็นการติดพยาธิกลุ่ม strongyles มากที่สุด ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับรายงานของ Sardar et al. (2006)

พบว่าโคเนื้อที่มีอายุน้อยกว่า 3 ปี มีอัตราการติดพยาธิ ตัวกลมและพยาธิใบไม้สูงกว่ากลุ่มที่มีอายุมากกว่า 3 ปีขึ้นไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ที่พบว่าโคที่มีอายุน้อยกว่า 3 ปีมีอัตราของการติดโรคปรสิตสูงที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มอายุอื่นๆ ซึ่งอาจเนื่องมาจากภูมิคุ้มกันทางร่างกายที่ต่ำกว่า ทำให้ความสามารถในการกำจัดเชื้อปรสิตออกจากร่างกายเกิดขึ้นได้ต่ำกว่าโคที่มีอายุมาก

2. ความชุกของโรคปรสิตในเลือด

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างเลือดจากโคเนื้อ เพื่อหาความชุกของโรคปรสิตในเลือดของโคเนื้อในพื้นที่อำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีความชุกของโรคปรสิตในเลือดโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 5.45 และจากผลการตรวจพบว่ามีปรสิตติดในเลือด 2 ชนิด คือ *Anaplasma marginale* และ *microfilaria* ซึ่งเป็นตัวอ่อนระยะที่ 3 ของพยาธิตัวกลมที่พบได้น้ำเลือด โดยมีอัตราติดปรสิตร้อยละ 3.64 และ 1.82 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) อย่างไรก็ตาม อัตราการติดปรสิตในเลือดในพื้นที่อำเภอฉวางยังคงต่ำกว่าผลการสำรวจความชุกของโรคปรสิตของโคในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ใน

ปีพ.ศ. 2541-2548 ซึ่งพบอัตราการติดปรสิตในเลือดคิดเป็นร้อยละ 6.39 และพบอัตราการติดปรสิตชนิด *microfilaria* สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 3.51 (Worasing and Rattana, 2010) และในปี พ.ศ.2549-2551 ที่อัตราการติดปรสิตในเลือดรวม คิดเป็นร้อยละ 8.38 โดยพบว่าโคติดปรสิตชนิด *Theileria* spp. (7.48%), *T. theileria* (0.65%), *A. marginale* (0.14%) และ *T. evansi* (0.09%) ตามลำดับ (Chaisalee and Worasing, 2011) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการสำรวจในครั้งนี้ดำเนินการในช่วงปลายของฤดูร้อน ประกอบกับสภาพพื้นที่ในอำเภอฉวาง เป็นพื้นที่ราบเชิงเขา ไม่มีน้ำท่วมขัง ซึ่งสภาพแวดล้อมอาจไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของแมลงพาหะของปรสิตในเลือด เช่น ยุงและแมลงดูดเลือดต่างๆ ได้ไม่มากนัก ทำให้อัตราการติดเชื้อปรสิตในเลือดเกิดขึ้นได้ต่ำกว่า ซึ่งแตกต่างจากพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง โดยพื้นที่การเกษตรในเขตนี้ส่วนใหญ่จะมีน้ำขังตลอดทั้งปี มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการแพร่พันธุ์ของแมลงพาหะ ทำให้สัตว์ติดเชื้อปรสิตในเลือดได้ง่าย และสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช

ตารางที่ 1 ชนิดของพยาธิและปรสิตอื่นๆ ที่ตรวจพบและอัตราการติดปรสิตในระบบทางเดินอาหารของโคเนื้อในเขตอำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ชนิดของปรสิตในระบบทางเดินอาหาร	อัตราการติดปรสิต (%)
พยาธิตัวกลม (Nematodes)	
Strongyles	61.82 (34/55)
<i>Trichuris</i> spp.	1.82 (1/55)
<i>Ascaris</i> spp.	1.82 (1/55)
พยาธิตัวแบน (Trematodes)	
พยาธิใบไม้ในกระเพาะอาหาร (Rumen fluke)	52.73 (29/55)
โปรโตซัว (Protozoa)	
Ciliated protozoa	16.36 (9/55)
รวม	87.28 (48/55)

ตารางที่ 2 อัตราการติดปรสิตในระบบทางเดินอาหารของโคเนื้อ โดยแบ่งตามเพศของสัตว์

เพศ	จำนวนตัวอย่างอุจจาระที่ ตรวจ (ตัว)	จำนวนตัวอย่างอุจจาระที่ ตรวจพบไข่พยาธิ (ตัว)	อัตราของการติดโรคปรสิต (%)
ผู้	8	8	100
เมีย	47	40	85.11
χ^2 value		1.365 ^a	
รวม	55	48	87.28

^a $p > 0.05$

ตารางที่ 3 อัตราการติดปรสิตในระบบทางเดินอาหารของโคเนื้อในแต่ละช่วงอายุ

ช่วงอายุของโคเนื้อ (ปี)	จำนวนตัวอย่างอุจจาระที่ ตรวจ (ตัว)	จำนวนตัวอย่างอุจจาระ ที่ตรวจพบปรสิต (ตัว)	อัตราของการติด โรคปรสิต (%)
0-3 ปี	18	17	94.44
3-5 ปี	25	22	88.00
> 5 ปี	12	9	75.00
χ^2 value		2.473 ^a	
รวม	55	48	58.18

^a $p > 0.05$

ตารางที่ 4 ระดับความรุนแรงการติดปรสิตและจำนวนชนิดของปรสิตในระบบทางเดินอาหารที่พบของโคเนื้อในแต่ละช่วงอายุในเขตอำเภอนาวัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ช่วงอายุของ โคเนื้อ (ปี)	จำนวนตัวอย่าง อุจจาระที่ตรวจ พบปรสิต (ตัว)	ระดับความรุนแรงของการติดปรสิต (%)			จำนวนชนิดของปรสิตที่พบ (%)	
		ต่ำ	ปานกลาง	สูง	ชนิดเดียว	2 ชนิดขึ้นไป
0-3 ปี	17	9 (50.00)	6 (33.33)	2 (11.11)	14 (77.78)	3 (16.67)
3-5 ปี	22	8 (36.36)	11 (50.00)	3 (13.64)	6 (27.27)	16 (72.73)
> 5 ปี	9	6 (66.67)	2 (22.22)	1 (11.11)	3 (33.33)	6 (50.00)
χ^2 value		5.397 ^a			9.415 ^b	
รวม	48	23 (47.92)	19 (39.58)	6 (12.5)	23 (49.72)	25 (52.08)

^a $p > 0.05$ และ ^b $p < 0.05$

ตารางที่ 5 ชนิดของปรสิตที่ตรวจพบในเลือดของโคเนื้อและความชุกของโรคในพื้นที่อำเภอฉวาง จังหวัด นครศรีธรรมราช

ชนิดของปรสิตในเลือด	ความชุกของโรค (%)
Microfilaria	1.82 (1/55)
<i>Anaplasma marginale</i>	3.64(2/55)
รวม	5.45 (3/55)

สรุป

งานวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าโคเนื้อในอำเภอฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีความชุกของโรคปรสิตในทางเดินอาหารสูง แต่ความชุกของโรคปรสิตในเลือดต่ำโดยมีอัตราการติดพยาธิตัวกลมชนิด strongyles ในระบบทางเดินอาหารมากที่สุด โดยเฉพาะในสัตว์ที่อายุน้อยกว่า 3 ปี ดังนั้นการเลือกการให้ยาถ่ายพยาธิให้เหมาะสม รวมทั้งการวางแผนการป้องกันการติดปรสิตทางเดินอาหารจึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่ง โดยควรแนะนำเกษตรกรให้เลือกให้ยาถ่ายพยาธิที่ออกฤทธิ์ได้ดีกับพยาธิตัวกลม เช่น อัลเบนดาโซล เลวามิโซล และไอเวอร์แม็กติน เป็นต้นในการรักษาและป้องกันโรคพยาธิ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการอัตราการติดพยาธิ เช่น ฤดูกาล, สายพันธุ์, วิธีการเลี้ยงและการจัดการแปลงหญ้า เป็นต้น ในการศึกษาครั้งต่อไป เพื่อเป็นองค์ความรู้แนวทางการจัดการฟาร์ม และลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการติดโรคปรสิตในทางเดินอาหารให้แก่เกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อลุ่มน้ำตาปีทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่างอุจจาระและเลือดเพื่อการศึกษาในครั้งนี้ รวมทั้งนักศึกษาสัตวแพทย์ ชั้นปีที่ 6 คณะสัตว

แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่มีส่วนร่วมในการเก็บตัวอย่างและตรวจวินิจฉัยหาปรสิตในห้องปฏิบัติการ โดยงานวิจัยชิ้นนี้เป็น การบูรณาการการวิจัยกับการเรียนการสอนในรหัสวิชา 12-311-620 การปฏิบัติทางคลินิกเวิน 2 และรหัสวิชา 12-311-644 การปฏิบัติคลินิกอายุรศาสตร์ สัตว์สำหรับบริโกล ภาคการเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2562

เอกสารอ้างอิง

- Chaisalee, P. and Worasing, R. 2011. **Gastrointestinal and Blood Parasites in Cattle in Pakpanang river basin during 2006-2008.** Available Source: <http://region6.dld.go.th/webnew/pdf/academic/4/8.pdf>, April 10, 2020. (in Thai)
- Chomphuchan, T., Prasitrat, M. and Ekthat, M. 1996. **Dairy cattle Health Handbook.** National Institute of Animal Health Department of Livestock Development, Funny Publishing, Bangkok. (in Thai)
- Craig, T.M. 1988. Impact of internal parasites on beef cattle. **Journal of Animal Science** 66(6): 1565-1569.
- Department of Livestock. 2019. **Statistic data of beef cattle farmers by province in 2019.**

- Available Source: http://ict.dld.go.th/webnew/images/stories/stat_web/yearly/2562/T2-1-cattle.pdf, April 11, 2020. (in Thai)
- Jullkaisucharit, J. 2008. **Parasitic diseases in the gastrointestinal tract of cattle in Ratchaburi province.** Available Source: http://vrd-wp.dld.go.th/webnew/images/stories/report/research/2551_parasite.pdf, April 1, 2020. (in Thai)
- Kaewthamasorn, M. and Wongsamee, S. 2006. A preliminary survey of gastrointestinal and haemoparasites of beef cattle in the tropical livestock farming system in Nan Province, northern Thailand. **Parasitology Research** 99(3): 306-308.
- Kamani, J., Sannusi, A., Egwu, O.K., Dogo, G.I., Tanko, T.J., Kemza, S., Tafarki, A.E. and Gbise, D.S. 2010. Prevalence and significance of haemoparasitic infections of cattle in North-Central, Nigeria. **Veterinary World** 3(10): 445-448.
- Lloyd, J., Boray, J.C. and Love, S. 2000. **Stomach fluke (paramphistomes) in ruminants.** NSW Agriculture. Available Source: http://www.wormboss.com.au/sheep-goats/files/pages/worms/flukes/stomach-fluke/Prime_Fact_452___Stomach_fluke_paramphistomes_in_ruminants.pdf, April 12, 2020.
- Rahman, A.K.M.A., Begum, N., Nooruddin, M., Rahman, M.S., Hossain, M.A. and Song, H.J. 2009. Prevalence and risk factors of helminth infections in cattle of Bangladesh. **Korean Journal of Veterinary Service** 32(3): 265-273.
- Rohaya, M.A., Thabitah, A.T.T., Kasmah, S., Azzura, L., Chandrawathani, P. and Bahari, A.R.S. 2017. Common blood parasites diagnosed in ruminants from 2011 to 2015 at the central veterinary laboratory, Sepang, Malaysia. **Malaysian Journal of Veterinary Research** 8(1): 163-167.
- Sakwiwatkul, K., Chaikong, C., Thamwan, C., Wattanakham, P., Kessimlee, R. and Kuphukhiaw, W. 2017. Prevalence and risk factor of infection internal parasites found in cattle from slaughterhouse in Mahasarakham province, Thailand. **Khon Kaen Agriculture Journal** 45(Suppl. 1): 765-771. (in Thai)
- Sangwaranon, A. 1998. **Capillary haematocrit examination methods.** Parasitology, Veterinary Clinic. Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)
- Sardar, S.A., Ehsan, M.A., Anower, A.K.M.M., Rahman, M.M. and Islam, M.A. 2006. Incidence of liver flukes and gastrointestinal parasites in cattle. **Bangladesh Journal of Veterinary Medicine** 4(1): 39-42.
- Slocombe, J.O. 1973. Gastrointestinal parasites in cattle in Ontario. **The Canadian Veterinary Journal** 14(4): 91.
- Trouvé, S., Degen, L., Meunier, C., Tirard, C., Hurtrez-Boussès, S., Durand, P., Guégan, J.F., Goudet, J. and Renaud, F. 2000. Microsatellites in the hermaphroditic snail, *Lymnaea truncatula*, intermediate host of

- the liver fluke, *Fasciola hepatica*. **Molecular Ecology** 9(10): 1662-1664.
- Wikipedia, the free encyclopedia. 2020. **Chawang District**. Available Source: https://en.wikipedia.org/wiki/Chawang_District, May 19, 2020.
- Worasing, R. and Rattana, S. 2010. **Bovine Gastrointestinal and Blood Parasites Examination in Pakpanang River Basin in Nakhon Si Thammarat Province**. Available Source: <http://www.lib.ku.ac.th/kuconf/KC4502042.pdf> , April 10, 2020. (in Thai)

ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากฝอยทองและแบคทีเรีย

ต่อการควบคุมไรไข่ปลา

Acaricidal Properties of *Cuscuta* spp. Crude Extracts and Bacteria against *Luciaphorus perniciosus*

กิริติ ตันเรือน¹ สุภัก คณดารา¹ เรืองวุฒิ ชุตินา¹ ทิววาท นานิรุณ² และ พิสิษฐ์ พูลประเสริฐ^{1*}

Keerati Tanruean¹, Suphak Kondara¹, Ruangwut Chutima¹, Tiwtawat Napiroon² and Pisit Poolprasert^{1*}

Received: 21 April 2020, Revised: 10 June 2020, Accepted: 22 June 2020

บทคัดย่อ

ไรไข่ปลา (*Luciaphorus perniciosus* Rack, 1983) เป็นศัตรูสำคัญของการผลิตเห็ดในประเทศไทยทำให้การผลิตเห็ดลดลงได้ การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากฝอยทองชนิด *Cuscuta reflexa* Roxb. และ *C. chinensis* Lam. และแบคทีเรียเพื่อการควบคุมไรไข่ปลาในเห็ดหูหนู เตรียมสารสกัดหยาบจากฝอยทองที่ระดับความเข้มข้นที่ 0, 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0% w/v และการเตรียมสารละลายของแบคทีเรียที่แยกได้จากเห็ด ความเข้มข้น 1×10^8 CFU/mL ในการทดสอบสารด้วยการสัมผัส ใช้ไรไข่ปลาในระยะท้องจำนวน 3 ซ้ำๆ ละ 10 ตัว/ความเข้มข้น/สารสกัด โดยใช้เมล็ดข้าวฟ่างที่มีเส้นใยเห็ดเป็นอาหาร และทดสอบอัตราการตายที่ระยะ 3, 5, 7 และ 9 วัน พบว่า สารสกัดหยาบจากต้นฝอยทองชนิด *C. reflexa* มีค่า LC_{50} ต่อไข่ของไร ที่ 3, 5, 7 และ 9 วัน เท่ากับ 22.86, 12.25, 5.87 และ 2.01% w/v ตามลำดับ ขณะที่สารสกัดหยาบจากต้นฝอยทองชนิด *C. chinensis* มีค่า LC_{50} ต่อไข่ของไร เท่ากับ 16.59, 7.34, 2.18 และ 1.78% w/v ตามลำดับ ทั้งนี้ความเข้มข้นที่ 5% w/v ฝอยทองชนิด *C. chinensis* มีผลทำให้ไรตายร้อยละ 100 ภายหลังการทดสอบที่ 7 วัน สำหรับฝอยทองชนิด *C. chinensis* และที่ 9 วัน สำหรับฝอยทองชนิด *C. reflexa* ในทางตรงกันข้ามสารละลายของแบคทีเรียในการทดสอบครั้งนี้ไม่สามารถยับยั้งไรไข่ปลาระยะท้องได้ แม้กระนั้นก็ตามผลการวิจัยนี้ มีข้อเสนอแนะว่าสารสกัดจากฝอยทองทั้งสองสายพันธุ์มีแนวโน้มที่ดีในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อป้องกัน และกำจัดไรไข่ปลา และไรชนิดอื่นๆ ที่เข้าทำลายฟาร์มเห็ด

คำสำคัญ: สารสกัดฝอยทอง, ไรไข่ปลา, แบคทีเรีย, เห็ดหูหนู

¹ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Biology Program, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000, Thailand.

² สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

² Department of Biotechnology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120, Thailand.

* ผู้เขียนที่ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): poolprasert_p@psru.ac.th

ABSTRACT

The pyemotid mite (*Luciaphorus perniciosus* Rack, 1983) associated with several commercial mushrooms in Thailand that could result in the decline of mushroom cultivation. Therefore, the bioefficacies of *Cuscuta reflexa* and *C. chinensis* crude extracts and bacteria isolated from mushroom for controlling *L. perniciosus* infesting Jew's ear mushroom (*Auricularia auricular* (Hook.) Underw.) were assessed in this study. Different concentrations of *Cuscuta* spp. crude extracts (0, 0.5, 1.0, 2.5 and 5% w/v) and the solution of each bacterium (1×10^8 CFU/mL) were prepared. The contact bioassay was designed in a completely randomized triplicate. A total of ten pregnant females of *L. perniciosus* were tested in each replication and concentration containing a sorghum seed inoculated with mycelia as food. After 3-, 5-, 7- and 9-day exposure, it was found that *C. reflexa* stem ethanolic extract exhibited median lethal concentrations to kill 50% (LC_{50}) of the treated mites in 3, 5, 7 and 9 days of 22.86, 12.25, 5.87 and 2.01% w/v, respectively. Meanwhile, *C. chinensis* stem ethanolic extract displayed LC_{50} of 16.59, 7.34, 2.18 and 1.78% w/v, respectively. In terms of the mortality rate, the concentration at 5% w/v in both crude plant extracts showed effectiveness in killing pregnant mites with 100% mortality after exposure for 7 days (*C. chinensis*) and 9 days (*C. reflexa*). Conversely, the solution of all isolated bacteria could not kill pyemotid at this time. Nevertheless, these results suggested that both plant extracts are likely to be further applied as a biopesticide in preventing *L. perniciosus* and other mite pests of mushroom devastating the mushroom farm.

Key words: *Cuscuta* spp. extract, *Luciaphorus perniciosus*, Bacteria, *Auricularia auricular*

บทนำ

ปัจจุบันการเพาะเห็ดของเกษตรกรยังคงประสบกับปัญหาการเข้าทำลายเส้นใยเห็ดของไรศัตรูเห็ด ซึ่งปัญหาไรศัตรูเห็ดจะมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นเมื่อเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงเห็ดนำถุงก้อนเชื้อเห็ดที่ถูกไรศัตรูเห็ดทำลายทิ้งไว้ใกล้บริเวณหรือภายในโรงเพาะเห็ดจะกลายเป็นแหล่งขยายพันธุ์ไรศัตรูเห็ดการลงทำลายของไรศัตรูเห็ดทำให้เส้นใยเห็ดขาด ไม่สามารถออกดอกและตายในที่สุด นอกจากนั้นยังเป็นสัตว์พาหะทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อราโรคเห็ด เมื่อเกิดการระบาดจะทำให้ผลผลิตเห็ดลดลง โดยไรศัตรูเห็ดที่พบการระบาดสร้างความเสียหายให้กับฟาร์มเพาะเห็ดในประเทศไทยที่พบรายงานโดย

Kulpiyawat (2003) มีหลายชนิด อาทิ ไรลูกโป่ง (*Dolichocybe indica* Mahunka, 1970) ไรขาวใหญ่ (*Histiostoma bakeri* Hughes & Jackson, 1958) ไรคืด (*Formicomotes heteromorphus* Magowski, 1988) และไรไข่ปลา (*Luciaphorus perniciosus* Rack, 1983) เป็นต้น โดยเฉพาะไรไข่ปลาที่พบเป็นไรศัตรูเห็ดที่สำคัญเนื่องจากสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ไรไข่ปลามีการเจริญเป็น 2 ระยะ คือ (1) การเจริญระยะเอ็มบริโอ (Embryonic stage) ตั้งแต่เซลล์ไข่จนถึงตัวอ่อน โดยระยะไข่ มีลักษณะเป็นเม็ดกลมใสเล็กน้อยเท่าหัวเข็มหมุดขึ้นเบียดเสียดกันแน่นเป็นกระจุกคล้ายไข่ปลาเป็นระยะแพร่ขยายพันธุ์ ในระยะไข่สามารถแบ่งได้เป็น 5 ระยะย่อยได้แก่ ระยะ

ที่ 1 และ ระยะที่ 2 จัดเป็นระยะต้น (Early stage) เป็นระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในไข่มองเห็นไข่มีลักษณะใสและยังไม่ปรากฏให้เห็นรยางค์ ส่วนระยะที่ 3-5 จัดเป็นระยะปลาย (Later stage) เป็นระยะที่เริ่มมีรยางค์เกิดขึ้นจนสามารถมองเห็นรยางค์ได้ชัดเจน และ (2) การเจริญระยะหลังเอ็มบริโอ (Postembryonic stage) หลังจากตัวอ่อนระยะสุดท้ายจนถึงตัวเต็มวัย ทั้งนี้ทุกระยะของไข่เจริญอยู่ภายในเปลือกไข่ในลำตัวของตัวแม่ตลอดเวลา เมื่อโตเต็มที่ก็จะฟักออกจากไข่เป็นเต็มวัยทันที โดยตัวเต็มวัยส่วนมากจะฟักออกจากไข่ตั้งแต่ไข่ยังอยู่ภายในท้องของตัวแม่ แต่มีบางครั้งที่ตัวเต็มวัยฟักออกจากไข่ภายหลังที่ลำตัวของตัวแม่แตกออกแล้ว โดยระยะนี้ไรสามารถเคลื่อนที่ได้และจะทำให้เกิดการระบาดอย่างรวดเร็ว (Pumnuan *et al.*, 2009; Bussaman *et al.*, 2017) ทั้งนี้เมื่อพบปัญหาไรเห็ดเกษตรกรมักจะใช้สารเคมีเนื่องจากเป็นวิธีการควบคุมไรศัตรูเห็ดที่ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถควบคุมการแพร่ระบาดได้อย่างรวดเร็วโดยสารเคมีที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น carbaryl, tebufenpyred, pyridaben, abamectin เป็นต้น โดย Babar *et al.* (2005) ได้ศึกษาการควบคุมไรเห็ดด้วยสารเคมี dicofol, abamectin และ hexythiazox ที่มีความเข้มข้น 3 ระดับพบว่าสารที่ใช้ทั้งหมดสามารถลดจำนวนประชากรของไรเห็ดได้ อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีในการควบคุมไรศัตรูเห็ดมีข้อจำกัดเนื่องจากไม่สามารถใช้ควบคุมการแพร่ระบาดในช่วงการเปิดดอกเห็ดเพราะสารเคมีจะตกค้างในเห็ดซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เกษตรกรและสิ่งแวดล้อม รวมถึงส่งผลต่อคุณภาพของดอกเห็ด ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาและพัฒนาการใช้วิธีทางชีวภาพทั้งการใช้สารสกัดจากพืชและการใช้จุลินทรีย์เพื่อเป็นทางเลือกแก่เกษตรกรในการควบคุมไรเห็ด แทนการใช้สารเคมี ซึ่งการใช้สารสกัดจากพืชในการควบคุมศัตรูพืชทางการเกษตรกลายเป็นที่นิยมอย่าง

มาก เนื่องจากสารสกัดจากพืชไม่เป็นอันตรายต่อเกษตรกร และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงมีการแนะนำให้ใช้สารสกัดจากพืชเป็นทางเลือกในการควบคุมไรศัตรูเห็ด (Bussaman *et al.*, 2012)

จากที่มีการประกาศพิษสมุนไพรอันตรายหลายชนิด เป็นวัตถุอันตรายประเภทที่ 1 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องบัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 6) พ.ศ. 2552 ทำให้เกษตรกรที่เพาะเห็ดในฟาร์มเห็ดอินทรีย์ไม่สามารถใช้พืชสมุนไพรที่ถูกขึ้นทะเบียนเป็นวัตถุอันตรายดังกล่าวได้จึงต้องหาพืชที่ทำลายไรเห็ดแต่ไม่ทำลายเส้นใยเห็ด โดยฝอยทอง (*Cuscuta* sp.) เป็นพืชจำพวกกาฝากขึ้นเกาะและดูดน้ำเลี้ยงจากพืชชนิดอื่นทั้งไม้ยืนต้น ไม้ล้มลุก รวมถึงวัชพืช ในประเทศไทยสามารถพบฝอยทองชนิด *Cuscuta reflexa* Roxb. และ *C. chinensis* Lam. ได้มากที่สุด โดยชนิด *C. reflexa* มีลักษณะลำต้นเป็นสีเหลืองหรือสีเขียว หรือสีทองแกมเขียว อวบน้ำ และมีลักษณะคล้ายเส้นหนวดแข็งแรง (ภาพที่ 1ก) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2.5 มิลลิเมตร และมีความยาวได้ประมาณ 1-3 เมตร ไม่มีใบ ดอกเล็กค่อนข้างกลม ออกเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มไม่มีก้านดอก กลีบเลี้ยงรูปถ้วยกลีบดอกสีขาว เชื่อมติดกันเป็นรูปประฆัง ปลายแยกเป็น 5 กลีบ งอรั้ง ส่วนชนิด *C. chinensis* มีลักษณะเป็นเส้นกลม มีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีเหลืองทอง (ภาพที่ 1ข) แต่มีขนาดเล็กกว่าชนิด *C. reflexa* ใบมีขนาดเล็กรูปสามเหลี่ยม ดอกออกเป็นช่อ กลีบดอกมีขนาดเล็กประมาณ 2 มิลลิเมตร เชื่อมติดกันเป็นรูปถ้วย ส่วนปลายกลีบจะมน แยกออกเป็น 5 แฉก กลางดอกมีเกสรตัวผู้ 5 อัน ตัวเมีย 2 อัน ผลมีลักษณะกลมแบนมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร และมีเมล็ด 2 ถึง 4 เมล็ด ลักษณะค่อนข้างกลมรี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร สีเหลืองอมเทา



ภาพที่ 1 ลักษณะของฝอยทอง (ก) ฝอยทองชนิด *Cuscuta reflexa* Roxb. และ (ข) ฝอยทองชนิด *Cuscuta chinensis* Lam.

เนื่องจากต้นฝอยทองสามารถเจริญเติบโตได้ง่ายจะใช้เวลาไม่นานในการขึ้นปกคลุมพืชถูกอาศัยและทำให้พืชถูกอาศัยตาย จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการรายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีของฝอยทองว่าประกอบด้วยสารเคมีหลายกลุ่ม อาทิ Flavonoids, Phenolic acids, Sterols, Hydroquinone, Terpenes, Lignans, Polysaccharides, Resin glycosides and Fatty acids (Patel *et al.*, 2012; Bais and Kakkar, 2013) และมีรายงานถึงการนำต้นฝอยทองมาใช้ประโยชน์ในด้านผลิตภัณฑ์สุขภาพ (Functional food) และฝอยทองนั้นมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Mateen *et al.*, 2011) และมีฤทธิ์ต้านไวรัสฤทธิ์ต้านมะเร็งและต้านอนุมูลอิสระ (Vijikumar *et al.*, 2011; Perveen *et al.*, 2013; Tanruean *et al.*, 2017) และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลโคซิเดส (Tanruean *et al.*, 2019a) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า สารสกัดจากฝอยทองมีฤทธิ์ฆ่าลูกน้ำยุงลายได้ (Tanruean *et al.*, 2019b) อีกทั้งยังสามารถขยายพันธุ์ได้ง่ายและสามารถเจริญเติบโตได้ทุกพื้นที่ของประเทศไทย สำหรับการควบคุมไรศัตรูเห็ดด้วยจุลินทรีย์สามารถใช้ได้ทั้งเชื้อรา โดยกลุ่มของเชื้อราที่มีการนำมาใช้คือ เชื้อราบิวเวอเรีย บาสเซียนา (*Beauveria bassiana*) เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับแมลง (Bugti *et al.*, 2018; Alali *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตามจากข้อแนะนำให้ใช้ในการฉีดพ่นทั่วโรงเรือนเพื่อควบคุมการระบาดของไรศัตรูเห็ดของ

เชื้อราบิวเวอเรียต้องใช้เวลาในการเข้าทำลายไรศัตรูเห็ด ส่วนการใช้แบคทีเรียซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus subtilis* ที่แยกได้จากดอกเห็ด กำลังได้รับความนิยมนอกจากไม่ทำลายเส้นใยเห็ด (Yenjit and Intana, 2016) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากต้นฝอยทองและแบคทีเรียต่อการควบคุมไรไข่ปลา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างฝอยทอง

สำรวจและเก็บตัวอย่าง โดยเก็บฝอยทองชนิด *Cuscuta chinensis* Lam. ในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย อำเภอศรีสัชนาลัย (17°23'20.0394"N 99°48'1.0794"E) และ อำเภอศรีสำโรง (17°12'46.08"N 99°29'36.5994"E, 17°12' 52.92"N 99°29'28.32"E และ 17°13'29.2794"N 99°29'9.6"E) และฝอยทองชนิด *Cuscuta reflexa* Roxb. จากอำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง (18°8'9.8556"N 99°37'29.6904"E) ช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งจากการสำรวจพบว่าฝอยทองจากทั้งสองแหล่งนี้มีปริมาณมากพอที่จะนำมาใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงและเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบต่างๆ โดยนำตัวอย่างมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำทุกส่วนของฝอยทองมาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องปั่น และเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้สกัดต่อไป

2. การเตรียมสารสกัดจากฝอยทอง

การเตรียมตัวอย่างสารสกัดพืชตัดแปลงจากงานวิจัยของ Bussaman *et al.* (2012) โดยมีการนำตัวอย่างฝอยทองทั้ง 2 ชนิด (*C. chinensis* และ *C. reflexa*) ที่เตรียมไว้ 200 กรัม มาแยกสกัดด้วย 80 เปอร์เซ็นต์เอทานอล (80% v/v) ปริมาตร 1 ลิตร (1:5 น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปสกัดด้วยเครื่อง Ultrasonicator (Daihan scientific WUC-DZZH, Korea) 60 นาที หลังจากนั้นนำสารสกัดมากรองด้วยผ้าขาวบางและกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman no.1) จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ เก็บสารสกัดในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปใช้ในการทดสอบจะใช้น้ำกลั่นในการละลายสารตัวอย่างและใช้เป็นชุดควบคุม

3. การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียจากเห็ดหูหนู

การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่เรียดัดแปลงจากงานวิจัยของ Yenjit and Intana (2016) โดยนำดอกเห็ดหูหนูสด (*Auricularia auricular* (Hook.) Underw.) จากห้างหุ้นส่วนสามัญ วิสาหกิจชุมชน กลุ่มเพาะเห็ดบ้านท่าช้าง อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 5 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่นฆ่าเชื้อปริมาตร 45 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ผสมส่วนใสเพื่อทำการเจือจางที่ 10^{-1} - 10^{-3} เท่า คูลสารแขวนลอยปริมาตร 100 ไมโครลิตร มาเกลี่ยให้ทั่วบนอาหาร Nutrient agar (NA) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง คัดเลือกแบคทีเรียโคโลนีเดี่ยวที่แตกต่างกันมา Steak plate บนอาหาร NA จนได้เชื้อบริสุทธิ์ ตรวจสอบลักษณะโคโลนี การดัดสีแกรม รูปร่าง และการทดสอบเอนไซม์คะตะเลส (Catalase enzyme) ให้รหัสตัวอย่างแบคทีเรียเป็น PSRU-ABXX และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

4. การทดสอบผลของสารสกัดจากฝอยทองและแบคทีเรียต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ด

1. การทดสอบผลของสารสกัดจากพืชตัดแปลงจากงานวิจัยของ Koohakan *et al.* (2014) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพ ด้วยวิธี Paper disc diffusion

การทดสอบผลของสารสกัดจากฝอยทองต่อการเจริญของเชื้อเห็ดหูหนู ด้วยวิธี Paper disc diffusion ระหว่างเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม พ.ศ. 2562 นำอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA) ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อขณะร้อนมาเทลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อประมาณ 20 มิลลิลิตรต่อจาน ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเมล็ดข้าวฟ่าง (*Sorghum bicolor* (Linnaeus) Moench) ที่มีเส้นใยเห็ดเจริญอยู่วางบริเวณกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อปล่อยให้เชื้อเจริญโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี 5 เซนติเมตร แล้วหยดสารสกัดจากฝอยทอง (ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0% w/v) ลงบน Paper disc ปริมาตร 20 ไมโครลิตร วางทางมุมบนและล่างของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ) นำจานอาหารเลี้ยงเชื้อมาบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สังเกตการเจริญของเส้นใยเห็ดโดยดูจากการเกิดวงใส (Clear zone) ของ Paper disc ที่วางทางมุมบนและล่างของจานอาหารเลี้ยงเชื้อในแต่ละชุดการทดลอง

1.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพ ด้วยวิธี Poison media

การทดสอบผลของสารสกัดจากฝอยทองต่อการเจริญของเชื้อเห็ดหูหนูด้วยวิธี Poison media ระหว่างเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose broth (PDB) โดยเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB บรรจุลงขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ขวดละ 50 มิลลิลิตร นำไปนึ่ง

ฆ่าเชื้อทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเจาะส่วนปลายเส้นใยเห็ดที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ด้วย Cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร แล้วเฉี่ยใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหาร PDB จำนวนขวดละ 3 ขัน หยดสารสกัดจากฝอยทองที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0% w/v) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB ที่ถ่ายเชื้อเห็ดแล้ว นำไปเขย่าแบบหมุนเหวี่ยง (Rotary Shaker) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อไปกรองเอาเฉพาะเส้นใยเห็ดด้วยกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันจึงนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งของเส้นใยเห็ดจนน้ำหนักคงที่ในแต่ละชุดการทดลอง เปรียบเทียบกับชุดควบคุม

2. เชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบผลของเชื้อแบคทีเรียต่อการเจริญของเชื้อเห็ดทำได้โดยเลี้ยงเชื้อเห็ดบนอาหาร PDA เป็นเวลา 7 วัน แล้วตัดชิ้นส่วนของเชื้อเห็ด ด้วย Cork borer (5 มิลลิเมตร) มาวางตรงกลางของจานอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นย้ายโคโลนีเดี่ยวของแบคทีเรีย โดยให้ห่างจากปลายเส้นใยของเชื้อเห็ด 3 เซนติเมตร จำนวน 4 จุดในแนวกากบาท บ่มจานอาหารเพาะเลี้ยงทดสอบที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน วัดบริเวณยับยั้งเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (น้ำกลั่นฆ่าเชื้อ)

5. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากฝอยทองและแบคทีเรียต่อไรโซปลาในระยะท้อง

1. การทำหัวเชื้อเมล็ดข้าวฟ่าง

นำเมล็ดข้าวฟ่างมาล้างด้วยน้ำสะอาด คัดเมล็ดลืบออกให้หมด และแช่น้ำไว้ 1 คืน เพื่อให้เมล็ดนึ่ม จากนั้นล้างเมล็ดด้วยน้ำเปล่าอีก 3 ครั้ง นำไปนึ่งจนกระทั่งเมล็ดข้าวฟ่างบานหรือสุก จากนั้นล้างน้ำเปล่าอีก 1 ครั้งนำไปผึ่งลม พอให้เมล็ดข้าวฟ่าง

แห้งหมาดๆ ให้มีความชื้นประมาณ 60% กรอกใส่ขวดแก้วที่สะอาด ประมาณ 1/2 - 2/3 ของขวดแล้วปิดปากขวดด้วยสำลี หุ้มกระดาษเพื่อป้องกันไอน้ำและรัดด้วยยาง นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเฉี่ยหัวเชื้อเห็ดเห็ดหนูลงในขวดเมล็ดข้าวฟ่าง เก็บขวดเมล็ดข้าวฟ่างไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เส้นใยเจริญ (Koohakan *et al.*, 2014)

2. การเพิ่มปริมาณไรโซปลา

การเพิ่มปริมาณไรโซปลาเพื่อใช้ในการทดลอง ใส่เมล็ดข้าวฟ่างสูง 0.5 เซนติเมตรจากก้นขวด ปากกว้าง 5 เซนติเมตร สูง 8.5 เซนติเมตร (Saringkaphaibu *et al.*, 2000) เชี่ยไรโซปลา ระยะท้องจากห้างหุ้นส่วนสามัญ วิสาหกิจชุมชน กลุ่มเพาะเห็ดบ้านท่าช้าง อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ลงไปเลี้ยงไว้ และนำไรโซปลา ระยะไข่ในระยะต้น (Early stage) รุ่นที่สองไปใช้ในการทดลอง

3. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากฝอยทองและแบคทีเรียต่อไรโซปลาในระยะท้อง

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากฝอยทองต่อไรโซปลา โดยดัดแปลงจากงานวิจัยของ Chaowattanawong *et al.* (2011) ทำการทดสอบในระหว่างเดือนสิงหาคม-กันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งทำการทดสอบกับไรโซปลา ระยะท้อง โดยในระยะนี้จะมีลักษณะเป็นเม็ดกลมใสขนาดเท่าหัวเข็มหมุด ทำการหยดสารสกัดจากฝอยทองที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0% w/v) และน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) ปริมาตร 1 มิลลิตร ลงบนเมล็ดข้าวฟ่างหัวเชื้อเห็ดหนูที่อยู่ในจานเพาะเชื้อ โดยให้สารสกัดจากฝอยทองและน้ำกลั่นเคลือบเมล็ดข้าวฟ่างและจานเพาะเชื้อให้ทั่ว หลังจากนั้นเฉี่ยไรโซปลา ระยะท้องจำนวน 10 ตัว/ความเข้มข้น/สารสกัด/จำนวน 3 ซ้ำ ลงบนเมล็ดข้าวฟ่างหัวเชื้อเห็ดหนูแล้วปิดฝาจานแก้วให้สนิท

บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของไรโซปลาในระยะเวลา Early stage (Stages 1-2) ระยะ Later stage (Stages 3-5) การฟักและการตายสะสมของไรโซปลาระยะท้องเป็นเวลา 9 วัน เปรียบเทียบจำนวนตาย (ค่าเฉลี่ยจำนวนตาย) ของไรโซปลาหลังจากที่ได้รับสารสกัดจากฝอยทองทั้ง 2 ชนิดที่ความเข้มข้นต่างๆ ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพของแบคทีเรียต่อไรโซปลาทำได้โดยเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร NA เป็นเวลา 5 วัน และชุบเชื้อมาเลี้ยงในอาหาร NB เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมสารละลายของแบคทีเรียแต่ละไอโซเลท (1×10^8 CFU/mL) ปริมาตร 1 มิลลิตร ลงบนเมล็ดข้าวฟ่างหั่วเชื้อเห็ดหูหนูที่อยู่ในจานเพาะเชื้อ โดยให้สารละลายแบคทีเรียและน้ำกลั่นเคลือบเมล็ดข้าวฟ่างและจานเพาะเชื้อให้ทั่วถึงหลังจากนั้นเชื้อไรโซปลาตัวเต็มวัยเพศเมียระยะท้องจำนวน 10 ตัว จำนวน 3 ซ้ำ ลงบนเมล็ดข้าวฟ่างหั่วเชื้อเห็ดหูหนูแล้วปิดฝาจานแล้วให้สนิท บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของไรโซปลาในระยะเวลา Early stage (Stages 1-2) ระยะ Later stage (Stages 3-5) การฟักและการตายสะสมของไรโซปลาระยะท้องเป็นเวลา 9 วัน เปรียบเทียบจำนวนตาย (ค่าเฉลี่ยจำนวนตาย) ของไรโซปลาหลังจากที่ได้รับสารละลายแบคทีเรียแต่ละไอโซเลท

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

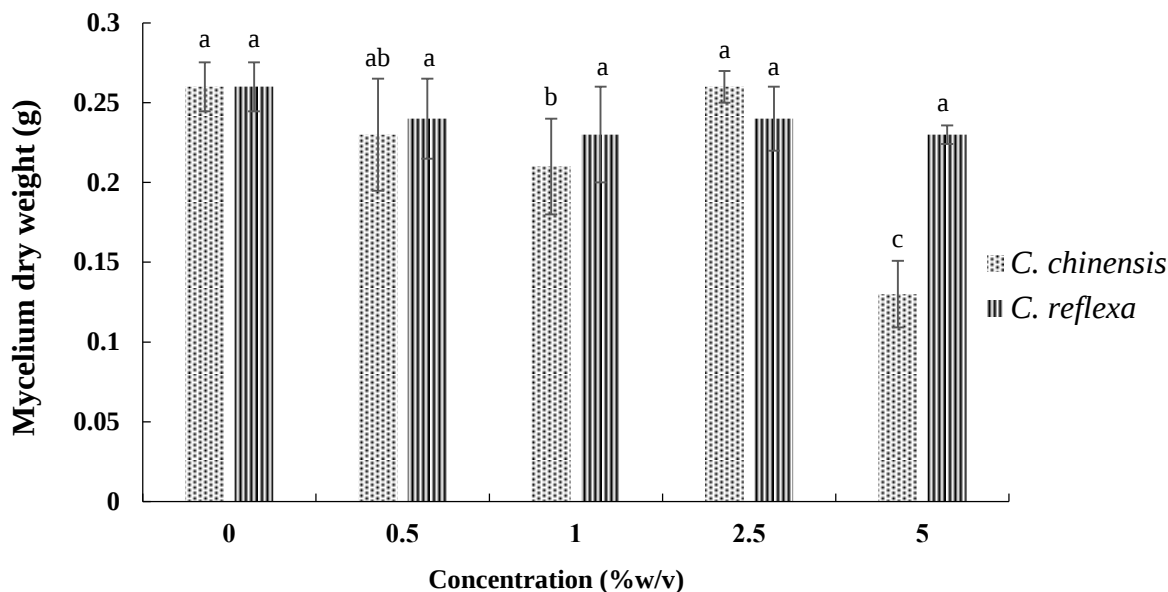
วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ด้วย F-test พร้อมทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลภายหลังวิธี Duncan's Multiple Rang Test (DMRT) และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการตายด้วย t-test และค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่ทำให้ไรโซปลาในการทดลองตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (Median lethal concentration, LC_{50}) โดยวิธี Probit analysis โดยกำหนดให้ไรโซปลาที่ถูกทดสอบ ไม่ตอบสนองการเคลื่อนไหวต่อสิ่งเร้าหรือไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ให้ถือว่ามีการตายเกิดขึ้น วิเคราะห์ข้อมูล

ทั้งหมดโดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 25.0 สำหรับโปรแกรม Windows (IBM Corp, 2017)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการทดสอบสารสกัดจากฝอยทองและแบคทีเรียต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดหูหนู

ผลการศึกษาของสารสกัดจากฝอยทองต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดหูหนู โดยการทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพด้วยวิธี Paper disc diffusion ที่ระดับความเข้มข้น (0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0% w/v) และบันทึกผลการทดสอบที่เวลา 48 ชั่วโมงพบว่าสารสกัดของฝอยทองทั้ง 2 ชนิด ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดหูหนู โดยขนาดของโคโลนีและลักษณะของเส้นใยเห็ดที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม และจากการทดสอบผลของสารสกัดจากฝอยทองต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดหูหนู โดยการทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพด้วยวิธี Poison media ที่ระดับความเข้มข้น (0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0% w/v) หลังจากนำไปเขย่าแบบหมุนเหวี่ยง (Rotary Shaker) เป็นเวลา 7 วัน แล้วหาน้ำหนักแห้งของเส้นใยเห็ดหูหนู พบว่า น้ำหนักแห้งของเส้นใยเห็ดหูหนูที่ทดสอบกับสารสกัดหยาบฝอยทองชนิด *C. reflexa* เท่ากับ 0.24, 0.23, 0.24 และ 0.23 กรัม ตามลำดับ และฝอยทองชนิด *C. chinensis* เท่ากับ 0.23, 0.21, 0.26 และ 0.13 กรัม ตามลำดับ ขณะที่น้ำหนักแห้งของเส้นใยเห็ดหูหนูในชุดควบคุมเท่ากับ 0.26 กรัม แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากฝอยทองชนิด *C. reflexa* ทุกความเข้มข้น และชนิด *C. chinensis* ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.5% w/v ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดหูหนูยกเว้นสารสกัดหยาบฝอยทองชนิด *C. chinensis* ที่ระดับความเข้มข้น 5.0% w/v มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดหูหนูถึงร้อยละ 50 (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 น้ำหนักแห้งของเส้นใยเห็ดหูหนูในอาหารเหลวที่เติมสารสกัดจากฝอยทองชนิด *Cuscuta reflexa* และ *Cuscuta chinensis* ตัวอักษรที่แตกต่างในแต่ละชุดข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบผลของสารสกัดหยาบโดยอาศัยการระเหยของสารออกฤทธิ์ไม่มีผลในการยับยั้งเชื้อเห็ดหูหนูแม้จะใส่สารสกัดจากฝอยทองที่มีความเข้มข้นสูง ขณะที่การให้เชื้อเห็ดสัมผัสกับสารสกัดจากฝอยทองโดยตรง ที่ความเข้มข้นของสารสกัดสูงจะมีผลทำให้เส้นใยเห็ดหูหนูเจริญได้ช้าลง หลักการนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยจากพืชต่อการเจริญของเชื้อเห็ด โดย Koohakan *et al.* (2014) พบว่าผลของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้บ้าน (*Cymbopogon citratus* (Dc. ex Nees)) และตะไคร้หอม (*Cymbopogon nardus* Rendle.) มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ด โดยออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus* Mont), เห็ดแป๊ะชื้อ (*Pleurotus abalonus* Han), เห็ดนางฟ้าภูฐาน (*Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Sing.), เห็ดบด (*Lentinus polychrous* Lev.), เห็ดตีนแรด (*Tricholoma crissum* (Berk.) Sacc), เห็ดหูหนู

(*Auricularia auricular* (Hook.) Underw.) และเห็ดฮังการี (*Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kummer) มากกว่า 50% ขณะที่แบคทีเรียที่แยกได้ทั้งหมด 8 ไอโซเลท (PSRU-AB 01-PSRU-AB 08) โดยมีลักษณะโคโลนีที่พบบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ NA ที่แตกต่างกัน ซึ่งพบทั้งโคโลนีลักษณะขอบเรียบสีเหลืองอ่อน ขอบเรียบสีขาว โคโลนีลักษณะนูน โคโลนีลักษณะเยิ้ม รวมถึงโคโลนีลักษณะเหมือนกำมะหยี่ นอกจากนี้เมื่อทำการย้อมสีแกรมและตรวจลักษณะรูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้วพบว่าแบคทีเรียที่แยกได้มีทั้งที่เป็นแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ โดยรูปร่างได้กล้องจุลทรรศน์ที่พบมีสองแบบ ได้แก่ แบบกลม (Coccus) และแบบท่อนสั้น (Short rod) ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อนำแบคทีเรียที่แยกได้ทั้ง 8 ไอโซเลท มาทดสอบผลของเชื้อแบคทีเรียต่อการเจริญของเชื้อเห็ดหูหนูพบว่าแบคทีเรียจำนวน 5 ไอโซเลท (PSRU-AB02, PSRU-AB03, PSRU-AB04, PSRU-AB05 และ PSRU-

AB06) ที่ไม่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดหูหนู ส่วนการเจริญของแบคทีเรียอีก 3 ไอโซเลท (PSRU-AB01, PSRU-AB07 และ PSRU-AB08) มีผลยับยั้งการเจริญของเส้นใยเห็ดหูหนูอย่างชัดเจน จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการศึกษาการ

กำจัดไรโซปลา ดังนั้นจึงนำแบคทีเรียจำนวน 5 ไอโซเลท (PSRU-AB02, PSRU-AB03, PSRU-AB04, PSRU-AB05 และ PSRU-AB06) ที่ไม่มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อเห็ดหูหนูไปทดสอบหาประสิทธิภาพในการกำจัดไรโซปลา

ตารางที่ 1 ลักษณะของแบคทีเรียและผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อเห็ดหูหนู

แบคทีเรีย	ลักษณะโคโลนี	สีแกรม/รูปร่าง	การทดสอบเอนไซม์ กะตะเลส	การยับยั้งการ เจริญของเห็ด
PSRU-AB01	ขอบเรียบ สีเหลืองอ่อน	+ / Coccus	+	ยับยั้ง
PSRU-AB02	ขอบเรียบ สีขาว	- / Coccus	+	ไม่ยับยั้ง
PSRU-AB03	ขอบเรียบ สีขาว	- / Short rod	+	ไม่ยับยั้ง
PSRU-AB04	ขอบเรียบ สีขาว ตรงกลางโคโลนี ลักษณะนูน	+ / Short rod	+	ไม่ยับยั้ง
PSRU-AB05	ขอบหยัก สีขาว ผิวโคโลนีเยิ้ม	+ / Short rod	+	ไม่ยับยั้ง
PSRU-AB06	ขอบเรียบ สีขาว	- / Coccus	-	ไม่ยับยั้ง
PSRU-AB07	ขอบเรียบ สีขาว โคโลนีเยิ้ม	+ / Short rod	+	ยับยั้ง
PSRU-AB08	ขอบหยัก สีขาว ผิวโคโลนีลักษณะ เหมือนกำมะหยี่	- / Coccus	+	ยับยั้ง

2. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากฝอยทองและแบคทีเรียต่อไรโซปลา ระยะท้อง

ผลการศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากฝอยทองทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้น (0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0% w/v) และแบคทีเรีย (1×10^8 CFU/mL) ต่อไรโซปลา ระยะท้อง โดยทดสอบอัตราการตายสะสม ณ เวลา 3, 5, 7 และ 9 วัน พบว่าสารสกัดหยาบจากฝอยทองทั้งสองชนิดที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักร่วมต่อปริมาตรไม่สามารถยับยั้งไรโซปลาภายใต้สภาวะทดสอบได้ ขณะที่สารสกัดฝอยทองชนิด *C. reflexa* ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5.0% w/v มีฤทธิ์ฆ่าไรโซปลาโดยความเข้มข้น 2.5% w/v มีอัตราการตายสะสมเท่ากับ 10.00, 16.67, 26.67 และ 83.33% ของวันที่ 3, 5, 7

และ 9 วัน ตามลำดับ ขณะที่ความเข้มข้น 5.0% w/v มีอัตราการตายสะสมเท่ากับ 13.33, 23.33, 36.67 และ 100.00% ของวันที่ 3, 5, 7 และ 9 วัน ตามลำดับ และสารสกัดฝอยทองชนิด *C. chinensis* ที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5.0% w/v เท่านั้นที่มีฤทธิ์ฆ่าไรโซปลาโดยความเข้มข้น 2.5% w/v มีอัตราการตายสะสมเท่ากับ 10.00, 16.67, 73.33 และ 93.33% ของวันที่ 3, 5, 7 และ 9 วัน ตามลำดับ ขณะที่ความเข้มข้น 5.0% w/v มีอัตราการตายสะสมเท่ากับ 16.67, 30.00, 100.00 และ 100.00% ของวันที่ 3, 5, 7 และ 9 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2) และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการตายเฉลี่ยพร้อมทั้งการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ความเข้มข้นที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้อัตราการตายแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ หลังจากการให้สารสกัดจากฝอยทอง 3, 5, 7 และ 9 วัน ($p < 0.05$) โดยสารสกัดหยาบจากฝอยทองชนิด *C. reflexa* มีค่า LC_{50} เท่ากับ 22.86, 12.25, 5.87 และ 2.01% w/v ตามลำดับ และสารสกัดหยาบจากฝอยทองชนิด *C. chinensis* มีค่า LC_{50} เท่ากับ 16.59, 7.34, 2.18 และ 1.78% w/v ตามลำดับ การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากฝอยทองทั้ง 2 ชนิดต่อไรโซปลาในระยะท้องพบว่าที่ความเข้มข้นที่ 5.0% w/v มีผลทำให้ไรโซปลา ระยะท้องตาย 100% โดยฝอยทองชนิด *C. reflexa* ใช้เวลา 9 วันและชนิด *C. chinensis* ใช้เวลา 7 วัน แม้ว่ากลไกการออกฤทธิ์ของสารสกัดจากฝอยทองต่อแมลงจะยังไม่มีรายงานมาก่อนแต่จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดฝอยทองที่พบสารเคมีโดยเฉพาะสารกลุ่ม terpene ที่ทราบกันดีว่ามีคุณสมบัติในการยับยั้งเซลล์ของจุลินทรีย์อีกทั้งยังเป็นกลุ่มสารสำคัญในการออกฤทธิ์ต่อเซลล์ของแมลง (Dambolena *et al.*, 2016; Sieniawska *et al.*, 2017) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าสารสกัดหยาบจากฝอยทองสามารถใช้กำจัดไรโซปลาในระยะท้องได้และใช้เวลาในการออกฤทธิ์สั้นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Chaowattanawong *et al.* (2011) ที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดจากพืช 8 ชนิดในการป้องกันกำจัดไรโซปลาในระยะท้อง และระยะท้องในเห็ดหูหนู โดยระยะท้องท้อง พบว่าหลังจาก 24 ชั่วโมงพบจำนวนไรโซปลาตัวเต็มวัยระยะท้องท้องตายเฉลี่ย 32.00-48.25 ตัว จาก 50 ตัว ยกเว้นสารสกัดจากสะเดาที่พบเฉลี่ย 32 ตัว โดยในตัวเต็มวัยระยะท้อง หลังจากหยดสาร 10 วัน พบว่าสารสกัดจากพืชทุกชนิดพบจำนวนไรโซปลาตัวเต็มวัยระยะท้องตายเฉลี่ย 20 ตัว อย่างไรก็ตามการใช้สารสกัดพืชจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อใช้ในการควบคุมตัวเต็มวัยของไรโซปลาในระยะท้องโดย Bussaman *et al.* (2012) ได้รายงานถึงผลการศึกษา

ความเป็นพิษสารสกัดจากพืช 23 ชนิดต่อไรโซปลา ซึ่งพบว่าหลังการทดสอบ 3 วัน สารสกัดจากเหง้าของว่านชักมดลูก และโพลีมีประสิทธิภาพที่ทำให้อัตราการตายของไรโซปลาสูงสุดถึงร้อยละ 100.00 ตามด้วย ขมิ้น (ร้อยละ 98.89) กระเทียม (ร้อยละ 97.78) กระชายดำ (ร้อยละ 88.89) และขิง (ร้อยละ 84.44) และสารสกัดจากใบของกะเพรา และสะระแหน่มีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 100 นอกจากนี้พบว่าการใช้สารสกัดจากพืชในรูปแบบของน้ำมันหอมระเหยจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกำจัดไรโซปลา จากงานวิจัยของ Pumnuan *et al.* (2009) ที่ทำการทดสอบการรมควันด้วยน้ำมันหอมระเหยจากกานพลู, ตะไคร้หอม, ตะไคร้บ้าน และขมิ้นต่อไรโซปลาในระยะท้องพบว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้บ้าน และตะไคร้หอมมีฤทธิ์ยับยั้งสูงที่สุดส่งผลให้มีอัตราการตายร้อยละ 97.3 และ 95.8 ตามลำดับ และงานวิจัยของ Pumnuan *et al.* (2010) ที่ทดสอบผลของน้ำมันหอมระเหยจากตะไคร้ต้น หมีบัง และ เสม็ดขาว กับไรโซปลาโดยวิธีการสัมผัสและการรมควัน โดยทำการรมควันในภาชนะทดสอบขนาด $2.5 \times 10^4 \text{ cm}^3$ พบว่าน้ำมันหอมระเหยของ ตะไคร้ต้นเป็นพืชต่อไรโซปลามากที่สุดโดยวิธีการสัมผัสและการรมควันด้วยค่า LD_{50} (50% Lethal dose) เพียง 0.932 และ 0.166 $\mu\text{g} / \text{cm}^3$ ตามลำดับ ส่วนน้ำมันหอมระเหยของ หมีบัง มีค่า LD_{50} เท่ากับ 2.793 และ 0.410 $\mu\text{g} / \text{cm}^3$ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารสกัดหยาบจากฝอยทองทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการฆ่าไรโซปลาในระยะท้องซึ่งถือเป็นพืชทางเลือกอีกชนิดแก่เกษตรกรผู้เพาะพันธุ์เห็ดเนื่องจากฝอยทองเป็นวัชพืชที่พบได้ทั่วไป เจริญได้ง่ายและรวดเร็ว ในเบื้องต้นนั้นในการควบคุมไรศัตรูเห็ดด้วยสารสกัดหยาบฝอยทองมีข้อที่ต้องคำนึงถึงโดยชนิด *C. reflexa* ต้องใช้ที่ระดับความเข้มข้น 5% w/v นาน 9 วัน ส่วนสารสกัดฝอยทองชนิด *C. chinensis* ต้องใช้ที่ระดับความเข้มข้น 5% w/v นาน

7 วัน จึงจะสามารถกำจัดไรไข่ปลาระยะท้องได้ ร้อยละ 100 อย่างไรก็ตามหากต้องใช้สารสกัดฝอยทองชนิด *C. chinensis* ในช่วงที่เส้นใยเจริญจนถึงการเปิดดอกเห็ดควรใช้ที่ความเข้มข้น 2.5% w/v นาน 9 วัน ซึ่งแม้ว่าจะกำจัดไรไข่ปลาได้ประมาณร้อยละ 93 แต่

ที่ความเข้มข้นนี้ไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อเห็ดหนูหนูจากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าสารสกัดจากฝอยทองสามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดไรไข่ปลาศัตรูเห็ด

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพในการฆ่าไรไข่ปลาของสารสกัดจากฝอยทองชนิด *Cuscuta reflexa* และ *C. chinensis* ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สารสกัด	ความเข้มข้น (% w/v)	ร้อยละอัตราการตาย ($\bar{x} \pm S.D$)			
		3 วัน	5 วัน	7 วัน	
					100.00 $\pm$ 0.00c
<i>Cuscuta</i>	5.0	13.33 $\pm$ 5.77b	23.33 $\pm$ 5.77c	36.67 $\pm$ 5.77b	83.33 $\pm$ 15.27b
<i>reflexa</i>	2.5	10.00 $\pm$ 0.00b	16.67 $\pm$ 5.77b	26.67 $\pm$ 5.77b	0.00 $\pm$ 0.00a
	1.0	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a
	0.5	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a
	Control	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	2.01
	LC ₅₀ (% w/v)	22.86	12.25	5.87	100.00 $\pm$ 0.00c
<i>Cuscuta</i>	5.0	16.67 $\pm$ 5.77c	30.00 $\pm$ 0.00c	100.00 $\pm$ 0.00 c	93.33 $\pm$ 5.77b
<i>chinensis</i>	2.5	10.00 $\pm$ 0.00b	16.67 $\pm$ 5.77b	73.33 $\pm$ 5.77b	0.00 $\pm$ 0.00a
	1.0	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a
	0.5	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a
	Control	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	0.00 $\pm$ 0.00a	1.78
	LC ₅₀ (%w/v)	16.59	7.34	2.18	100.00 $\pm$ 0.00c

สำหรับการใช้แบคทีเรียในการกำจัดศัตรูเห็ดเป็นวิธีการทางชีวภาพอีกวิธีหนึ่งที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยแบคทีเรียมีกลไกการออกฤทธิ์ต่อศัตรูได้หลายวิธีทั้งการแข่งขัน (Competition) การทำลายชีวิต (Antibiosis) การเป็นปรสิต (Parasitism) เป็นต้น Yenjit and Intana (2016) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียบาซิลลัสในการควบคุมโรคราดำของเห็ดนางฟ้าภูฐานและพบว่าการใช้เชื้อบาซิลลัสสามารถควบคุมการเกิดโรคราดำได้ ขณะที่ Sobanbou *et al.* (2009) ศึกษาประสิทธิภาพในการทำลายไรไข่ปลาของแบคทีเรีย *Xenorhabdus* spp.

ที่อาศัยร่วมกับไส้เดือนฝอยวงศ์ Steinemematidae พบว่า *X. nematophila* มีประสิทธิภาพในการกำจัดไรไข่ปลาได้ดีที่สุด เมื่อทดสอบด้วยเซลล์แขวนลอยแบคทีเรีย *X. nematophila* ที่มีอายุ 2 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิตร พบการตายของไรไข่ปลาเพศเมียคิดเป็นร้อยละ 88.34 อย่างไรก็ตามพบว่าการทดลองนี้แบคทีเรียที่แยกได้จากเห็ดหนูหนูจำนวน 5 ไอโซเลท (PSRU-AB02, PSRU-AB03, PSRU-AB04, PSRU-AB05 และ PSRU-AB06) ไม่สามารถฆ่าไรไข่ปลาระยะท้องภายใต้สภาวะทดสอบได้และไรไข่ปลายังสามารถพัฒนาออกมาเป็นตัวเต็ม

วัยได้เมื่อเวลาผ่านไป 7 วันของการทดสอบเท่านั้น
ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความเข้มข้นของแบคทีเรียอยู่ใน
ในระดับต่ำและสถานะที่นำไปใช้ยังไม่เหมาะสม

สรุป

สารสกัดฝอยทองชนิด *Cuscuta reflexa* Roxb. และ *C. chinensis* Lam. และแบคทีเรียต่อไรโซป
ปลาระยะท้อง ที่ระดับความเข้มข้น 5.0% w/v ของ
สารสกัดจากฝอยทองทั้งสองชนิดมีผลทำให้ไรโซปปลา
ระยะท้องตายร้อยละ 100 โดยฝอยทองชนิด *C.*
reflexa ใช้เวลา 9 วัน มีค่า LC_{50} เท่ากับ 2.01 %w/v
สารสกัดจากฝอยทองชนิด *C. chinensis* มีค่า LC_{50}
เท่ากับ 2.18 % w/v ใช้เวลา 7 วัน และ มีค่า LC_{50}
เท่ากับ 1.78 % w/v ใช้เวลา 9 วัน ขณะที่แบคทีเรียที่
ใช้ทดสอบไม่สามารถฆ่าไรโซปปลาระยะท้องได้และ
เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ไรโซปปลาสามารถพัฒนา
ออกเป็นตัวเต็มวัยได้ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เป็น
การทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการจึงมีความ
จำเป็นต้องศึกษาในระดับพื้นที่หรือฟาร์มเพื่อให้
ทราบข้อมูลรวมทั้งสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อ
ประสิทธิภาพของสารสกัดจากฝอยทองในการ
ควบคุมกำจัดไรโซปปลาและเป็นประโยชน์ต่อ
เกษตรกรผู้เพาะเห็ดฟาร์มอินทรีย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์วิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราช
ภัฏภูเก็ตสงคราม จังหวัดภูเก็ต สำหรับการ
เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย และ
กองทุนพัฒนาการวิจัยและบริหารจัดการงานวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตสงคราม พ.ศ. 2562 ที่ให้ทุน
สนับสนุนการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Alali, S., Mereghetti, V., Faoro, F., Bocchi, S., Al
Azme, F. and Montagna, M. 2019.
Thermotolerant isolates of *Beauveria*
bassiana as potential control agent of
insect pest in subtropical climates. **PLoS**
ONE 14(2): 1-13. e0211457.
- Babar, M.H., Afzal, M., Bashir, M.H. and Asif, M.
2005. Chemical control of mushroom mite
(Tarsonimidae) at different time intervals
and concentrations of dicofol, abamectin
and hexythiazox. **Pakistan Journal of**
Agricultural Sciences 42(3-4): 42-44.
- Bais, N. and Kakkar, A. 2013. Comparative
phytochemical analysis of *Cuscuta reflexa*
parasite grown on *Cassia fistula* and *Ficus*
benghlensis by GC-MS. **International**
Journal of Pharmacy and Pharmaceutical
Sciences 5(4): 350-355.
- Bugti, G.A., Bin, W., Lin, H.F., Na, C. and Feng
L.H. 2018. Pathogenicity of *Beauveria*
bassiana strain 202 against sap-sucking
insect pests. **Plant Protection Science**
54(1): 111-117.
- Bussaman, P., Sa-uth, C., Chandrapatya, A.,
Atlihan, R., Gökçe, A., Saska, P. and Chi,
H. 2017. Fast population growth in
physogastry reproduction of *Luciaphorus*
perniciosus (Acari: Pygmephoridae) at
different temperatures. **Journal of**
Economic Entomology 110(4): 1397-
1403. <https://doi.org/10.1093/jee/tox102>.
- Bussaman, P., Sa-uth, C., Rattanasena, P. and
Chandrapatya, A. 2012. Effect of crude

- Plant plant extracts on mushroom mite, *Luciaphorus* sp. (Acari: pygmephoridae). **Psyche A Journal of Entomology** 2012 (ID 150958): 1-5. doi: <https://doi.org/10.1155/2012/150958>.
- Chaowattanawong, P., Prasotphon, A. and Kongchuensin, M. 2011. **Plant extract for controlling *Luciaphorus perniciosus* Rack in Jew's Ear Mushroom**, pp. 413-147. Annual report 2011. Published documents, Plant protection research and development office, Department of Agriculture. (in Thai)
- Dambolena, J.S., Zunino, M.P., Herrera, J.M., Pizzolitto, R.P., Areco, V.A. and Zygadlo, J.A. 2016. Terpenes: natural products for controlling insects of importance to human health-A structure-activity relationship study. **Psyche: A Journal of Entomology** 2016(ID 4595823): 1-17. <https://doi.org/10.1155/2016/4595823>.
- IBM Corp. 2017. **IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0**. Armonk, IBM Corp, NY.
- Kulpiyawat, T. 2003. **Mite pests of mushroom, Handout entitled "Insect-animal pests and their control". 12th training**, 24-28. March 2003, at His Majesty the Kings 6th Cycle Birthday Anniversary Building. Published documents, Division of Entomology and Zoology, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Koohakan, P., Pumnuan, J., Insung, A., Lorcharoen, N. and Boonplain, A. 2014. Effect of essential oils from black pepper (*Piper nigrum* Linn.), lemon grass (*Cymbopogon citratus* (Dc. ex Nees)) and citronella grass (*Cymbopogon nardus* Rendle.) against the growth of some mushroom cultures. **Khon Kaen Agriculture Journal** 42(1): 7-16. (in Thai)
- Mateen, A., Suresh, P.V.K. and Ahmed, P. 2011. Evaluation of antibacterial activity of *Cuscuta reflexa* and abutilon *Abutilon indicum*. **International Journal of Pharma and Bio Sciences** 2(4): 355-361.
- Patel, S., Sharma, V., Chauhan, N.S. and Dixit, V.K. 2012. An updated review on the parasitic herb of *Cuscuta reflexa* Roxb. **Journal of Chinese Integrative Medicine** 10(3): 249-255.
- Perveen, S., Bukhari, I.H., Ain, Q.U., Kousar, S. and Rehman, J. 2013. Antimicrobial, antioxidant and minerals evaluation of *Cuscuta europea* and *Cuscuta reflexa* collected from difference hosts and exploring their role as functional attribute. **International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences** 3(5): 43-49.
- Pumnuan, J., Chandrapatya, A. and Insung, A. 2010. Acaricidal activities of plant essential oils from three plants on the mushroom mite, *Luciaphorus perniciosus* Rack (Acari: Pygmephoridae). **Pakistan Journal of Zoology** 42(3): 247-252.

- Pumnuan, J., Insung, A. and Rongpol, P. 2009. Effectiveness of medical plant essential oils on pregnant female of *Luciaphorus perniciosus* Rack (Acari: Pygmephoridae). **Asian Journal of Food and Agro-Industry** 2(Special Issue): S410-S414.
- Saringkaphaibu, C., Chiengkul, A. and Jaronnasri, W. 2000. **Mushroom mite**, p. 23-42. Handout entitled "Insect-animal pests and their control", 12th training, Division of Entomology and Zoology. Published documents, Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Sieniawska, E., Swatko-Ossor, M., Sawicki, R., Skalicka-Woźniak, K. and Ginalska, G. 2017. Natural terpenes influence the activity of antibiotics against isolated *Mycobacterium tuberculosis*. **Medical Principles and Practice** 26(2): 108-112. <https://doi.org/10.1159/000454680>.
- Sobanbou, S., Bussaman, P and Chandrapatya, A. 2009. The efficacy of *Xenorhabdus spp.* against mushroom mite (*Luciaphorus spp.*). **Journal of Science and Technology Mahasarakham University** 28(1): 1-7. (in Thai)
- Tanruean, K., Kaewnarin, K., Suwannarach, N. and Lumyong, S. 2017. Comparative evaluation of phytochemicals, and antidiabetic and antioxidant activities of *Cuscuta reflexa* grown on different hosts in northern Thailand. **Natural Product Communications** 12(1): 51-54.
- Tanruean, K., Poolprasert, P., Kumla, J., Suwannarach, N. and Lumyong, S. 2019a. Bioactive compounds content and their biological properties of acetone extract of *Cuscuta reflexa* Roxb. grown on various host plants. **Natural Product Research** 33(4): 544-547.
- Tanruean, K., Napiroon, T., Phusing, S., Torres, J. R.D., Villanueva, P.M. and Poolprasert, P. 2019b. Larvicidal effects of *Paederia pilifera* Hook.f. leaf and *Cuscuta reflexa* Roxb. stem extracts against the dengue vector mosquito *Aedes aegypti* Linn. **The Journal of Applied Science** 18(1): 31-38.
- Vijikumar, S., Ramanathan, K. and Devi, B.P. 2011. *Cuscuta reflexa* Roxb. A wonderful miracle plant in ethnomedicine. **Indian Journal of Natural Sciences** 11(9): 676-683.
- Yenjit, P. and Intana, W. 2016. Study on efficacy of *Bacillus* powder and its application to control black mold disease of grey oyster mushroom. **Agricultural Science Journal** 47(3): 405-406. (in Thai)

นวัตกรรมการร่วมเครื่องปฏิกรณ์กวนชีวภาพแบบฟลูอิดไคซ์เบด

ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

An Integrated Fluidized Bed Bioreactor (iFBBR) by Mathematical Models

รัฐพล สุขสมบุญ^{1*}, สุธาวัลย์ ตั้งจิตเจริญกิจ² และ ชัยยันต์ จันทศิริ³

Rattapol Suksomboon^{1*}, Sutawan Tangjitjaroenkit² and Chaian Junsiri³

Received: 20 April 2020, Revised: 22 June 2020, Accepted: 29 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการร่วมเครื่องปฏิกรณ์กวนชีวภาพแบบฟลูอิดไคซ์เบด (Integrated Fluidized Bed Bioreactor; iFBBR) ซึ่งระบบการทำงานนั้นจะทำงานร่วมกับบ่อเติมอากาศและถังทรายกรอง ในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้รับการพัฒนาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลเวียน (RPFR) และเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบกวนผสมไหลเวียน (RCSTR) การประเมินและทำนายประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียนั้นใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิดไคซ์เบดกับถ่านกัมมันต์แบบเม็ด (FBBR-GAC) และบ่อเติมอากาศ จากการศึกษาครั้งนี้ได้นำน้ำเสียชุมชนโดยใช้ค่า BOD ในการทดสอบกับแบบจำลอง RPFR และ RCSTR ที่พัฒนาขึ้นพบว่าอัตราการหมุนเวียนที่เหมาะสม (R) มีค่าเท่ากับ 936 และอัตราความเร็วที่เหมาะสมของเครื่องกวน (N_B) คือ 26 รอบต่อวินาที เกิดปฏิกิริยาแบบจำลองจลน์อันดับที่ 2 (k_{2nd}) ของเครื่องปฏิกรณ์ FBBR-GAC และบ่อเติมอากาศโดยมีค่า k_{2nd} ของ RPFR และ RCSTR เท่ากับ 1.543 และ 14 602 day⁻¹ จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัด BOD ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิดไคซ์เบดกับถ่านกัมมันต์แบบเม็ด (FBBR-GAC) และการร่วมเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิดไคซ์เบด (iFBBR) เพิ่มขึ้นจาก 83.64% เป็น 95.46% ใช้เวลาการหมุนเวียน (HReT) 0.0417 วัน ทั้งสองรุ่นมีความสำคัญต่อการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียในพื้นที่ชุมชนที่สร้างขึ้น

คำสำคัญ: เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบฟลูอิดไคซ์เบดกับถ่านกัมมันต์แบบเม็ดในอุดมคติ, การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ถังปฏิกรณ์แบบไหลเวียน, ถ่านกัมมันต์แบบเม็ด, น้ำเสีย

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Department of Management Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand.

² ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

² Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

³ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

³ Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

* Corresponding author, e-mail: rpol9@hotmail.com Tel: 08 9618 6944

ABSTRACT

This study aimed to develop integrated fluidized bed bioreactor (iFBBR). The oxidation pond and sand filter were added for more treatment efficiency of this system. The organics substance removal efficiency was developed by using mathematical models of a novel recirculation plug-flow reactor (RPFR) and recirculation completely-mixed stirred tank reactors (RCSTR). The evaluated and predicted of wastewater treatment performance was conducted by a fluidized bed bioreactor with granular activated carbon (FBBR-GAC) and oxidation pond. On-site domestic wastewater was used in this study. The developed RPFR and RCSTR model can precisely predict the effluent BOD of wastewater at the optimum rate of recirculation (R) 936, and optimum rate of the bed's stirrer speed (N_B) 26 rpm. The kinetic results showed that the rate of BOD removal of wastewater used with FBBR-GAC reactors and Oxidation pond followed 2nd order kinetic models, with k_2^{nd} , RPFR and RCSTR values of 1.543 and 14.602 day⁻¹ for treated sewage effluent, respectively. Additionally, it was found that the RPFR model and RCSTR model were more suitable for describing the behavior of the FBBR-GAC and oxidation pond system. The efficiency of BOD removal of FBBR-GAC was increased from 83.64% to 95.46% when compared with iFBBR. FBBR-GAC used the hydraulic recirculation time (HReT) of 0.0417 day. Both models are important to use for designing the waste water treatment system as constructed wetland.

Key words: integrated fluidized-bed bioreactor, development mathematical models, recirculation bioreactor, granular activated carbon (GAC), wastewater

INTRODUCTION

In the current years, as the community growth and industrialization have more and more increased consequential in resources and water crisis. Especially industrial department, agriculture and household, the water resource was use un appreciably used. These factors can cause wastewater and environmental damage (Suksomboon and Junsiri, 2018; Suksomboon *et al.*, 2019a; Suksomboon *et al.*, 2019b). The amount of wastewater has been influenced by water consumption. Thus, the wastewater treatment plant could support the organics loading in wastewater before release the treated water through public place but the high value of organics substance in wastewater such BOD and COD in wastewater cause the expensive treatment cost. Many sectors are concern about these issues.

In this study, the moving fluidized bed bioreactor with granular activated carbon (MFBBR-GAC) (Suksomboon and Junsiri, 2018; Suksomboon *et al.*, 2019b) was category in bioreactor type of fluidized bed reactor as previous study

(Fluidized bed bioreactor - Granular Activated Carbon, FBBR- GAC) (Patel *et al.*, 2006; Lohi *et al.*, 2008; Xing *et al.*, 2010; Suksomboon *et al.*, 2019b). The integrated fluidized bed bioreactor (iFBBR) plays a row model in side of remove the high organic substances by using the speed of stirrer bed (N_B) and recirculation ratio as the condition (Suksomboon and Junsiri, 2018; Suksomboon *et al.*, 2019a; Suksomboon *et al.*, 2019b). It was reported that many supporting media have been used in FBBR such as granular activated carbon (GAC), sand, perlite, zeolite, lava rocks with considerably successful application (Yu and Luo, 2002; Fernandez *et al.*, 2007). With the combined adsorptionbiodegradation process using a fluidized bed bioreactor, an FBBR-GAC system offers high performance with a small footprint. It was found that GAC had a specific biofilm surface area approximately 1,600-2,000 m²/m³ (Qasim *et al.*, 2000; Suksomboon *et al.*, 2019a) leading to high growth rate of microorganisms on the biofilm surface and in internal pores, and high tolerance of

organic loads during adsorption-biodegradation.

In this research study, the development of fluidized bed bioreactor granular activated carbon bioreactor (FBBR-GAC) to become the integrated fluidized bed bioreactor (IFBBR) for use in preliminary treatment processes (PTSE). The FBBR-GAC reactor consists of highly acrylic cylindrical, which inside has the wheel fixed system design from 24 nozzles to 8 nozzles for optimum rate of recirculation (R) and optimum rate of the bed's stirrer speed (N_B) as period study (Suksomboon and Junsiri, 2018; Suksomboon *et al.*, 2019a; Suksomboon *et al.*, 2019b).

The development of recirculation plug flow reactors (RPFR) and recirculation completely-mixed stirred tank reactors were used to predict the removal efficiency of organics substance (RCSTR) (Benefield, 1980; Tchobanoglous and Schroeder, 1985; Suksomboon *et al.*, 2019b). In a iFBBR-GAC, fluid flow has two components, a rising flow and a rotational flow. Effectively, the fluid flows in an upward spiral (Suksomboon and Junsiri, 2018). Since the FBBR-GAC reactor is a cylindrical acrylic tank containing GAC that uses a high degree of recirculation, hydraulic recirculation time (HReT) is very important design criteria for this system (Saravanane and Murthy, 2000; Suksomboon and Junsiri, 2018; Suksomboon *et al.*, 2019a; Suksomboon *et al.*, 2019b). Thus the aeration pond (Oxidation ponds) in which wastewater is exposed to the air as much as possible in order to increase the growth of bacteria after the primary treatment process (PTSE). Filter clear water through a filtered sand tank (Yu and Luo, 2002; Fernandez *et al.*, 2007).

This research focuses on developing mathematical model's reaction as the First order ($n = 1$) and second order ($n = 2$) of

the reactor FBBR-GAC and pond aeration (Oxidation. Pond), over-current the hydraulic retention time (HReT) and the concentration are minimal, but no less than (background concentration: C^*) for the reaction rate constant (k) to monitor precision and compare the efficiency of wastewater treatment reactor. FBBR-GAC with iFBBR.

MATERIALS AND METHOD

1. Developing mathematical models

The fluidized bed bioreactor-granular activated carbon (FBBR-GAC) was developed from the fluidized bed bioreactor (FBBR) concept. However, its operation combines the processes of a plug flow reactor (PFR) and a completely mixed stirred tank reactor (CSTR), which are classified as ideal reactors. Therefore, this study employed mathematical models of these two ideal reactors (Suksomboon *et al.*, 2019b) to develop two new mathematical models for predicting the performance of a FBBR and then determining which model is the most suitable.

From the studied found that the hydraulic retention time (HRT) is the important factor to design the reactor. However, the hydraulic retention time value is difficult to calculate. Therefore, this study was using the area of reactor (A_r), the height of water and the hydraulic recirculation time (HReT) instead. Moreover, the background concentration (C^*) was used (Kadlec, 2009). To complete mathematical model for the constant changes reaction rate constant (k) to check the accuracy of reactor two ideal types (Reynolds, 1982).

1.1 Development Recirculation plug-flow reactor (RPFR)

When the recirculation plug-flow reactor: RPFR is operating in steady state.

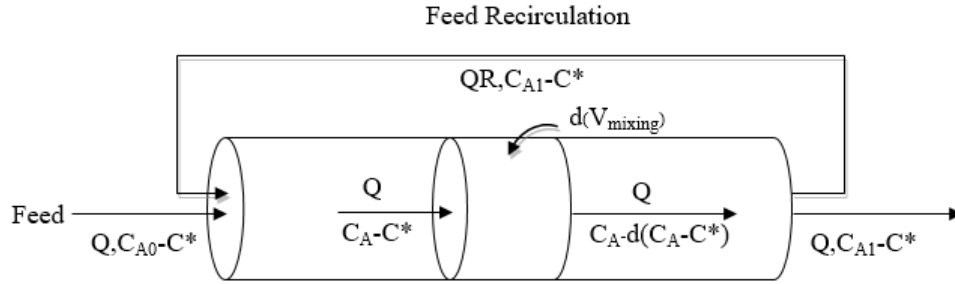


Figure 1 Recirculation plug-flow reactor (RPFR)

Figure 1 shows the thermodynamic principle of the conservation of mass. From such a principle can create the

continuity equation for each component of the substance to study the changes within Control volume as shown in Eq. (1).

$$[\text{Input}] = [\text{Output}] + [\text{Decrease due to recirculation reaction}] \quad (1)$$

The development of ideal plug-flow reactor (PFR) to be recirculation plug flow reactor (RPFR) such a piston pattern as shown in Figure 1.

Due to the inlet is $Q+QR$ which give the influent equal to $C_{A0}-C^*$ and effluent equal to $C_{A1}-C^*$ (Kadlec, 2009; Suksomboon *et al.*, 2019b). Therefore, the mass of component A travel in perpendicular with flow direction from the

start and the concentration was evenly decreased during the time flows. The component A is becoming to V_{mixing} as show in the pattern of partial differential equation. Which can indicate the fluctuating of the concentration per the area of reactor (A_r), The hieght of water (h), and the hydraulic recirculation time (HReT) as the equation below.

Considering as a first order ($n=1$).

$$(Q + QR)(C_A - C^*) = (Q + QR)((C_A - C^*) - d(C_A - C^*) + r_A d(V_{mixing})). \quad (2)$$

Given $r_A = -k_1 st_{RPFR}(C_A - C^*)$, Arrearage for integrating results in

$$(Q + QR)d(C_A - C^*) = -k_1 st_{RPFR}(C_A - C^*)d(V_{mixing}), \quad (3)$$

integration yields

$$\int_{C_{A0}}^{C_{A1}} \frac{d(C_A - C^*)}{(C_A - C^*)} = \frac{-k_1 st_{RPFR}}{(Q + QR)} \int_0^{V_{mixing}} d(V_{mixing}). \quad (4)$$

$$\ln\left(\frac{(C_{A1} - C^*)}{(C_{A0} - C^*)}\right) = -k_1 st_{RPFR} \frac{V_{mixing}}{(Q + QR)}. \quad (5)$$

$V_{mixing} = Qt_{PFR} + Qt_{Re}$ is Volume of mixing

$$\ln\left(\frac{(C_{A1} - C^*)}{(C_{A0} - C^*)}\right) = -k_1 st_{RPFR} \frac{(Qt_{PFR} + Qt_{Re})}{(Q + QR)}. \quad (6)$$

From which

$$\ln\left(\frac{(C_{A1} - C^*)}{(C_{A0} - C^*)}\right) = -k_1 st_{RPFR} \frac{(t_{PFR} + Rt_{Re})}{(1 + R)}. \quad (7)$$

Given $t_{PFR} = \frac{(1-f)Ah}{Q_{in}}$; f= specific gravity of media, A= area of Reactor, and h= height of Water

$$k_1 st_{RPFR} = - \frac{\ln \left(\frac{C_{A1} - C^*}{C_{A0} - C^*} \right)}{\left(\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + Rt_{Re} \right) (1+R)}, \quad (8)$$

from which

$$C_{A1} = C^* + (C_{A0} - C^*) e^{-k_1 st_{RPFR} \frac{\left(\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + Rt_{Re} \right)}{(1+R)}}. \quad (9)$$

Considering as the second order (n=2)

$$(Q + QR)d(C_A - C^*) = r_A d(V_{mixing}), \quad (10)$$

Given $r_A = -k_2 nd_{RPFR} (C_A - C^*)^2$, Rearrange for integrating results in

$$(Q + QR)d(C_A - C^*) = -k_2 nd_{RPFR} (C_A - C^*)^2 d(V_{mixing}), \quad (11)$$

integrate

$$\int_{C_{A0}-C^*}^{C_{A1}-C^*} \frac{d(C_A - C^*)}{(C_A - C^*)^2} = \frac{-k_2 nd_{RPFR}}{Q + QR} \int_0^{V_{mixing}} d(V_{mixing}), \quad (12)$$

$$\frac{1}{C_{A0} - C^*} - \frac{1}{C_{A1} - C^*} = -k_2 nd_{RPFR} \left(\frac{V_{mixing}}{Q + QR} \right), \quad (13)$$

$V_{mixing} = Qt_{PFR} + Qt_{Re}$ is Volume of Mixing

$$\frac{1}{C_{A0} - C^*} - \frac{1}{C_{A1} - C^*} = -k_2 nd_{RPFR} \left(\frac{Qt_{PFR} + QRt_{Re}}{Q + QR} \right). \quad (14)$$

From which

$$\frac{1}{C_{A0} - C^*} - \frac{1}{C_{A1} - C^*} = -k_2 nd_{RPFR} \left(\frac{t_{PFR} + Rt_{Re}}{1 + R} \right), \quad (15)$$

Given $t_{PFR} = \frac{(1-f)Ah}{Q_{in}}$; f= specific gravity of media, A= area of Reactor, and h= height of Water

$$k_2 nd_{RPFR} = \frac{\left(\frac{1}{C_{A1} - C^*} - \frac{1}{C_{A0} - C^*} \right)}{\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + Rt_{Re} \over 1 + R}. \quad (16)$$

Therefore, the solution for the concentration of recirculation plug-flow reactor (RPFR) is given by

$$C_{A1} = C^* + \frac{(C_{A0} - C^*)}{\left(1 + (C_{A0} - C^*)k_2nd_{RPFR} \left(\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + Rt_{Re} \right) \frac{1}{1+R} \right)}. \quad (17)$$

1.2 Development Recirculation completely-mixed stirred tank reactor (RCSTR)

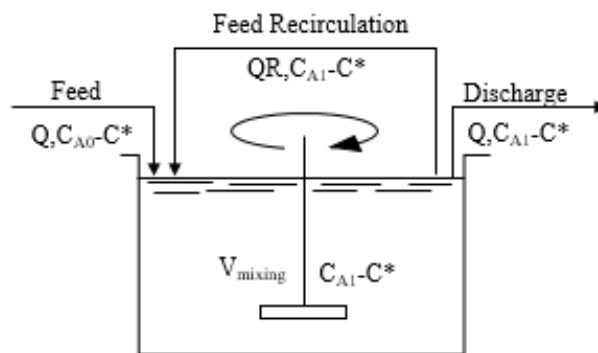


Figure 2 Recirculation completely-mixed stirred tank reactor (RCSTR)

This type of reaction has an integrated flow rate combined with the circulating flow rate ($Q + QR$). Constantly, with a constant rate of interaction occurring within the tank, the concentration of the flow into the tank is changed to a new concentration, which may be reduced (or increased). It depends on the reaction time within the tank from the principle of the water balance and the balance of the substance. The Wastewater treatment system of the water tank has the flow rate (Q) of the substance and the spinning flow rate (QR) of the existing original substances with the same existing processing as the same and equal ($Q +$

QR .) (Suksomboon *et al.*, 2019b) and (V_{mixing}) is the volume of reactor and providing concentration influent as $C_{A0}-C^*$. The concentration Effluent is $C_{A1}-C^*$ (Kadlec, 2009; Suksomboon *et al.*, 2019b) showing the changes in concentration per unit = The reactor area (area of Reactor, A_r), H = water level in the reactor (height of Water) and circulating time hydraulic (hydraulic recirculation time, $HReT$), since inside reactor, is equally concentrated at all points. Figure 2 the recirculation material balance for the processing of a time unit as the equation below:

Considering as the first order equation ($n=1$).

$$V_{mixing}d(C_{A1} - C^*) = (C_{A0} - C^*)(Q + QR)dt - r_A V_{mixing}dt - (C_{A1} - C^*)(Q + QR)dt, \quad (18)$$

Given $r_A = -k_1st_{RCSTR}(C_A - C^*)$, Arrearage for integrating results in

$$V_{mixing}d(C_{A1} - C^*) = (C_{A0} - C^*)(Q + QR)dt - k_1st_{RCSTR}V_{mixing}dt - (C_{A1} - C^*)(Q + QR)dt. \quad (19)$$

For steady state, $\frac{d(C_{A1} - C^*)}{dt} = 0$.

$$0 = (C_{A0} - C^*) - k_1 st_{RCSTR} (C_{A1} - C^*) \frac{V_{mixing}}{(Q + QR)} - (C_{A1} - C^*), \quad (20)$$

$V_{mixing} = Qt_{RCSTR} + Qt_{Re}$ is Volume of Mixing

$$0 = (C_{A0} - C^*) - k_1 st_{RCSTR} (C_{A1} - C^*) \frac{(Qt_{RCSTR} + QRt_{Re})}{(Q + QR)} - (C_{A1} - C^*), \quad (21)$$

from which

$$0 = (C_{A0} - C^*)dt - k_1 st_{RCSTR} (C_{A1} - C^*) \frac{(t_{RCSTR} + Rt_{Re})}{(1 + R)} - (C_{A1} - C^*), \quad (22)$$

Given $t_{CSTR} = \frac{(1-f)Ah}{Q_{in}}$; f= specific gravity of media, A= area of Reactor, and h= height of Water

$$k_1 st_{RCSTR} = \frac{\left(\frac{C_{A0} - C^*}{C_{A1} - C^*} - 1 \right)}{\left(\frac{\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + Rt_{Re}}{1 + R} \right)}, \quad (23)$$

Therefore, solving for the concentration of recirculation continuously stirred tank reactor (RCSTR) is given by:

$$C_{A1} = C^* + \frac{C_{A0} - C^*}{1 + k_1 st_{RCSTR} \frac{\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + Rt_{Re}}{1 + R}}. \quad (24)$$

Considering as the second order (n=2).

$$V_{mixing} d(C_{A1} - C^*) = (C_{A0} - C^*)(Q + QR)dt - r_A V_{mixing} dt - (C_{A1} - C^*)(Q + QR)dt. \quad (25)$$

Given $r_A = -k_2 nd_{RCSTR} (C_{A1} - C^*)^2$, Arrearage for integrating results in

$$V_{mixing} d(C_{A1} - C^*) = (C_{A0} - C^*)(Q + QR)dt - k_2 nd_{RCSTR} (C_{A1} - C^*)^2 V_{mixing} dt - (C_{A1} - C^*)(Q + QR)dt. \quad (26)$$

For steady state, $\frac{d(C_{A1} - C^*)}{dt} = 0$.

$$0 = (C_{A0} - C^*) - k_2 nd_{RCSTR} (C_{A1} - C^*)^2 \frac{V_{mixing}}{(Q + QR)} - (C_{A1} - C^*), \quad (27)$$

$V_{mixing} = Qt_{PFR} + Qt_{Re}$ is Volume of Mixing

$$0 = (C_{A0} - C^*) - k_2 nd_{RCSTR} (C_{A1} - C^*)^2 \frac{(Qt_{CSTR} + QRt_{Re})}{(Q + QR)} - (C_{A1} - C^*), \quad (28)$$

from which

$$0 = (C_{A0} - C^*) - k_2 n d_{RCSTR} (C_{A1} - C^*)^2 \frac{(t_{CSTR} + R t_{Re})}{(1 + R)} - (C_{A1} - C^*). \quad (29)$$

Given $t_{CSTR} = \frac{(1-f)Ah}{Q_{in}}$; f= specific gravity of media, A= area of Reactor, and h= height of Water

$$k_2 n d_{RCSTR} = \frac{\frac{(C_{A0} - C^*) - (C_{A1} - C^*)}{(C_{A1} - C^*)^2}}{\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + R t_{Re}} \cdot \frac{1}{1 + R}. \quad (30)$$

From which

$$(C_{A1} - C^*)^2 - \frac{(1+R)}{k_2 n d_{RCSTR} \left(\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + R t_{Re} \right)} (C_{A1} - C^*) = \frac{(1+R)}{k_2 n d_{RCSTR} \left(\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + R t_{Re} \right)} (C_{A0} - C^*) \quad (31)$$

Therefore, solving for the concentration of recirculation continuously stirred tank reactor (RCSTR) is given by:

$$C_{A1} = C^* + \sqrt{\left(C_{A0} - C^* \right) \frac{(1+R)}{k_2 n d_{RCSTR} \left(\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + R t_{Re} \right)} - \left(\frac{1+R}{2k_2 n d_{RCSTR} \left(\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + R t_{Re} \right)} \right)^2 - \left(\frac{1+R}{2k_2 n d_{RCSTR} \left(\frac{(1-f)Ah}{Q_{in}} + R t_{Re} \right)} \right)}. \quad (32)$$

where C_{A1} is the concentration Effluent (mg/L), C_{A0} is the concentration Inffluent (mg/L),

C^* is the background concentration (mg/L), Q_{in} is the inflow rate (m^3/day),

A is the area of Reactor (m^2),

h is the height of Water (m),

f is the specific gravity,

t_{Re} is the hydraulic recirculation time (day),

R is the rate of recirculation,

k_1 st_{RPFR} is the 1st order kinetic models RPFR (day^{-1}),

k_2 nd_{RPFR} is the 2nd order kinetic models RPFR (day^{-1}),

k_1 st_{RCSTR} is the 1st order kinetic models RCSTR (day^{-1}),

k_2 nd_{RCSTR} is the 2nd order kinetic models RCSTR (day^{-1}).

2. Kinetic experiments

2.1 Domestic wastewaters

This study is using the wastewater discharging from residences such as kitchen, toilet and from grease trap tank (package on site). These domestic wastewater revealed that the domestic wastewater was characterized by BOD only having concentrations in the range of 90-105 mg/L (Xing *et al.*, 2010). The pH values are generally between 6 and 9.

2.2 Experimental set-up of FBBR- GAC

Integrated fluidized bed bioreactor with granular activated carbon (iFBBR-GAC) was operated with ratio of 1 wide: 6.55 length and contain the granular activated carbon 4 kg. (dry weight) with an initial height of bed (h_0) about 0.55 m. The area of reactor (A_r) is $0.017 m^2$ and the height of water is 0.95 m. The reactor was design to has volume of 15.68 Litter. Note

that, the previous study uses 8 of fixed wheels (Suksomboon *et al.*, 2019b).

The reactor (iFBBR-GAC) was connected with Oxidation pond by using the recirculation ratio, R to control the operate system as demonstrate in Figure 3. Note that, the oxidation pond was constructed by using the polyester tank with volume of 20 L, the area of the reactor (A_r) of 0.096 m^2 and the height of water in polyester tank of 0.23 m. The treated water is reusable by using sand filter to improve such a post-treatment (Yu and Luo, 2002; Fernandez *et al.*, 2007) as shown in Figure 3.

The fluid flowed in an upward spiral direction toward a 15.68 L of wastewater/day. In oxidation pump and

nozzle jet water of wheel fixed as showing in Fig.1 were used for pump wastewater to the range of 11-15 Lpm with the specific gravity (f) equal to 0.61. Its cause the speed of stirrer speed of bed (N_B) equal to 19, 23, 26, 29 and 32 rpm, respectively (Suksomboon *et al.*, 2019b). This experiment collected the wastewater by hydraulic recirculation time (HReT) increased for 5 levels: 0, 10, 20, 30 and 60 min. The standard method was used to analyze the treated water (samples) and the mathematic model was used to find k value. For the FBBR-GAC is using equations 8 and 16. Intended for Oxidation pond is using equations 23 and 30 to fitting the mathematics model. These equations are achieved by using Microsoft excel.

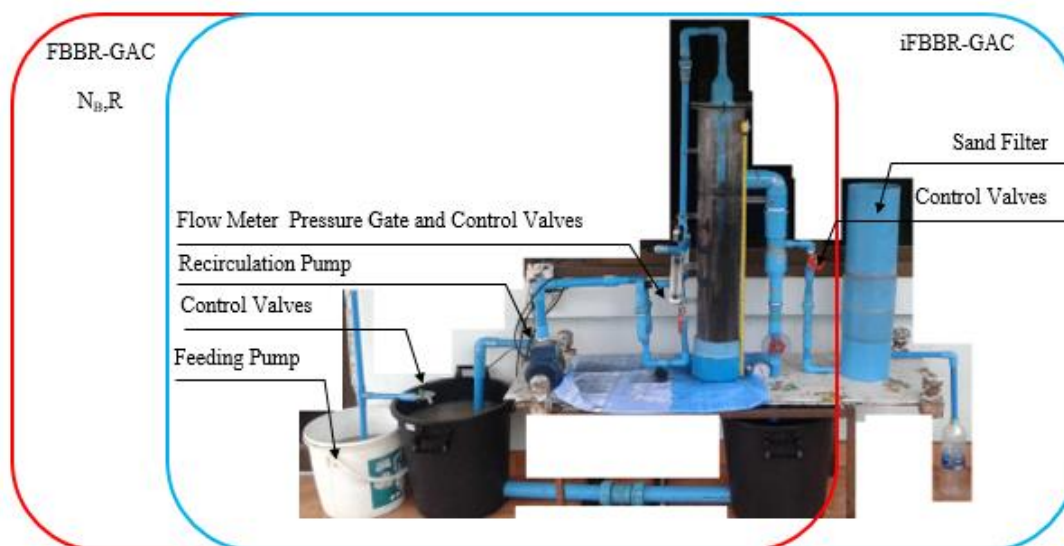


Figure 3 The integrate fluidized bed bioreactor–granular activated carbon (iFBBR-GAC)

RESULTS AND DISCUSSION

1. Calibration Kinetic studies of BOD removal using FBBR-GAC and Oxidation pond

The FBBR-GAC has the flow characteristics similar to recirculation plug-flow reactor (RPFR). Due to the flow rate of recirculation at $Q_{Re} = 13 \text{ L/min}$ and $Q_{in} = 20 \text{ L/d}$ (Suksomboon and Junsiri, 2018; Suksomboon *et al.*, 2019a; Suksomboon *et al.*, 2019b) with ratio of width to length of 1:6.55, resulting in the initial concentration of BOD in a plane per

pendicular to the flow is reduced along cylinder length. The oxidation pond has a flow characteristic nearly to recirculation completely-mixed stirred tank reactor (RCSTR) when combine with FBBR-GAC the BOD concentration in oxidation pond were decreased. So that it depending on hydraulic recirculation time of the reaction in oxidation pond (RCSTR) as shown in Table 1.

The develop mathematical models and identified which one among them is the most accurate. From Table 2, R values indicate that the calibration kinetics of

BOD reduction followed a pseudo 1st order and 2nd order reaction, as demonstrated in

Figure 4.

Table 1 The quality of wastewater at different recirculation ratio (R) and Hydraulic recirculation time, (HReT) in terms of organic loading rate

WW	Q _R	R	N _B	BOD _{in}	BOD _{out} of FBBR-GAC and Oxidation Pond (mg/L)				BOD _{out} of iFBBR (mg/L)
	(L/m)		(rpm)	(mg/L)	Hydraulic recirculation time, (HReT) of FBBR GAC and Oxidation Pond (min)				
					10	20	30	60	
Domestic	11	792	19	104	53.47	39.62	35.18	24.66	13.64
	12	864	23	109	52.59	37.62	32.96	21.79	8.69
	13	936	26	110	50.35	35.9	31.3	18.0	5.00
				± 5.31	± 1.08	± 1.53	± 1.47	± 2.12	
	14	1008	29	105	51.58	36.61	32.13	21.48	8.10
	15	1080	32	95	52.75	35.17	31.12	21.75	12.35
	11	792	19	104	53.47	39.62	35.18	24.66	13.64

BOD* = 5 mg/L (Kadlec, 2009)

Table 2 Calibration Kinetics models fitting 1st and 2nd order

Reactor	Try	Models	Rate constant, k (day ⁻¹)	R ²
FBBR-GAC	RPFR	1 st order	27.353	0.966
	RPFR	2 nd order	1.543	0.983
Oxidation Pond	RCMFR	1 st order	132.087	0.933
	RCMFR	2 nd order	14.602	0.996

* FBBR-GAC and Oxidation Pond For the data of HReT=0.0417 day and recirculation ratio, R = 936 that give the highest BOD removal efficiency

*R² = Explained variation

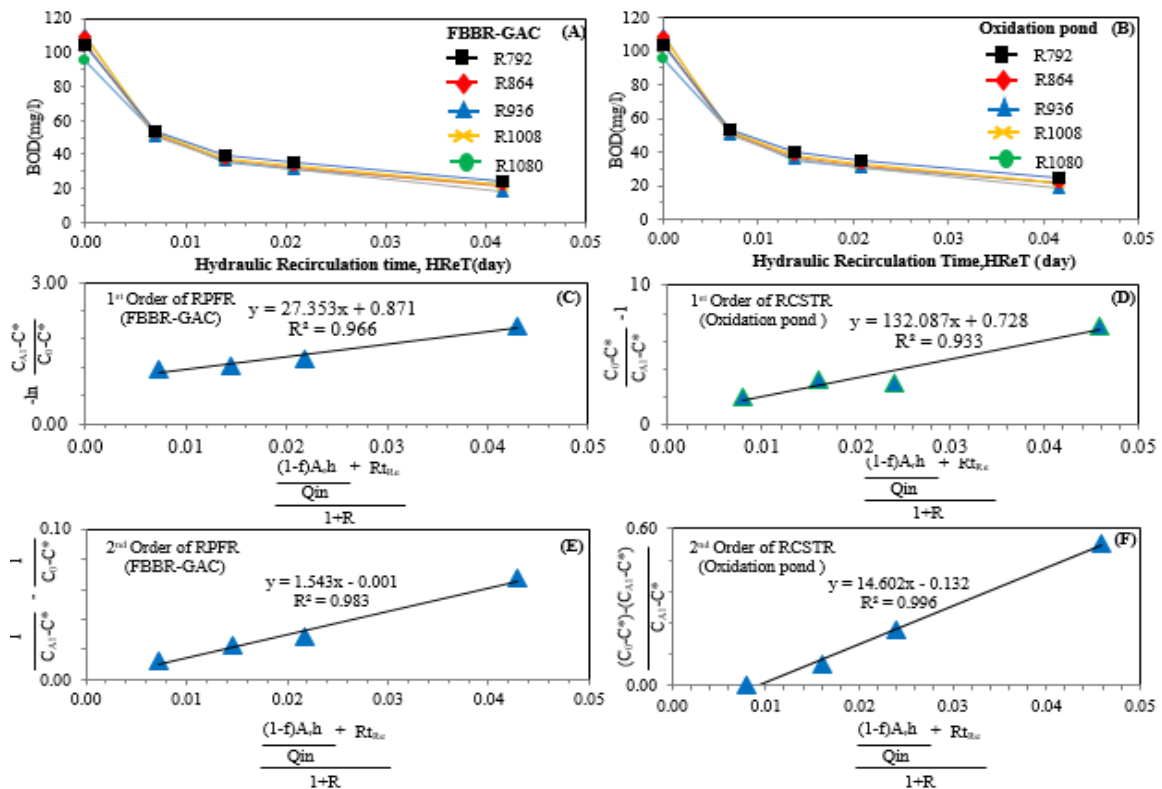


Figure 4 Prediction of Calibration kinetic reactions using 1st, 2nd order models, (C)(E) kinetic study of BOD reduction from FBBR-GAC, (D)(F) kinetic study of BOD reduction from Oxidation Pond

2. Reactor modelling of FBBR- GAC and Oxidation pond

Respect to the objectives, the optimum recirculation (R) and kinetic rate coefficient rate, (k) were used to determine the performance of FBBR- GAC and Oxidation pond are BOD removal efficiency in order to identify which model is the most accurate to the result from actual treated wastewater by using equations 9 and 17 of RPFR and equations 24 and 32 of RCSTR for calibration

This present study used MS Excel for mathematical simulation of the RPFR and RCSTR models derived in Section 1 (Suksomboon *et al.*, 2019b). Figure 5 illustrate the predicted behavior of the FBBR-GAC and Oxidation pond reactors are the second order reaction (refer to the R^2 value), which indicate that the performance of system depending on initial concentration of substance. Figure 6 shows the flow charts of calculation process using mathematical models.

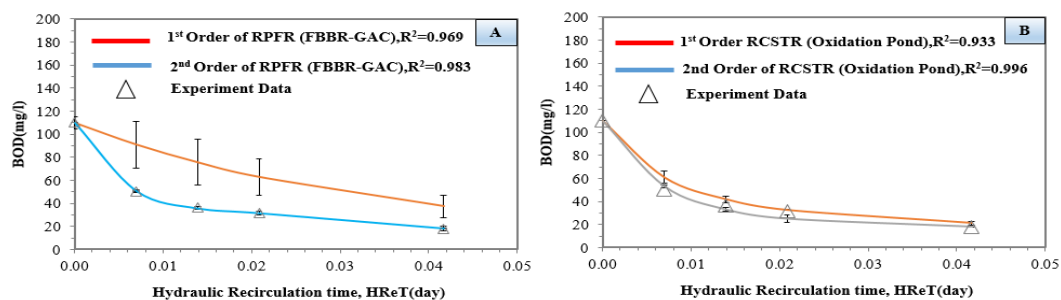


Figure 5 Model simulation of RPFR and RCSTR between FBBR- GAC and Oxidation pond (HReT=0.0417 day and R=936)

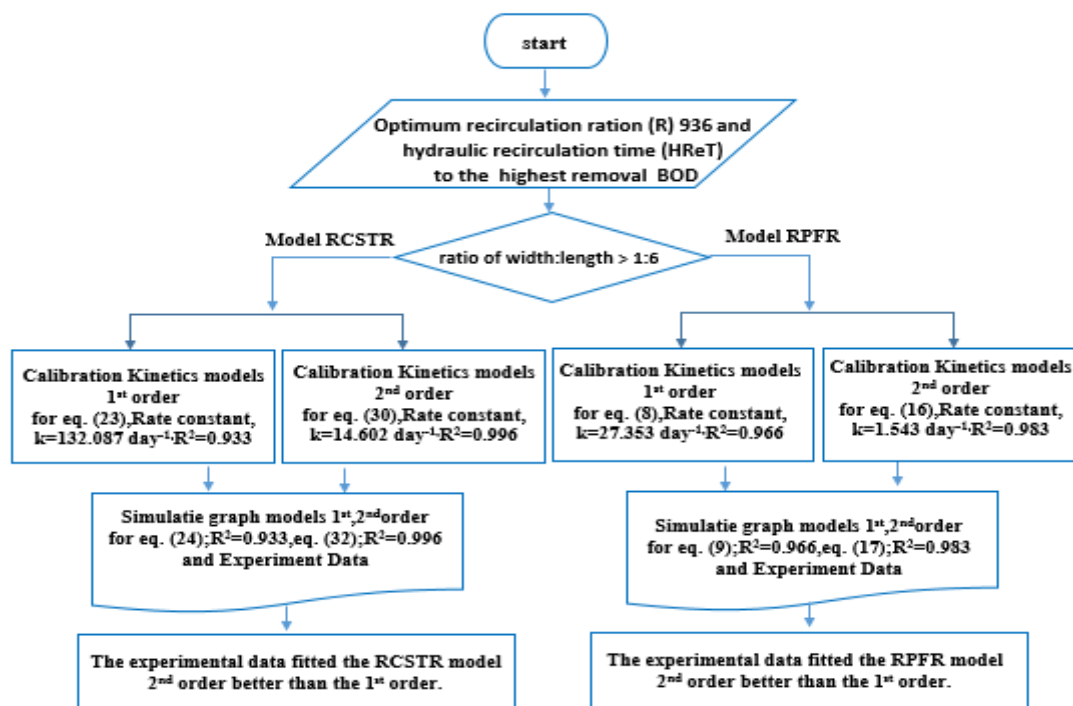


Figure 6 Flow charts of calculation processes using mathematical models

3. Effect of optimum recirculation ration (R) to the BOD removal efficiency

Table 1 illustrates the quality of water after treatment in a FBBR-GAC reactor over time in terms of its organic loading rate. Both models, RPFR and RCSTR, were used to predict the BOD in the effluent using the fitted kinetic rate constants (k). It was shown that optimum recirculation ratio (R) was 936 and

optimum rate stirrer speed (N_B) was 26 rpm, resulting in the highest adsorption-biodegradation capacity in a FBBR-GAC process in terms of biological oxygen demand (BOD) removal efficiency is increase from 83.64% to 95.46%. Bioreactor treatment efficiency depended on the hydraulic recirculation time (HReT), 0.0417 days as shown in Figure 7.

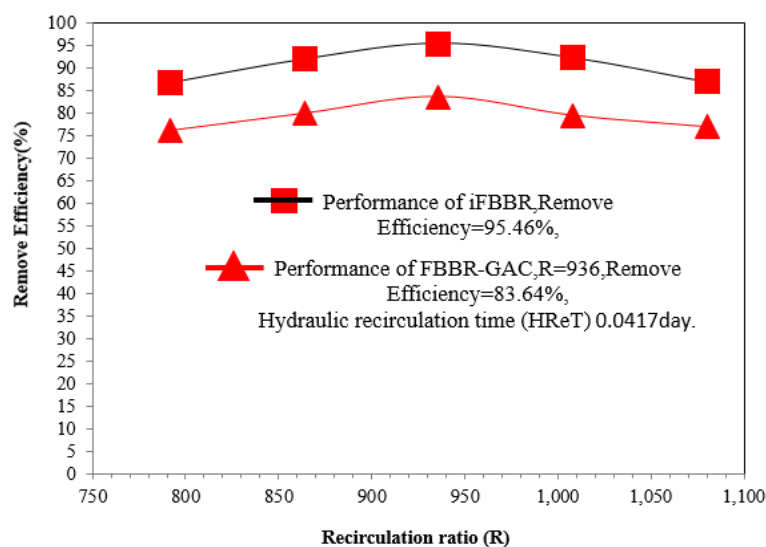


Figure 7 Relationship between removal efficiency vs. recirculation ratio (R)

CONCLUSION

From the experiment data, it was found that the suitable ratio for operate the reactor is using the stirrer speed of bed: N_B is approximately 26 rpm and using the recirculation ratio, R) of 936. The reaction kinetics for Fluidized bed biofilm reactors and Oxidation pond to BOD removal using treated sewage effluent followed the 2nd order kinetic models, with kinetic rate constants (k) of 1.543 and 14.602 day⁻¹, for the RPFR and RCSTR, respectively. Optimal recirculation RPFR and RCSTR for first and second order were successfully derived and validated with experimental data for treated sewage effluent. These models were developed to evaluate the kinetics of adsorption-biodegradation of bio oxygen demand (BOD) onto a granular activated carbon during a treatment process. The results of the study presented that these RPFR and RCSTR models can predict the BOD effluent precisely and found that the BOD removal efficiency was increase from 83.64% to 95.46% with using the hydraulic recirculation time of 0.0417 day.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was financially supported by the agricultural machinery and postharvest technology center, Khon Kaen University. The authors thank the ministry of rajabhat mahasarakham university for the financial support of the Research Program.

REFERENCES

- Benefield, C.W. 1980. **Randall. Biological process design for wastewater treatment**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey.
- Fernandez, N., Montalvo, S., Guerrero, L., Sanchez, E., Cortes, I. and Travieso, L. 2007. Anaerobic fluidized bed reactor application to tropical fruit wine effluent. **Water Science and Technology** 56: 33-38.
- Kadlec, R.H. 2009. Comparison of free water and horizontal subsurface treatment wetlands. **Ecological Engineering** 35: 159-174.
- Lohi, A., Cuenca, M.A., Anania, G., Upreti, S.R. and Wan, L. 2008. Biodegradation of diesel fuel-contaminated wastewater using a three-phase fluidized bed reactor. **Journal of Hazardous Materials** 154(1-3): 105-111.
- Patel, A., Zhu, J. and Nakahla, G. 2006. Simultaneous carbon, nitrogen and phosphorous removal from municipal wastewater in a circulating fluidized bed bioreactor. **Chemosphere** 65: 1103-1112.
- Qasim, S.R., Motley, E.M. and Zhu, G. 2000. **Water Works Engineering: Planning, Design and Operation**. Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey.
- Reynolds, T.D. 1982. **Solutions Manual for Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, Calif.
- Saravanane, R. and Murthy, D.V.S. 2000. Application of anaerobic fluidized bed reactors in wastewater treatment: A review. **Environmental Management and Health** 11: 97-117.
- Suksomboon, R. and Junsiri, C. 2018. The performance of moving fluidized bed bioreactor-granular activated carbon, MFBBR- GAC. **Prawarun Agriculture Journal** 15(1): 238-247. (in Thai)
- Suksomboon, R., Junsiri, C., Saikaew, W. and Kanyakam, S. 2019a. Mathematical Modeling of Moving Fluidized Bed Bioreactor - Granular Activated Carbon, MFBBR- GAC Domestic Wastewater Treatment for Agricultural Use. **Prawarun Agriculture Journal** 16: 259-269. (in Thai)
- Suksomboon, R., Junsiri, C., Tangjitjaroenkit, S., Moselhy, M. and Padungthon, P. 2019b. Mathematical models of a fluidized bed bioreactor using granular activated carbon (FBBR-GAC) for wastewater treatment.

- Engineering and Applied Science Research** 46(3): 183-191.
- Tchobanoglous, G. and Schroeder, E.D. 1985. **Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification.** Addison-Wesley, Boston.
- Xing, W., Ngo, H., Guo, W., Yang, N. 2010. Enhancement of the performance of anaerobic fluidized bed bioreactors (AFBBRs) by a new starch-based flocculant. **Separation and Purification Technology** 72(2): 140-146.
- Yu, P. and Luo, Y. 2002. Noval water treatment process-combined cationic ionexchange bed and degasifier in a three-phase fluidized bed. **Desalination** 151: 145-152.

ผลของอายุผลต่อคุณภาพการเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอม

Effect of Fruit Age on Harvesting Quality of Aromatic Coconut

ศุदनัย เครือห์ลี* กฤษณพงษ์ สุขกาย วุฒิสักดิ์ รัตนสุภา และ ธรรมศักดิ์ พุทธกาล

Sudanai Krualee*, Kritsanapong sukkai, Wuttisak Rattanasupha and Thammasak Puttakan

Received: 6 May 2020, Revised: 24 July 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

มะพร้าวน้ำหอมเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย แม้ว่าคุณภาพของผลมะพร้าวจะขึ้นอยู่กับ การดูแลรักษา แต่การเก็บเกี่ยวผลผลิตในระยะที่เหมาะสมก็เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพผลผลิตมะพร้าว น้ำหอมเช่นกัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของอายุผลที่มีต่อคุณภาพการเก็บเกี่ยวมะพร้าว น้ำหอม ในการทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วยสิ่งทดลอง 7 สิ่งทดลอง ได้แก่ ผลมะพร้าว น้ำหอมอายุ 22 24 26 28 30 32 และ 34 สัปดาห์ แต่ละสิ่งทดลองบันทึกข้อมูลจากผลมะพร้าว น้ำหอม จำนวน 5 ผล (ซ้ำ) ได้แก่ น้ำหนักเนื้อมะพร้าว น้ำหนักน้ำมะพร้าว ความหนาเนื้อรอบตาผล และความหนาเนื้อด้านตรงข้ามตาผล ระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ (TSS) และค่าความเป็นกรดต่าง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อายุของผลมะพร้าว น้ำหอมมีอิทธิพลต่อการพัฒนาผลคือ น้ำหนักเนื้อมะพร้าว ความหนาเนื้อรอบตาผล และความหนาเนื้อด้านตรงข้ามตาผล ประกอบกับคุณภาพผลมะพร้าว ได้แก่ ระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ และค่าความเป็นกรดต่าง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลมะพร้าวในช่วงอายุ 28 - 30 สัปดาห์ เป็นช่วงอายุที่เหมาะสมที่สุด เพราะมีระดับชั้นเนื้อสองชั้น และมีความหวานสูงสุด ซึ่งเป็นคุณลักษณะบริโภคที่พึงประสงค์ ส่วนผลมะพร้าวที่มีอายุมากกว่า 30 สัปดาห์ จะมีระดับชั้นเนื้อมะพร้าวสองชั้นครึ่ง และมีความหวานลดลง ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

คำสำคัญ: อายุผล, คุณภาพการเก็บเกี่ยว, ผลมะพร้าว น้ำหอม

สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thangyai, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sudanai_nang@yahoo.co.th

ABSTRACT

Aromatic coconuts are the principal economic crops of Thailand. Although the quality of the aromatic coconut fruit depends on maintenance, the appropriate harvesting period is also an important factor for the quality of the aromatic coconut fruit. This research was conducted to explore the different fruit age on harvesting quality of aromatic coconuts. The completely randomized design (CRD) consisting of 7 treatments was applied with aromatic coconuts harvested at the 22, 24, 26, 28, 30, 32 and 34 weeks of age. Data of each treatment collected from 5 coconut trees were coconut meat weight, coconut juice weight, coconut meat around pore, coconut meat opposite pore, number of coconut meat layer, total soluble solids (TSS), and potential of hydrogen (pH). The results showed that coconut fruit age had a significant effect on coconut meat weight, coconut meat around pore, coconut meat opposite pore, number of coconut meat layer, total soluble solids, and potential of hydrogen. The coconut fruits at the age of 28 - 30 weeks were the most suitable duration for consumption because they had 2 coconut meat layers and high total soluble solids with desirable characteristics, whereas the coconut fruits at the age of more than 30 weeks having 2.5 coconut meat layers with a decrease in total soluble solids were not wanted by consumers.

Key words: fruit age, harvesting quality, aromatic coconut fruit

บทนำ

มะพร้าว น้ำหอม (*Cocos nucifera* L.) เป็นมะพร้าวต้นเตี้ย (Dwarf type) สีเขียว ที่เกิดจากการกลายพันธุ์ของมะพร้าวหมูสีเขียว พบครั้งแรกที่อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม มะพร้าว น้ำหอมมีลักษณะประจำพันธุ์ คือ ลำต้นขนาดเล็กไม่มีสะโพกทางใบและใบย่อยสั้น มีอายุตกจั่นเร็ว (Tritayanon *et al.*, n.d.) สำหรับความหอมของมะพร้าวเกิดจากสาร 2-acetyl-1-pyrroline หรือเรียกว่า 2AP ซึ่งพบในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวหอมมะลิ, เตยหอม, ดอกขมิ้นดเป็นต้น สารนี้พบในปลายราก ดอกตัวผู้ที่เริ่มบาน น้ำหวานจากช่อดอก เนื้อและน้ำของมะพร้าว (Luckakthinwong, 2015) จังหวัดที่ปลูกมะพร้าว น้ำหอมมาก ได้แก่ จังหวัดนครปฐม ราชบุรี สมุทรปราการ สมุทรสาคร ซึ่งใช้ระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ มีจำนวน 11 แปลง

เกษตรกรเข้าร่วม 401 ราย มีพื้นที่ 5,135 ไร่ (Anonymous, 2019) ในการผลิตมะพร้าว น้ำหอม มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ ได้แก่ ความหวาน ความเปรี้ยว ความหนาเนื้อมะพร้าว หลายปัจจัย เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การดูแลรักษา การจัดการปุ๋ย การจัดการน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามแม้เกษตรกรจะสามารถจัดการปัจจัยเหล่านี้ได้ดี แต่หากไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลมะพร้าวในระยะที่เหมาะสมก็ไม่สามารถทำให้มะพร้าว น้ำหอมมีคุณภาพดีขึ้น สำหรับเกณฑ์การเก็บเกี่ยวผลผลิตมะพร้าว น้ำหอม มักจะใช้ความชำนาญของผู้เก็บเกี่ยวเป็นหลัก โดยใช้การสังเกตจากลักษณะภายนอกของผล เช่น สีของระแงง (Panicle) หรือสีผล วิธีนี้อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจนส่งผลให้คุณภาพของผลมะพร้าว น้ำหอมในแต่ละลูกแตกต่างกัน กระทั่งต่อความเชื่อมั่นในสินค้า และราคาในที่สุด ดังนั้นการหา

เกณฑ์ในการประเมินความสุกแก่ของผลมะพร้าว น้ำหอมจึงมีความสำคัญต่อรักษาคุณภาพของผลมะพร้าวน้ำหอม

จากปัญหาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาอายุของผลมะพร้าวน้ำหอมที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพของผลผลิตมะพร้าวน้ำหอม อันจะส่งผลต่อการสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภคและสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

งานทดลองนี้ดำเนินการที่แปลงมะพร้าวน้ำหอม หลักสูตรพืชศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขต นครศรีธรรมราช พื้นที่ทุ่งใหญ่ ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช (8.346793, 99.418009) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยกำหนดให้อายุของผลมะพร้าวเป็นสิ่งที่ทดลอง (treatment) มีจำนวน 7 สิ่งทดลอง ประกอบด้วย สิ่งทดลองที่ 1 คือ อายุผลมะพร้าว 22 สัปดาห์ สิ่งทดลองที่ 2 คือ อายุผลมะพร้าว 24 สัปดาห์ สิ่งทดลองที่ 3 คือ อายุผลมะพร้าว 26 สัปดาห์ สิ่งทดลองที่ 4 คือ อายุผลมะพร้าว 28 สัปดาห์ สิ่งทดลองที่ 5 คือ อายุผลมะพร้าว 30 สัปดาห์ สิ่งทดลองที่ 6 คือ อายุผลมะพร้าว 32 สัปดาห์ สิ่งทดลองที่ 7 คือ อายุผลมะพร้าว 34 สัปดาห์

แต่ละสิ่งทดลองบันทึกผลจากทะลายเดียวกันของต้นมะพร้าวน้ำหอมแต่ละต้น จำนวน 5 ต้น (ซ้ำ) โดยเรียงลำดับผลมะพร้าวตามอายุผล โดยบันทึกการพัฒนาผลมะพร้าว ดังนี้ น้ำหนักเนื้อมะพร้าว น้ำหนักน้ำมะพร้าว ความหนาเนื้อรอบตา (ด้านข้าวผล) และความหนาเนื้อด้านตรงข้ามตาผล (ด้านก้นจیب) พร้อมกับการวิเคราะห์คุณภาพผล

มะพร้าวได้แก่ ระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ (TSS) ด้วย Hand Refractometer รายงานผลเป็นองศาบริกซ์ และค่าความเป็นกรดค่า (pH) ด้วยเครื่อง pH meter ลักษณะทางการเกษตรข้างต้นถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน หากสิ่งทดลองมีอิทธิพลทำให้ลักษณะการพัฒนาผลและคุณภาพของผลมะพร้าวแตกต่างกันทางสถิติ ให้นำสิ่งทดลองนั้นมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การพัฒนาของผลมะพร้าว

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า อายุของผลมะพร้าวมีอิทธิพลทำให้ผลมะพร้าวมีการพัฒนาแตกต่างกัน โดยน้ำหนักเนื้อมะพร้าว ความหนาเนื้อรอบตาผล และความหนาเนื้อด้านตรงข้ามตาผล มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยผลมะพร้าวที่อายุ 34 สัปดาห์ มีอิทธิพลทำให้น้ำหนักเนื้อมะพร้าว ความหนาเนื้อรอบตาผล และความหนาเนื้อด้านตรงข้ามตาผลมากที่สุด (236.26 กรัม 7.00 มิลลิเมตร และ 7.50 มิลลิเมตร ตามลำดับ) ส่วนน้ำหนักน้ำมะพร้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่ออายุของผลมะพร้าวต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลง เมื่ออายุของผลมะพร้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมะพร้าวถูกเปลี่ยนเป็นเนื้อมะพร้าว อย่างไรก็ตามผลมะพร้าวที่มีอายุ 22 สัปดาห์ มีน้ำหนักเนื้อมะพร้าว ความหนาเนื้อรอบตาผล และความหนาเนื้อด้านตรงข้ามตาผล น้อยที่สุด (15.05 กรัม 0.00 มิลลิเมตร และ 1.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ) แต่มีแนวโน้มให้น้ำหนักน้ำมะพร้าวมากที่สุด (501.32 กรัม) ดังตารางที่ 1

ผลมะพร้าวประกอบด้วยเปลือก 3 ชั้น คือ 1) เปลือกชั้นนอก (Exocarp) เป็นเส้นใยที่เหนียวและ

แข็ง เมื่อผลมะพร้าวยังอ่อนจะมีน้ำหนักน้ำมะพร้าวมากกว่าน้ำหนักเนื้อมะพร้าว 2) เปลือกชั้นกลาง (Mesocarp) เป็นเส้นใยที่อยู่ถัดจากเปลือกชั้นนอกและมีความหนาพอประมาณ 3) เปลือกชั้นใน (Endocarp) มีลักษณะเป็นเปลือกแข็ง หรือที่เรียกว่ากะลา ส่วนของเมล็ดประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำมะพร้าวและส่วนที่เป็นเนื้อมะพร้าว ทั้งสองส่วนคือ Endosperm ทำหน้าที่เป็นอาหารของต้นอ่อน (Embryo) เมื่อผลมะพร้าวอายุอ่อน Endosperm มีลักษณะเป็นของเหลว (น้ำมะพร้าว) (อายุผล 22 สัปดาห์) และจะพัฒนาเป็นเนื้อมะพร้าวเมื่อผลมีอายุมากขึ้น (อายุผล 34 สัปดาห์) ในการพัฒนาเนื้อมะพร้าวจะเริ่มพัฒนาจากด้านตรงข้ามตาผล (ด้านก้นจิบ) ก่อนบริเวณรอบตาผล (ด้านหัวผล) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลมะพร้าวอายุ 22 สัปดาห์ มีความหนาของเนื้อมะพร้าวด้านตรงข้ามตาผล 1.00 มิลลิเมตร ในขณะที่บริเวณรอบตาผล ไม่พบเนื้อมะพร้าว เนื้อมะพร้าวจะพัฒนาจนมีความหนา

ใกล้เคียงกันทั้งผลเมื่ออายุ 32 สัปดาห์ และพัฒนาต่อไปเรื่อยๆ จนน้ำมะพร้าวหมด สำหรับคุณสมบัติของน้ำและเนื้อมะพร้าวพบว่า น้ำมะพร้าวมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสมากกว่าน้ำตาลซูโครส ส่วนในเนื้อมะพร้าวมีปริมาณน้ำตาลซูโครสมากกว่าน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตส (Rompophak and Thongbor, 2008) ส่วนคุณสมบัติของเนื้อมะพร้าวบริเวณด้านตรงข้ามตาผล และบริเวณรอบตาผลมีความแตกต่างกัน โดยเนื้อมะพร้าวด้านตรงข้ามตาผลมักพบกรดไขมันอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 85 ชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมาก คือ lauric acid (C12:0), myristic acid (C14:0) และ palmitic acid (C16:0) ตามลำดับ ส่วนบริเวณรอบตาผลมักพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ชนิดที่พบมากที่สุด ได้แก่ oleic acid (C18:1 n9c) และ linoleic acid (C18:2 n6c) (Promdang *et al.*, 2013) ดังภาพที่ 1

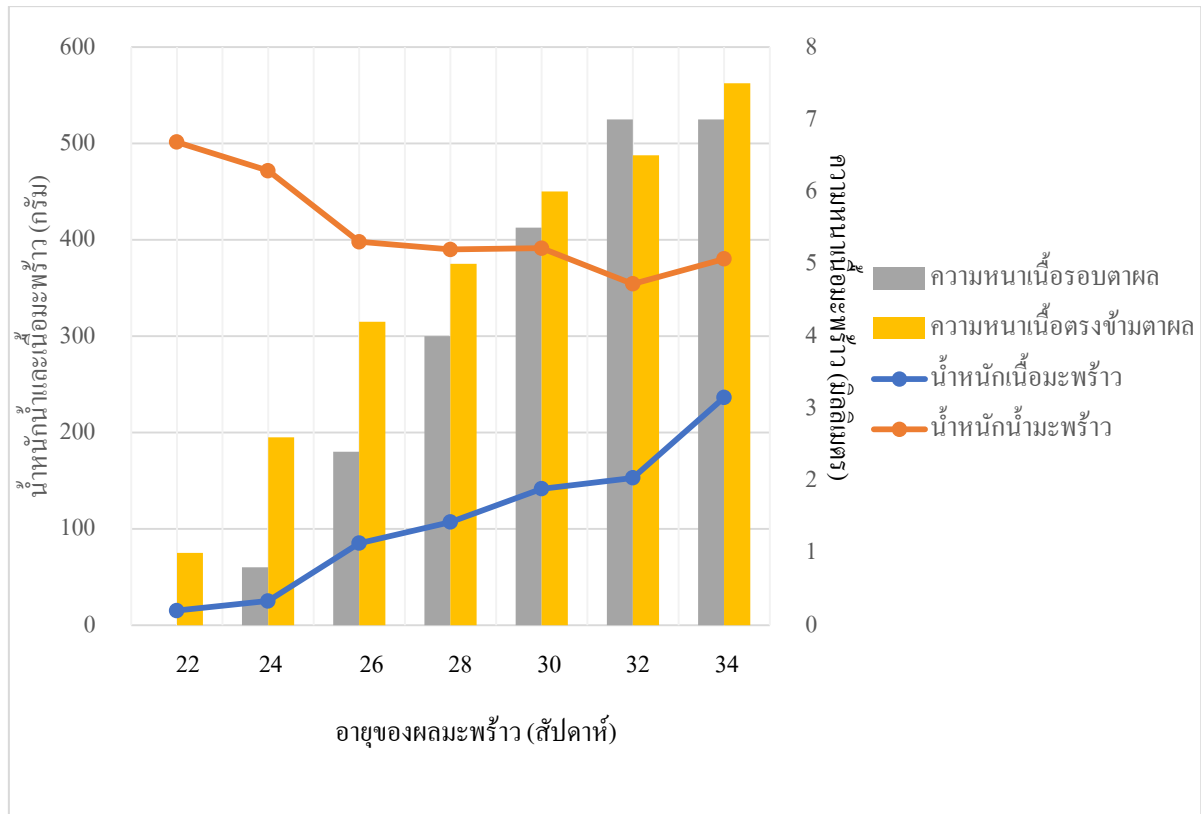
ตารางที่ 1 ผลของอายุผลต่อน้ำหนักเนื้อมะพร้าว น้ำหนักมะพร้าว ความหนาเนื้อรอบตาผล และความหนาเนื้อตรงข้ามตาผล

อายุผล มะพร้าว	น้ำหนักเนื้อมะพร้าว (กรัม)	น้ำหนักน้ำมะพร้าว (กรัม)	ความหนาเนื้อรอบตาผล (มิลลิเมตร)	ความหนาเนื้อตรงข้ามตา ผล (มิลลิเมตร)
22 สัปดาห์	15.05 e ^{/1}	501.32	0.00 e	1.00 e
24 สัปดาห์	25.11 e	471.57	0.80 de	2.60 d
26 สัปดาห์	84.99 d	397.91	2.40 cd	4.20 c
28 สัปดาห์	106.88 cd	389.89	4.00 bc	5.00 bc
30 สัปดาห์	141.56 bc	391.22	5.50 ab	6.00 ab
32 สัปดาห์	152.78 b	354.14	7.00 a	6.50 ab
34 สัปดาห์	263.26 a	380.14	7.00 a	7.50 a
F-test	**	ns	**	**
mean	89.44	422.74	3.07	4.14
CV	28.90	22.44	40.83	22.98

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

^{/1} ตัวอักษรในแนวสคมร์ต่างกันแสดงว่ามีความต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 1 น้ำหนักเนื้อกับน้ำมะพร้าวน้ำหอม และสัดส่วนของเนื้อค่อน้ำมะพร้าวน้ำหอมในช่วงอายุผลที่แตกต่างกัน

2. คุณภาพผลมะพร้าว

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ผลมะพร้าวน้ำหอมที่มีอายุต่างกันส่งผลให้ระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ และค่าความเป็นกรดต่าง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยผลมะพร้าวที่มีอายุ 34 สัปดาห์ มีระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว และค่าความเป็นกรดต่างสูงสุด (2.5 ชั้น และ 5.73 ชั้น ตามลำดับ) ส่วนผลมะพร้าวอายุ 22 สัปดาห์มีระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ และค่าความเป็นกรดต่างต่ำที่สุด (0.30 ชั้น, 5.56 องศาบริกซ์ และ 4.94 ตามลำดับ) ดังตารางที่ 2

คุณภาพของผลมะพร้าวน้ำหอมเพื่อการบริโภคผลสดจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะพร้าวมีอายุมากขึ้น ในขณะที่ผลมะพร้าวมีอายุน้อย (อายุ 22-24 สัปดาห์) มีระดับชั้นเนื้อประมาณ 0.5 ชั้น (ครึ่งชั้น) มีปริมาณ

ของแข็งที่ละลายอยู่ต่ำ (5.56-6.10 องศาบริกซ์) มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำ (4.94-5.00) แสดงให้เห็นว่าผลมะพร้าวอายุน้อยมีเนื้อมะพร้าวน้อย ส่วนน้ำมะพร้าวแม้จะมีมาก แต่รสชาติค่อนข้างเปรี้ยว เมื่อผลมะพร้าวมีอายุ (อายุ 28-30 สัปดาห์) เนื้อมะพร้าวมีการพัฒนาเป็นเนื้อประมาณ 2.0 ชั้น ซึ่งมีความนุ่ม เนื้อปานกลาง ความหวานมีค่าเพิ่มขึ้น (7.46-7.85 องศาบริกซ์) โดยผลมะพร้าวอายุ 30 สัปดาห์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ของน้ำมะพร้าวสูงที่สุด แต่ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับผลมะพร้าวอายุ 22-24 สัปดาห์ (5.03-5.04 องศาบริกซ์) แสดงให้เห็นว่าน้ำมะพร้าวมีความหวานเพิ่มขึ้น แต่ยังมีรสชาติเปรี้ยวแฝงอยู่สำหรับผลมะพร้าวที่มีอายุมากขึ้น (อายุ 32-34 สัปดาห์) เนื้อมะพร้าวมีการพัฒนาเป็นเนื้อประมาณ 2.5 ชั้น เนื้อมะพร้าวก่อนข้างแข็ง ปริมาณของแข็งที่

ละลายอยู่ของน้ำมะพร้าวลดลง (7.20-7.38 องศาบริกซ์) ในขณะที่ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (5.56 -5.73) แสดงให้เห็นว่าน้ำมะพร้าวมีรสหวานและรสเปรี้ยวลดลง ดังภาพที่ 2 และ 3 สอดคล้องกับ Jaroonchon *et al.* (2017)

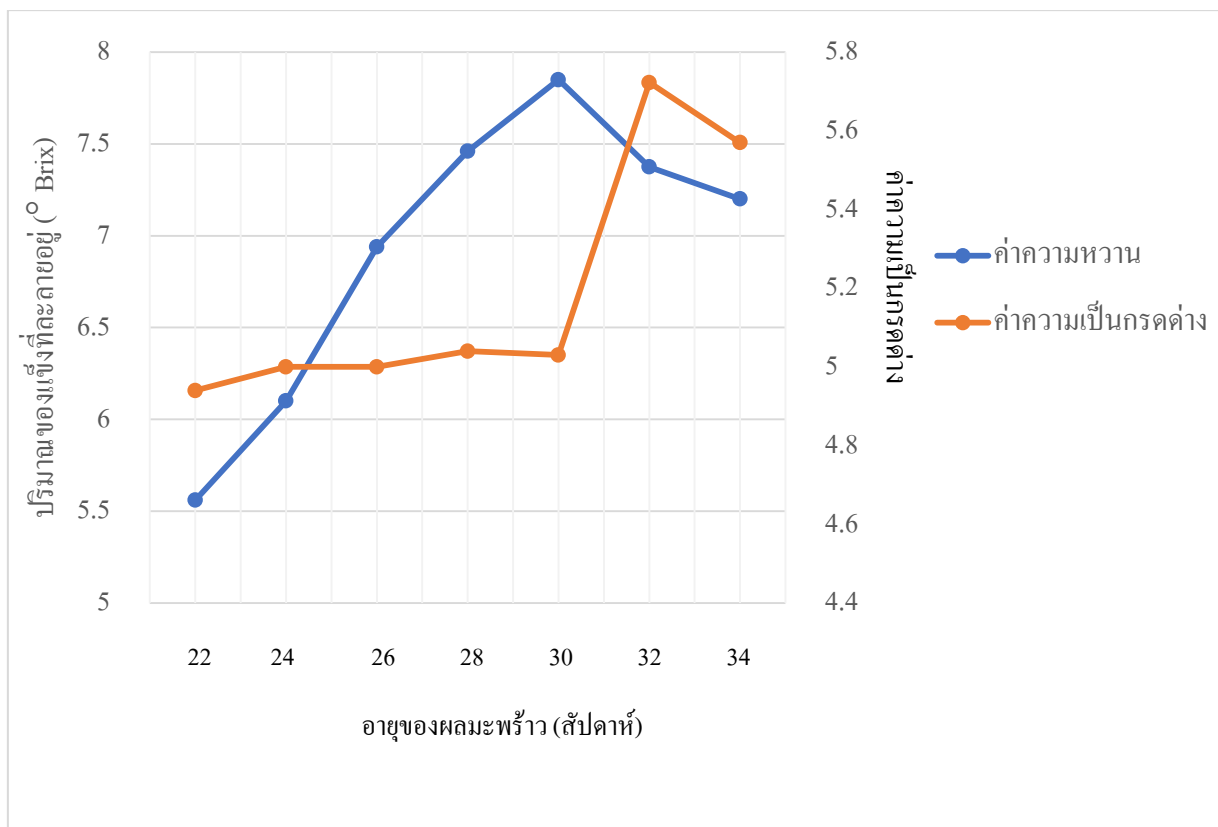
รายงานว่ ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ และค่าความเป็นกรดต่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะพร้าวมีอายุมากขึ้น โดยจะมีรสชาติเหมาะสมเมื่อผลมะพร้าวมีอายุประมาณ 7 เดือน

ตารางที่ 2 ผลของอายุผลต่อระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ และค่าความเป็นกรด - ต่าง

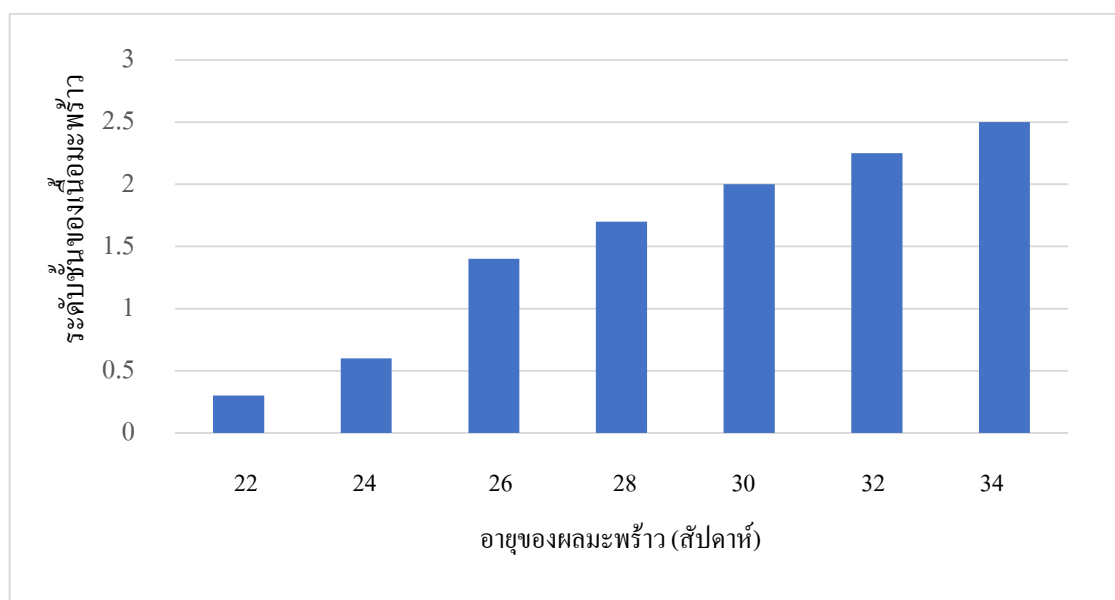
อายุผลมะพร้าว	ระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว	ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ (องศาบริกซ์)	ค่าความเป็นกรด ต่าง
22 สัปดาห์	0.30 d ¹	5.56 c	4.94 b
24 สัปดาห์	0.60 d	6.10 bc	5.00 b
26 สัปดาห์	1.40 c	6.94 ab	5.00 b
28 สัปดาห์	1.70 bc	7.46 a	5.04 b
30 สัปดาห์	2.00 ab	7.85 a	5.03 b
32 สัปดาห์	2.25 ab	7.38 a	5.56 a
34 สัปดาห์	2.50 a	7.20 a	5.73 a
F-test	**	**	**
mean	1.34	6.82	5.09
CV	26.38	7.75	2.41

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

¹ ตัวอักษรในแนวสคมกต่างกันแสดงว่ามีความต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่และค่าความเป็นกรดต่ำของน้ำมะพร้าวน้ำหอมที่อายุผลมะพร้าว (สัปดาห์) แตกต่างกัน



ภาพที่ 3 ระดับชั้นของเนื้อมะพร้าวน้ำหอมที่อายุผลมะพร้าว (สัปดาห์) แตกต่างกัน

จากการทดลองพบว่า ผลมะพร้าวน้ำหอม อายุระหว่าง 28 - 30 สัปดาห์ เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อ

การเก็บเกี่ยวเพื่อบริโภคผลสดมากที่สุด เนื่องจากเนื้อของผลมะพร้าวมีระดับชั้นเนื้อ 2 ชั้น ซึ่งมีลักษณะ

ของเนื้อทั้งผลก่อนข้างหนาและมีสีขาวนวล บริเวณส่วนใกล้ตาผลยังมีเนื้อที่มีลักษณะใสอยู่บ้างเล็กน้อย นุ่ม สามารถใช้ช้อนตักได้ (Anonymous, 2008) และมีปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ของน้ำมะพร้าวสูงสุด หากเลยช่วงอายุนี้ไปเนื้อมะพร้าวจะแข็งขึ้นและมีความหวานลดลงนอกจากนี้ ในช่วงอายุดังกล่าวยังพบสาร δ -hexalactone ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นวนิลาที่ให้

ค่าความหอมสูง แต่มีสาร 3-penten-2-ol ซึ่งเป็นกลิ่นเขียวคั่ว ดังนั้นผลมะพร้าวในช่วงอายุนี้มีจึงกลิ่นหอม (Jaroensak and Jirapakkul, 2013) สอดคล้องกับ Luckakthinwong (2015) รายงานว่า ผลมะพร้าวที่อายุ 7 เดือน เป็นช่วงที่เนื้อมีการพัฒนาเป็น 2 ชั้นเต็ม ซึ่งเป็นระยะที่มีคุณภาพการบริโภคสูงที่สุด ดังภาพที่ 4



ผลมะพร้าวอายุ 22 สัปดาห์



ผลมะพร้าวอายุ 24 สัปดาห์



ผลมะพร้าวอายุ 26 สัปดาห์



ผลมะพร้าวอายุ 28 สัปดาห์



ผลมะพร้าวอายุ 30 สัปดาห์



ผลมะพร้าวอายุ 32 สัปดาห์



ผลมะพร้าวอายุ 34 สัปดาห์

ภาพที่ 4 ลักษณะของชั้นเนื้อมะพร้าวน้ำหอมตามช่วงอายุต่างๆ

สรุป

อายุของผลมะพร้าวมีอิทธิพลต่อการพัฒนาผลได้แก่ น้ำหนักเนื้อมะพร้าว ความหนาเนื้อรอบตาผล และความหนาเนื้อด้านตรงข้ามตาผล พร้อมด้วยคุณภาพผลมะพร้าวได้แก่ ระดับชั้นของเนื้อมะพร้าว ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ (องศาบริกซ์) และค่าความเป็นกรดต่าง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลมะพร้าวในช่วงอายุ 28 - 30 สัปดาห์ เป็นช่วงอายุที่เหมาะสมที่สุด เพราะมีระดับชั้นเนื้อ 2 ชั้น และมีความหวานสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช พื้นที่ทุ่งใหญ่

เอกสารอ้างอิง

- Anonymous. 2008. **Good Agricultural Practices for Aromatic Coconut**. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- Anonymous. 2019. **Special report: The Large Agricultural Land Plot Program of Aromatic Coconut by Online Market Aim to International**. Naewna newspaper. Available Source: <https://www.naewna.com/local/421222>, April 29, 2020.
- Jaroensak, T. and Jirapakkul, W. 2013. Effect of Cultivar and Maturity Stage on Aroma Compound of Coconut Juice. **Agricultural Science Journal** 44(3): 197-200.
- Jaroonchon, N., Krisanapook, K. and Imsabai, W. 2017. The Development of 2 Acetyl-1-pyrroline (2-AP) in Thai Aromatic Coconut. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 39(2): 179-183.
- Luckakthinwong, W. 2015. **Research Report no Production of aromatic coconut fruit for all year**. Department of Agricultural Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University. (in Thai)
- Promdang, S., Tadakittisarn, S. and Romphophak, T. 2013. Changes of Fatty Acid and

- Lipase of Young Coconut During Storage. **Agricultural Science Journal** 44(3): 61-64.
- Rompophak, T. and Thongbor, S. 2008. Physiological and Quality Changes of Aromatic Coconut Before and After Harvest. **Agricultural Science Journal** 39(3): 99-102.
- Tritrayanon, K., Phetphirun, J., Wattanayothin, S., Sutthisaksophon, P. and Phosang, W. n.d. **The Production Technology of Coconut “Num Hom”**. Agro-Ecological System Research and Development Institute Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

การศึกษาปริมาณไมโครแว็กซ์ที่เหมาะสมในการเคลือบเชือกกล้วย สำหรับผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์

Study of the Suitable Micro Wax for Coating Banana Rope for Craft Products

โสภิดา วิสาณศักดิ์กุล^{1*} และ อรวรรณ อุปถัมภ์นันท์²

Sopida Wisansakkul^{1*} and Orawan Oupathumpanont²

Received: 2 May 2020, Revised: 20 August 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณไมโครแว็กซ์ที่เหมาะสมในการเคลือบเชือกกล้วย ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยเคลือบไมโครแว็กซ์ และสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยเคลือบไมโครแว็กซ์ โดยทำการผลิตเชือกกล้วยจากกาบกล้วยสด วิเคราะห์ร้อยละของผลผลิตที่ได้ของเชือกกล้วยและค่าสี หลังจากนั้นทำการศึกษาปริมาณไมโครแว็กซ์ที่เหมาะสม โดยแปรเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ในสารละลายพาราฟินความเข้มข้นร้อยละ 1 w/v ทำการเคลือบตามอัตราส่วนที่กำหนด เพื่อนำเชือกที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ การศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ค่าสี ค่าความชื้น ค่าแรงดึงสูงสุด และสำรวจการยอมรับของผู้บริโภค ผลการวิจัย พบว่า เชือกกล้วยที่ได้มีผลผลิตร้อยละ 10 มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 63.41 ค่า (a*) เท่ากับ -0.18 และค่า (b*) เท่ากับ -3.76 ปริมาณไมโครแว็กซ์ที่เหมาะสมในการเคลือบเชือกกล้วยคือ ร้อยละ 25 โดยมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบและสม่ำเสมอ มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 63.69 (a*) เท่ากับ 0.13 และ (b*) เท่ากับ -3.55 มีค่าร้อยละความชื้นเท่ากับ 5.35 และมีค่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 117.79 นิวตัน ผลสำรวจการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับด้านรูปแบบ ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ และด้านความพึงพอใจโดยรวม คะแนนเฉลี่ย 4.24, 4.46 และ 4.32 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เชือกกล้วย, ไมโครแว็กซ์, งานประดิษฐ์

¹ สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

¹ Department of Home Economics, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand.

² สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

² Department of Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sopida_w@rmutt.ac.th Tel: 08 9584 7952

ABSTRACT

The purposes of this research were to examine the optimal amount of micro wax for coating banana rope, the product quality of micro waxed coat banana rope, and the consumer acceptance of micro waxed coat banana rope products by producing banana rope from fresh banana cloves. The percentage yield of banana rope and color evaluation was analyzed and the suitable micro waxing was studied at 5 levels of 0, 25, 50, 75 and 100% in a 1 w/v concentration of paraffin solution. The coating was performed according to the specified ratio. The ropes were analyzed for quality by using scanning electron microscope, color, moisture content, and maximum tensile strength. In the final stage of the experiment, the consumer satisfaction of the crafting product was surveyed. The results showed that the yield of banana rope was 10%, the brightness (L^*) was 63.41, (a^*) was -0.18, and (b^*) was -3.76. The optimum amount of micro wax for coating the banana rope was 25% with smooth and even surface. The brightness (L^*) was 63.69, (a^*) was 0.13, and (b^*) was -3.55. The percentage of moisture was 5.35 and the maximum tensile force was 117.79 N. The average customer satisfaction revealed that consumers accepted the form and usefulness, and the overall satisfaction was 4.24, 4.46 and 4.32, respectively.

Key words: banana rope, micro wax, crafts

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยประมาณ 866,410 ไร่ แบ่งออกเป็นพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้าร้อยละ 79.29 (Suthanukool, 2015) ซึ่งจะเห็นได้ว่ากล้วยน้ำว้าเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยหาได้ง่ายในท้องถิ่น โตเร็ว ปลูกง่าย พบได้ทั่วไปทุกภูมิภาคของประเทศไทย รวมไปถึงจังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นที่ตั้งของกลุ่มคลัสเตอร์ธุรกิจกล้วยครบวงจรคลองเจ็ดที่มีการเพาะปลูกกล้วยเพื่อการส่งออกมากกว่า 3,000 ไร่ และในแต่ละวันจะมีต้นกล้วยที่ถูกตัดทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตเป็นจำนวนมาก จากการสอบถามข้อมูลจากเกษตรกรพบว่าโดยทั่วไปต้นกล้วยที่ถูกตัดทิ้งในแต่ละวันจะมีการนำไปใช้ประโยชน์เพียงแค่เป็นปุ๋ยบนดิน นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ หากเป็นช่วงเทศกาลลอยกระทงก็นำไปใช้เป็นวัสดุในการทำกระทงลอย แต่ส่วนใหญ่ปริมาณต้นกล้วยที่ถูกตัดทิ้งเป็นจำนวนมากมักจะถูกวางทิ้งไว้ให้เน่าเสียในแปลงเกษตร

เนื่องจากต้นกล้วยสดมีปริมาณน้ำในสัดส่วนที่สูงจึงเน่าเสียได้ง่าย (Bureau of Animal Nutrition Development, n.d.) และในปัจจุบันมีบางส่วนนำส่วนกาบของลำต้นกล้วยมาผลิตเป็นเชือกสำหรับมัดขนมหรือสิ่งของต่างๆ (Lotanaruk, 2015)

เชือกกล้วยแต่เดิมเป็นการผลิตโดยนำกาบกล้วยมาวางย่นตามแนวดิ่ง จากนั้นใช้คัตเตอร์กรีดเป็นเส้นให้มีความกว้างประมาณ 1 นิ้ว จากนั้นนำเชือกกล้วยที่ได้ไปตากแดดประมาณ 4-5 วัน เมื่อแห้งจะนำเชือกกล้วยที่ได้มารีดเพื่อไล่ลม ซึ่งการผลิตเชือกกล้วยด้วยวิธีเช่นนี้มักเกิดปัญหาเชือกกล้วยเกิดการเน่าเปื่อย มีลักษณะบิดงอและขึ้นรา ซึ่งเชือกกล้วยจะไม่สามารถนำไปผลิตหัตถกรรมเชือกกล้วยได้ และหากทิ้งไว้นานจะทำให้เส้นใยมีสีคล้ำ (Rattanachaisit *et al.*, 1994) ซึ่งเชือกกล้วยในลักษณะนี้นิยมนำไปใช้ในการผูกของ มัดขนมต้ม หรือนำไปสานเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ และ

มักจะมีปัญหาการเกิดเชื้อรา เนื่องจากการทำเชือกกล้วยในลักษณะนี้ไม่ได้ดำเนินการชุบน้ำมันที่อยู่ในกาบออกให้หมดก่อนนำมาใช้งาน ซึ่งหากไม่ตากแดดเชือกอาจจะหยาบมันและเปื่อยได้และหากโดนน้ำหรือความชื้นเส้นใยจะเกิดเชื้อราได้ง่าย

จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะนำเทคโนโลยีการผลิตเส้นใยใหม่มาใช้ในกระบวนการผลิตเชือกกล้วย โดยการใช้เครื่องตีเส้นใยซึ่งจะช่วยขัดเยื่อไม้ที่อยู่ในฟืนออกได้เป็นอย่างดี และเมื่อขัดเยื่อไม้ซึ่งมีความชื้นสูงออกก็ช่วยทำให้เส้นใยเสื่อมเสียโดยเชื้อราลดน้อยลงและมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น อีกทั้งยังได้ศึกษาปริมาณไมโครเว็กซ์ที่เหมาะสมซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วยเคลือบเงาและเพิ่มความยืดหยุ่นให้ผลิตภัณฑ์ช่วยปรับปรุงคุณภาพของเชือกกล้วย ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ และสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยเคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ ซึ่งผลการศึกษาวิจัยที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์จาก

เชือกกล้วย และเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกกล้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเส้นใยจากกาบกล้วย

นำต้นกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการตัดเครือแล้ว จากพื้นที่เพาะปลูกกล้วยของกลุ่มเกษตรกรคลองเจ็ด จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีอายุโดยประมาณ 8-9 เดือน ลำต้นมีความสูง 2-3 เมตร มาทำการคัดเลือกต้นกล้วยน้ำว้าที่มีความสมบูรณ์ สังเกตจากสีของกาบกล้วยด้านนอกที่มีลักษณะเป็นสีเขียวสด ไม่มีเชื้อราหรือกาบเน่า ปอกกาบกล้วยออกทีละชั้นโดยเลือกใช้กาบกล้วยชั้นที่ 1-4 มาล้างฝุ่นละอองและคราบสกปรกออกให้หมด นำกาบกล้วยที่ได้ไปเข้าเครื่องแยกเส้นใย แล้วนำไปตากให้แห้งจนกระทั่งมีปริมาณความชื้นของเส้นใยเหลือร้อยละ 5-8 ซึ่งจะได้เส้นใยจากกาบกล้วยดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เส้นใยจากกาบกล้วยที่ผ่านการตีด้วยเครื่องแยกใย

หลังจากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาทำการต้มสลายไขมัน โดยนำเส้นใยจากกาบกล้วยที่ตากแห้งแล้วมาแช่น้ำให้เปียกทั่วทั้งเส้นโดยประมาณ 20 นาที นำเส้นใยจากกาบกล้วยไปต้มครั้งละ 200 กรัม ต่อปริมาณน้ำสะอาด 1,000 มิลลิลิตร ที่เค็มสาร โซเดียมไฮดรอกไซด์

ไซค์ และโซเดียมคาร์บอเนตอย่างละ 1 กรัม ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 20 - 30 นาที นำเส้นใยที่ได้ล้างด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการฟอกขาวด้วยคลอรีน โดยการนำเส้นใยมาแช่ในสารละลายคลอรีนที่มีความเข้มข้นร้อยละ

0.4 นาน 7 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างเส้นใยที่ได้ด้วยน้ำสะอาด 1 รอบ แล้วนำไปตากแดดหรืออบที่มีอุณหภูมิ 40 - 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้นของเส้นใยเหลือร้อยละ 5 - 8 เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา หลังจากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (%yield) โดยคำนวณผลจากน้ำหนักของกากกล้วยสด และนำเส้นใยที่ได้วิเคราะห์คุณภาพค่าสี

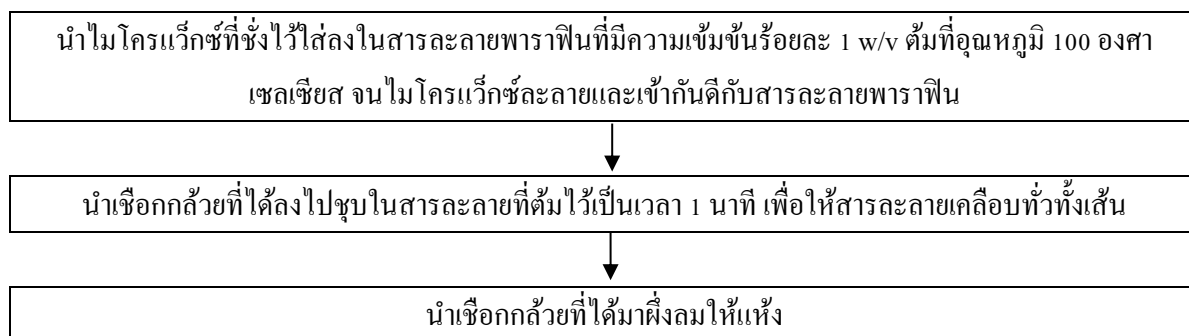
2. การผลิตเชือกกล้วย

นำเส้นใยจากกากกล้วยที่ได้จากข้อ 1 มาทำการเข้าเกลียวด้วยเครื่องปั่นเส้นใยแบบมือหมุน โดยเริ่มจากการนำเส้นใยจากกากกล้วยที่ได้จำนวน 20 เส้น มาคล้องที่หัวเครื่องปั่นเส้นใยแล้วทำการหมุนปั่นเส้นใยไปทางขวาหรือหมุนตามเข็มนาฬิกา โดยกำหนดให้หมุนเข้าเกลียวจำนวน 5 รอบต่อความยาว

เชือก 1 นิ้วตลอดความยาวเชือก ซึ่งสามารถทำการหมุนเข้าเกลียวเชือกไปได้เรื่อยๆ จนกระทั่งได้ความยาวตามที่ต้องการ

3. การศึกษาปริมาณไมโครเว็กซ์ที่เหมาะสมในการเคลือบเชือกกล้วย

การศึกษาปริมาณไมโครเว็กซ์ที่เหมาะสมในสารละลายพาราฟินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 w/v ในการเคลือบผิวเชือกกล้วย โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณไมโครเว็กซ์ แปรผัน 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ทำการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง ทำการเตรียมเชือกกล้วยเพื่อเคลือบสารละลายพาราฟินผสมไมโครเว็กซ์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ตามกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการเคลือบเชือกกล้วยด้วยไมโครเว็กซ์

4. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์

นำผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่ผ่านการเคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ทั้ง 5 สิ่งทดลอง ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพเพื่อคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสม ดังนี้

1) การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเชือกกล้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเชือกกล้วยทั้ง 5 สิ่งทดลอง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510 ศึกษา

พื้นฐานและรายละเอียดพื้นผิวของตัวอย่างด้วยระบบ HV (High Vacuum) Mode ใช้กำลังขยาย 35 เท่า เพื่อศึกษาการเกาะตัวของสารเคลือบบริเวณพื้นผิวของเชือกกล้วยทั้ง 5 สิ่งทดลอง

2) การวัดค่าสี

การใช้เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Lovibond รุ่น SP60 ใช้ระบบสี CIELAB วัดค่า L^* a^* b^* เป็นวิธีการใช้สีที่ใช้ลักษณะ Color space โดยกำหนดให้ L^* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100

a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทาง
สีแดง
a* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทาง
สีเขียว
b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทาง
สีเหลือง
b* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทาง
สีน้ำเงิน

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \times 100 \quad (1)$$

4) การหาค่าแรงดึงสูงสุดของเชือกกล้วย

ความแข็งแรงของเชือกกล้วย สามารถทดสอบได้โดยใช้เครื่องมือทดสอบแรงดึง Tensile testing machine (Model 5566) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2062: 1993 (E) (ISO, 1993) ความเร็วในการทดสอบแรงดึงสูงสุดของเชือกกล้วยเท่ากับ 250 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะในการทดสอบเชือกกล้วยเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ทำการทดสอบเชือกกล้วยทีละเส้น โดยเตรียมเชือกกล้วยตัวอย่างละ 15 เมตร จากนั้นนำเข้าเครื่อง Instron ทำการดึงเชือกกล้วยจนขาด บันทึกผลค่าแรงดึงสูงสุด

ทำการคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเชือกกล้วย ค่าสี ค่าความชื้น และค่าแรงดึงสูงสุดของเชือกกล้วย เพื่อหาสิ่งทดลองที่มีสมบัติทางกายภาพดีที่สุด โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) หากพบมีนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่าความแตกต่าง เพื่อทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) แล้วนำมาคัดเลือกสิ่งทดลองที่เหมาะสมในการนำมาทำผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์จากเชือกกล้วยต่อไป

3) การวัดค่าความชื้น (ตามมาตรฐาน ASTM D 629: 1999) (ASTM, 1999)

เป็นการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง บันทึกน้ำหนักก่อนการอบ และบันทึกน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถ้วยอลูมิเนียมและน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้ง แล้วทำการคำนวณหาร้อยละความชื้นจากสิ่งทดลอง ดังสมการที่ 1

5. การสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยเคลือบไมโครเว็กซ์

1) ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรของการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีงานประดิษฐ์สร้างสรรค์ และสาขาวิชาศิลปประดิษฐ์ในงานคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และกลุ่มผู้ปฏิบัติงานด้านผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์ในเขตจังหวัดปทุมธานี

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสำรวจ เป็นนักศึกษาปริญญาตรีชั้นปีที่ 3-4 สาขาวิชาเทคโนโลยีงานประดิษฐ์สร้างสรรค์ และสาขาวิชาศิลปประดิษฐ์ในงานคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จำนวน 150 คน และจากการสุ่มเลือกตัวอย่างจากกลุ่มผู้ปฏิบัติงานด้านผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์ในเขตอำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ด้วยวิธีการเลือกแบบบังเอิญ จำนวน 10 คน

2) การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยการนำแบบสำรวจพร้อมผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาซึ่งเป็นเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์และมีคุณภาพดีที่สุด ให้กลุ่มตัวอย่างดูแล้วประเมินการยอมรับตามรายการที่

กำหนดไว้ในแบบสำรวจด้วยวิธี Central Location Test (CLT) ตรวจสอบความสมบูรณ์แต่ละฉบับ ทำการบันทึกคำตอบในแบบสำรวจเพื่อประมวลผลทางสถิติ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป

3) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ แบบสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่ผ่านการเคลือบไมโครแคปซูล แบ่งเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสำรวจ ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ รายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน และส่วนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนา ได้แก่ การเคยเห็นผลิตภัณฑ์ และการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เมื่อมีวางจำหน่าย โดยลักษณะการตอบเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check List) สำหรับแบบสำรวจส่วนที่ 3 การยอมรับผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครแคปซูล ประกอบด้วยกัน 3 ด้าน คือ ด้านรูปแบบ ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ความพึงพอใจโดยภาพรวม โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ซึ่งได้ทำการแบ่งระดับความเห็นของกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 5 ระดับ คะแนนจาก 1 คะแนน (น้อยที่สุด) ถึง 5 คะแนน (มากที่สุด) และแบบสำรวจส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ เป็นการตอบแบบสำรวจปลายเปิด โดยให้ผู้ตอบแบบสำรวจให้ข้อเสนอแนะที่มีต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่ผ่านการเคลือบไมโครแคปซูล

4) การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติคำนวณหาค่าความถี่และค่าร้อยละ ในแบบสำรวจส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 เพื่อรายงานผลข้อมูลจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามที่ให้ข้อคิดเห็นในแต่ละข้อตามลำดับ และใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแบบสำรวจส่วนที่ 3 เพื่อรายงานผลระดับการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อ

ผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่ผ่านการเคลือบไมโครแคปซูลในแต่ละด้าน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเตรียมเส้นใยจากกากกล้วย

จากการเตรียมเส้นใยจากกากกล้วย พบว่าในการผลิตเส้นใยจากกากกล้วยจะใช้กากกล้วยชั้นที่ 1-4 ซึ่งมีน้ำหนักกากกล้วยสดโดยประมาณ 230 - 250 กรัมต่อกาก และจากการคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (% yield) พบว่า เส้นใยจากกากกล้วยที่ได้มีผลผลิตร้อยละ 10 ของน้ำหนักกากกล้วยสด ใกล้เคียงกับข้อมูลจากสำนักพัฒนาอาหารสัตว์ พบว่า ต้นกล้วยสดจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบภายในอยู่ถึงร้อยละ 95 (Bureau of Animal Nutrition Development, n.d.) และเส้นใยที่ได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อนโดยมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 64.88 ค่า (a^*) เป็นไปในทิศทางสีแดง เท่ากับ 1.25 และมีค่า (b^*) เป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน เท่ากับ -1.39 และเมื่อนำเส้นใยที่ได้มาทำการต้มสลายไขมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และฟอกขาวด้วยคลอรีนเส้นใยที่ได้จะมีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อนซึ่งมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 63.41 ค่า (a^*) เป็นไปในทิศทางสีเขียว เท่ากับ -0.18 และมีค่า (b^*) เป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน เท่ากับ -3.76 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kalsirisilp (2013) ที่พบว่าค่าความสว่างของเชือกกล้วยที่ใช้สารฟอกขาวด้วยคลอรีนมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น และการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยย่อยสลายเนื้อเยื่อ ซึ่งเนื้อเยื่อที่เกาะอยู่ในเส้นใยพืชโดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นไขมัน เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้พืชที่ต้องการแยกเส้นใยเกิดการพองตัวและหลุดออกมา โดยจะเหลือส่วนที่เป็นเส้นใยที่ต้องการ (Areechongcharoen *et al.*, 2013) ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับสีย้อมหรือสารละลายอื่นๆ ซึ่งเหมาะสำหรับการนำเส้นใยจากกากกล้วยที่ผ่านกระบวนการสลายไขมันและฟอก

ชาวแล้วมาดำเนินการเข้าเกลียวเป็นเชือกด้วยเครื่องปั่นเส้นใยแบบมือหมุน เพื่อนำเชือกจากกบกล้วยที่ได้มาทำการศึกษาปริมาณไมโครเว็กซ์ที่เหมาะสมในสารละลายพาราฟิน

2. วิธีการผลิตเชือกกล้วย

จากการผลิตเชือกกล้วยโดยกระบวนการปั่นเข้าเกลียวเชือกด้วยเครื่องปั่นเส้นใยแบบมือหมุน สามารถผลิตเชือกกล้วยได้ในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร เชือกมีน้ำหนักโดยประมาณ 3 กรัมต่อ 1 เมตร (ดังแสดงในภาพที่ 3) และเชือกกล้วยมีลักษณะ

เกลียวที่สม่ำเสมอแต่จะมีเส้นใยขนาดเล็กๆ เกิดขึ้นระหว่างเกลียวเชือกส่งผลให้เชือกมีผงฝุ่นหลุดร่วงจากการเสียดสีกันในระหว่างใช้งาน จึงได้ดำเนินการศึกษาการเคลือบเชือกกล้วยด้วยไมโครเว็กซ์โดยนำเชือกจากกบกล้วยที่ได้มาศึกษาปริมาณไมโครเว็กซ์ต่อสารละลายพาราฟินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 W/V เนื่องจากการใช้ไมโครเว็กซ์เป็นส่วนผสมในการเคลือบจะช่วยให้การยึดโครงสร้างของพาราฟินให้เหนียว เรียบ และคงทนสวยงามให้กับเชือกเพื่อให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น (Sirikarn, 2011)



ภาพที่ 3 เชือกกล้วยที่ผ่านกระบวนการเข้าเกลียวเชือกด้วยเครื่องปั่นเส้นใยแบบมือหมุน

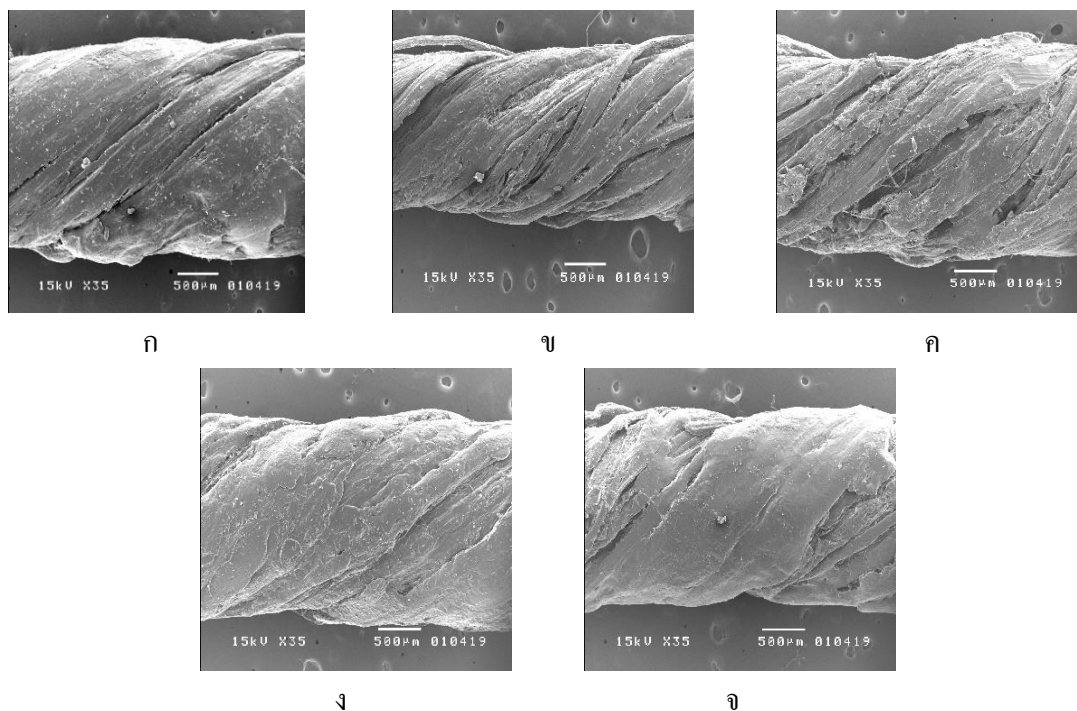
3. การศึกษาปริมาณไมโครเว็กซ์ที่เหมาะสมในการเคลือบเชือกกล้วย

จากการศึกษาปริมาณไมโครเว็กซ์ที่เหมาะสมต่อคุณภาพเชือกกล้วยที่เคลือบไมโครเว็กซ์ในปริมาณที่ต่างกันทั้ง 5 ระดับ และนำไปวิเคราะห์คุณภาพ ประกอบด้วย การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเชือกกล้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, การวัดค่าสี, การวัดค่าความชื้น และการหาค่าแรงดึงสูงสุดของเชือกกล้วย เพื่อคัดเลือกสิ่ง

ทดลองที่ดีที่สุดสำหรับนำไปใช้ในด้านงานประดิษฐ์ ได้ผลการทดลองดังนี้

1) การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเชือกกล้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ทั้ง 5 สิ่งทดลอง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ด้วยกำลังขยาย 35 เท่า ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ ด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนฯ (SEM) (ก) ปริมาณไมโครเว็กซ์ร้อยละ 0 (ข) ปริมาณไมโครเว็กซ์ร้อยละ 25 (ค) ปริมาณไมโครเว็กซ์ร้อยละ 50 (ง) ปริมาณไมโครเว็กซ์ร้อยละ 75 และ (จ) ปริมาณไมโครเว็กซ์ร้อยละ 100

จากภาพที่ 4 พบว่า ผลการทดสอบลักษณะของเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนฯ (SEM) กำลังขยาย 35 เท่า ผิวบริเวณด้านนอกของเชือกกล้วยมีลักษณะเรียบและมันวาวมากขึ้นตามปริมาณไมโครเว็กซ์ที่ใช้ในการเคลือบที่เพิ่มมากขึ้น และในทางตรงกันข้ามหากมีการใช้ปริมาณไมโครเว็กซ์ที่มากเกินไปอาจส่งผลให้สมบัติการยึดเกาะของสารเคลือบลดน้อยลงและหลุดร่อนออกได้ เมื่อนำมาใช้ในการเคลือบเงาเชือกกล้วยก็จะส่งผลให้เชือกกล้วยมีความยืดหยุ่นและมันเงาเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานด้านการสร้างสรรค์งานประดิษฐ์ และเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์จากเชือกกล้วย มาตรฐานเลขที่ มผช.56/2560 (Thai Industrial Standards Institute,

2017) ได้กำหนดให้การเคลือบผิวของเชือกกล้วยต้องเรียบ สม่ำเสมอ ไม่เป็นเม็ด เป็นคราบ แตก หลุด หรือลอก และต้องไม่ทำให้ชิ้นงานขาดความสวยงาม

2) การทดสอบคุณภาพเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์

ในการทดสอบคุณภาพของเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ทั้ง 5 สิ่งทดสอบ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้ระบบสี CIELAB วัดค่า L^* a^* b^* การวิเคราะห์ค่าความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D 629: 1999 (ASTM, 1999) และการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ISO 2062: 1993 (E) (ISO, 1993) ได้ผลการทดสอบ (ดังแสดงในตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์

รายการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์				
	สิ่งทดลองที่ 1	สิ่งทดลองที่ 2	สิ่งทดลองที่ 3	สิ่งทดลองที่ 4	สิ่งทดลองที่ 5
ค่าสี L*	63.77 ^a ± 0.07	63.69 ^a ± 0.05	63.73 ^a ± 0.05	63.58 ^b ± 0.02	63.42 ^c ± 0.01
a*	0.04 ^a ± 0.13	0.13 ^a ± 0.03	0.10 ^a ± 0.03	-0.10 ^b ± 0.02	-0.23 ^c ± 0.07
b*	-3.59 ^a ± 0.08	-3.55 ^a ± 0.04	-3.56 ^a ± 0.08	-3.72 ^b ± 0.04	-3.80 ^b ± 0.07
ค่าความต้านทานแรงดึง (นิวตัน)	104.15 ^b ± 11.32	117.79 ^a ± 4.09	73.26 ^c ± 9.68	74.68 ^c ± 4.84	81.05 ^c ± 4.24
ค่าความชื้น (ร้อยละ)	6.22 ^a ± 0.34	5.35 ^c ± 0.01	5.49 ^d ± 0.69	5.96 ^b ± 0.87	5.89 ^b ± 0.43

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อนออกเหลืองเล็กน้อย ซึ่งผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ ร้อยละ 0, 25 และ 50 มีค่าความสว่าง (L*) ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) อยู่ระหว่าง 63.69 - 63.77 มีค่า (a*) และ (b*) เป็นไปในทิศทางสีแดง และสีน้ำเงิน สำหรับการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ มีค่าความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่าเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ ร้อยละ 25 มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 117.79 นิวตัน สำหรับผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ร้อยละ 50, 75 และ 100 มีค่าความต้านทานแรงดึงไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \geq 0.05$) และมีค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของไมโครเว็กซ์ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเกาะตัวของพาราฟินทำให้ประสิทธิภาพการเคลือบเส้นใยและการเข้าเกลียวต่ำลง ดังนั้นเชือกกล้วยที่มีค่าแรงดึงสูงสุดมีความสำคัญในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เนื่องจากเมื่อนำเชือกกล้วยไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะสามารถบรรจุของใช้ได้ (Kalsirisilp, 2013) สำหรับเชือกกล้วยที่ผ่าน

การเคลือบไมโครเว็กซ์ทั้ง 5 สิ่งทดลอง มีค่าร้อยละความชื้นที่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อยู่ระหว่าง 5.35-6.22 ซึ่งค่าความชื้นที่อยู่ในระดับต่ำจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ในระยะเวลาอันเนื่องจากการเคลือบเงาด้วยไมโครเว็กซ์จะช่วยป้องกันความชื้นที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งานได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้มีอัตราการยอมให้น้ำไหลผ่านได้น้อย ทำให้เกิดการยืดหยุ่นได้สูง (Kumpoun, n.d.)

4. การสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยเคลือบไมโครเว็กซ์

จากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่ผ่านการเคลือบไมโครเว็กซ์ในกลุ่มนักศึกษาปริญญาตรีชั้นปีที่ 3-4 สาขาวิชาเทคโนโลยีงานประดิษฐ์สร้างสรรค์ และสาขาวิชาศิลปประดิษฐ์ในงาน คณะกรรมการศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และกลุ่มผู้ปฏิบัติงานด้านผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์ในเขตอำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี จำนวนรวมทั้งสิ้น 160 คน โดยใช้แบบสำรวจการยอมรับผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่ผ่านการเคลือบไมโครเว็กซ์ ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วน มีผลการสำรวจดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภค พบว่า ผู้ตอบแบบสำรวจโดยส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 116 คน คิดเป็นร้อยละ 72.50 มีอายุระหว่าง 21-30 ปี จำนวน 120 คน คิดเป็นร้อยละ 75.00 มีการศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 150 คน คิดเป็นร้อยละ 93.75 มีอาชีพ นักเรียน/นักศึกษา จำนวน 150 คน คิดเป็นร้อยละ 93.75 และมีรายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท จำนวน 122 คน คิดเป็นร้อยละ 72.25

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนา พบว่า ผู้ตอบแบบสำรวจโดยส่วนใหญ่ ไม่เคยเห็นผลิตภัณฑ์เชือก

กล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์ จำนวน 148 คน คิดเป็นร้อยละ 92.50 และผู้ตอบแบบสำรวจส่วนใหญ่ เลือกซื้อเชือกกล้วยที่เคลือบไมโครเว็กซ์ จำนวน 133 คน คิดเป็นร้อยละ 83.13

ส่วนที่ 3 การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์

การสำรวจการยอมรับของผู้บริโภค ประกอบด้วยกัน 3 ด้าน คือ ด้านรูปแบบ ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ความพึงพอใจโดยรวม (ดังแสดงในตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์

รายการประเมิน	$\bar{x} \pm S.D.$	ค่าร้อยละ	ระดับการยอมรับ
1. ด้านรูปแบบ	4.24 $\pm$ 0.70	84.70	มาก
1.1 เชือกกล้วยมีขนาดเหมาะสมต่อการนำไปใช้	4.14 $\pm$ 0.72	82.88	มาก
1.2 เชือกกล้วยมีความแข็งแรง ทนทาน	4.14 $\pm$ 0.67	82.75	มาก
1.3 เชือกกล้วยมีรูปแบบที่น่าสนใจ	4.24 $\pm$ 0.71	84.88	มาก
1.4 เชือกกล้วยสามารถดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค	4.22 $\pm$ 0.72	84.38	มาก
1.5 เชือกกล้วยมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว	4.43 $\pm$ 0.65	88.63	มาก
2. ด้านการนำไปใช้ประโยชน์	4.46 $\pm$ 0.63	89.13	มาก
2.1 เชือกกล้วยมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน	4.21 $\pm$ 0.68	84.25	มาก
2.2 ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับต้นกล้วยที่ถูกตัดทิ้ง	4.54 $\pm$ 0.57	90.88	มากที่สุด
2.3 ช่วยลดปริมาณขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรได้	4.61 $\pm$ 0.56	92.25	มากที่สุด
3. ด้านความพึงพอใจโดยรวม	4.32 $\pm$ 0.60	86.38	มาก
รวมทั้งสิ้น	4.32 $\pm$ 0.67	86.36	มาก

จากตารางที่ 3 พบว่า ผู้ตอบแบบสำรวจให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเว็กซ์โดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.32 ± 0.67 ซึ่งมีการยอมรับด้านรูปแบบ ค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.24 ± 0.70 โดยให้การยอมรับในหัวข้อเชือกกล้วยมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว อยู่ในระดับ

มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 ± 0.65 รองลงมาให้การยอมรับในหัวข้อเชือกกล้วยมีรูปแบบที่น่าสนใจ อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 ± 0.71 และน้อยที่สุดยอมรับในหัวข้อเชือกกล้วยมีความแข็งแรงทนทาน อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.14 ± 0.67 สำหรับด้านการนำไปใช้ประโยชน์ มีค่าเฉลี่ย

โดยรวมเท่ากับ 4.46 ± 0.63 โดยให้การยอมรับในหัวข้อช่วยลดปริมาณขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ อยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.61 ± 0.56 รองลงมาให้การยอมรับในหัวข้อช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับต้นกล้วยที่ถูกตัดทิ้ง อยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.54 ± 0.57 และน้อยที่สุดยอมรับในหัวข้อเชือกกล้วยมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 ± 0.68 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจโดยรวม อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.32 ± 0.60

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ จากการสำรวจการยอมรับของผู้ตอบแบบสำรวจจำนวน 160 คน มีผู้ตอบแบบสำรวจได้ให้ข้อเสนอแนะที่มีต่อผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเร็กซ์ประกอบด้วย อยากให้นำมาทำเป็นของใช้ที่ทันสมัย อยากเห็นรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น เป็นความคิดที่ดี และเป็นการส่งเสริมให้ชุมชนมีรายได้และช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่เหลือทิ้ง ซึ่งการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคสามารถนำผลที่ได้ไปสู่การสร้างประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างรวดเร็วราบรื่นและตรงเป้าหมาย ยกย่องระดับขีดความสามารถในการแข่งขันและสร้างความเข้มแข็งให้แก่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยและชุมชนได้ (Na Ayudhya, 2010)

สรุป

จากการศึกษาการนำกากกล้วยจากต้นกล้วยที่ถูกตัดทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตมาผลิตเป็นเส้นใยจากกากกล้วยจะได้ผลผลิตร้อยละ 10 ของน้ำหนักกากกล้วยสด เมื่อนำมาต้มสลายไขมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และฟอกขาวด้วยคลอรีน พบว่า มีค่าสีเป็นไปในทิศทางสีเหลืองอ่อน มีความสว่าง (L^*) เท่ากับ 63.41 ค่า (a^*) และค่า (b^*) เป็นไปในทิศทางสีเขียวและสีน้ำเงิน เมื่อนำมาเข้าเกลียวเป็นเชือกด้วยเครื่องปั่นเส้นใยแบบมือหมุน เพื่อนำมาศึกษาปริมาณ

ไมโครเร็กซ์ที่เหมาะสมต่อสารละลายพาราฟินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 W/V พบว่า เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเร็กซ์ร้อยละ 25 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานประดิษฐ์ โดยจากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเชือกกล้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 35 เท่า พื้นผิวของเชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเร็กซ์จะมีลักษณะเรียบเนียนและมันวาว มีสีเหลืองอ่อนโดยมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 63.69 ค่า (a^*) เท่ากับ 0.13 และค่า (b^*) เท่ากับ -3.55 ซึ่งเป็นไปในทิศทางสีแดงและสีน้ำเงิน มีค่าร้อยละความชื้นเท่ากับ 5.35 ค่าแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 117.79 นิวตัน มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในด้านงานประดิษฐ์และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากที่สุด และจากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ผู้ตอบแบบสำรวจให้การยอมรับผลิตภัณฑ์เชือกกล้วยที่เคลือบด้วยไมโครเร็กซ์โดยรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.32

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2562 สำหรับดำเนินโครงการวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความสนับสนุนในการใช้ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อใช้ในการจัดทำวิจัยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Areechongcharoen, S., Phaisarntantiwong, N., Mongkhlorattanasit, R. and Chonsakorn, S. 2013. **Research Report no Development of textile Products from Lemongrass**

- Fiber.** Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)
- ASTM. 1999. ASTM D629-99. Standard Test Methods for Quantitative Analysis of Textiles. Annual Book of ASTM Standard. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Bureau of Animal Nutrition Development. n.d. **Using the produce from banana trees to raise animals.** Available Source: http://nutrition.dld.go.th/Nutrition_Knowledge/ARTICLE/ArticleF.htm, September 1, 2019.
- ISO. 1993. ISO 2062:1993(E). Textiles - Yarns from packages - Determination of single-end breaking force and elongation at break. International Standard. International Organization for Standardization. Vernier, Geneva.
- Kalsirisilp, W. 2013. Development of Bag Product from Tied Dyeing of Banana Bark String. Master's Thesis of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Kumpoun, W. n.d. **Coating for fresh fruit.** Available Source: https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=38, September 1, 2019.
- Lotanaruk, S. 2015. Study on property of lumbering from banana fiber trees as guidelines for product design. Master's Thesis of Product Design, Silpakorn University. (in Thai)
- Na Ayudhya, I. 2010. 'Value Innovation' Strategic Product Planning. **Academic Journal of Architecture, Chulalongkorn University** (59): 161-174. (in Thai)
- Rattanachaisit, P., Panpae, K. and Sriksirin, T. 1994. Separation of Emusa Fibers for Textile Production, pp. 238-248. *In The 32nd Kasetsart University Annual Conference.* Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Sirikarn. 2011. **Micro wax.** Available Source: http://howtomakeflowercandle.blogspot.com/2011/09/blog-post_26.html, September 1, 2019.
- Suthanukool, P. 2015. **Research Report no Research and development of banana production for improvement of quality production and high value-added products.** Department of Agriculture (Thai DOA). (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute (TISI). 2017. **Banana rope products.** CPS.56/2017. Available Source: [http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0056_60\(ผลิตภัณฑ์จากเชือกกล้วย\).pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0056_60(ผลิตภัณฑ์จากเชือกกล้วย).pdf), July 25, 2019.

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบีเยน และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด

Chemical and Physical Properties of Cold-pressed Sangyod Rice Bran Oil and Its Application in Sangyod Rice Cookies

อมรรัตน์ ถนนวนแก้ว *

Amonrat Thanonkaew *

Received: 3 May 2020, Revised: 9 July 2020, Accepted: 22 September 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบีเยน และการประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบีเยนในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ผลการศึกษาพบว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดด้วยเฮกเซนมีปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงกว่าการสกัดโดยวิธีบิบบีเยน แต่น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบีเยนมีค่ากรดค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระ ต่ำกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่สกัดด้วยเฮกเซน ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบีเยนมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว วิตามิน และฟอสโฟลิพิด ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน ($p < 0.05$) เมื่อศึกษาการประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบีเยนในผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยการทดแทนปริมาณเนยเทียมในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ในระดับร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ พบว่าการใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบีเยนทดแทนเนยเทียม ไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน และปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด แต่ส่งผลให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดมีความชื้นสูงกว่าตัวอย่างชุดควบคุมที่ใช้เนยเทียมล้วน ($p < 0.05$) ปริมาณน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 10 ขึ้นไป ส่งผลให้คุกกี้มีสีเข้มขึ้น การเพิ่มปริมาณน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบีเยนส่งผลให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดมีความแข็ง ความเปราะ อัตราการแผ่ และความหนาแน่น เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับการทดแทนร้อยละ 5 ไม่มีผลต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ($p \geq 0.05$) เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าที่ระดับการทดแทนร้อยละ 10 ขึ้นไปส่งผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลดในทุกด้าน แต่อย่างไรก็ตามการทดแทนที่ระดับร้อยละ 5 มีคะแนนความชอบของคุกกี้ ข้าวสังข์หยดในทุกด้านมีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($p \geq 0.05$)

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro and Bio-industry, Thaksin University, Phatthalung Campus, Banpraow, Paphayom, Phatthalung 93210, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): apsara.2555@gmail.com Tel: 0 7460 9618

คำสำคัญ: ลูกเกี๋ย, น้ำมันรำข้าว, การบีบเย็น, ข้าวสังข์หยด, พฤษกษเคมี

ABSTRACT

The objectives of this research were to examine the quality of cold-pressed Sangyod rice bran oil (CSRBO) and the application of CSRBO in Sangyod rice cookies. The data showed that hexane extraction had higher extraction yield and chemical properties than that of cold pressing method. CSRBO had lower values in acid, peroxide and free fatty acid than that of hexane extracted Sangyod rice bran oil (SRBO) ($p < 0.05$). Furthermore, CSRBO had higher monounsaturated fatty acid, vitamin and phytochemical contents and element contents than that of hexane extracted SRBO ($p < 0.05$). The effect of CSRBO replacing margarine on the qualities of Sangyod rice cookies was studied. CSRBO were substituted for 0% 5% 10% 15% and 20% of margarine in Sangyod rice cookies. CSRBO had no impact on fat and ash contents of cookies, but cookies containing CSRBO had higher moisture content than that of the control sample ($p < 0.05$). Increasing CSRBO up to 10% caused a growth in product color, hardness, fracturability, spread ratio and bulk density ($p < 0.05$). However, substitution with 5% CSRBO did not affect the hardness of cookies ($p \geq 0.05$). The results showed that the sensory acceptance of cookies with a rise of CSRBO up to 10% reduced the sensory score of cookies. However, substitution with 5% CSRBO was not significantly different from the control unit ($p \geq 0.05$).

Key words: cookies, rice bran oil, cold-pressed, Sangyod rice, phytochemical

บทนำ

น้ำมันรำข้าวนอกจากเป็นแหล่งของไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายแล้วยังประกอบด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์มากมาย เช่น วิตามิน และพฤษกษเคมี ชนิดต่างๆ ได้แก่ ในกลุ่มไฟโตสเตอรอล กลุ่มพอลิฟีนอล และวิตามินอี ทั้งชนิด โทโคเฟอรอล และโทโคไตรอินอล รวมทั้ง แกมมา-โอรีซานอล ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณค่าต่อสุขภาพเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันที่มีในน้ำมันรำข้าวช่วยลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายได้ จึงสามารถช่วยลดภาวะเครียด เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative stress) ที่เป็นสาเหตุของโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน เป็นต้น จากการศึกษาเพื่อการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมัน

รำข้าวสังข์หยดบีบเย็น พบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็น ประกอบด้วย วิตามินอี สารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูง (Thanonkaew *et al.*, 2012) การวิเคราะห์ปริมาณแกมมา-โอรีซานอล โดยใช้เทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC) ของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็น พบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระชนิดแกมมา-โอรีซานอล สูงถึงร้อยละ 1.64 (Thanonkaew and Wongyai, 2011) ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ในการนำน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพชนิดต่าง ๆ เนื่องจากในปัจจุบันคนไทยได้รับอารยธรรมตะวันตกมากขึ้น ส่งผลให้ในปัจจุบันคนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคอาหาร

ว่าง หรืออาหารที่ใช้รับประทานในระหว่างมือ ซึ่งสะดวกสามารถบริโภคได้ทุกที่ ประหยัดเวลา และง่ายต่อการใช้ชีวิตประจำวันที่มีความเร่งรีบ หรือนิยมบริโภคเนื่องในโอกาสพิเศษต่างๆ ผลิตภัณฑ์ขนมอบกำลังได้รับความนิยมอย่างมากในหลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทยเพราะมีรสชาติที่ถูกปาก และมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ขนมอบมีแนวโน้มตลาดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพมากขึ้น เพื่อตอบสนองกับกระแสสุขภาพ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ก็เพื่อสุขภาพ โดยใช้ น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบียน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าแก่รำข้าวสังข์หยด และเพิ่มทางเลือกสำหรับผู้บริโภคในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยด

ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบรำข้าวโดยนำรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการขัดสีใหม่ๆ จากโรงสีข้าวสังข์หยด ชุมชนบ้านเขากลาง หมู่ 13 ตำบลบันแต อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง นำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 30 เมช แล้วนำไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิระหว่าง 130-150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และจุลินทรีย์ (Juliano, 1985) นำรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการอบไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ศึกษาในขั้นถัดไป

1.1 การสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยวิธีบีบเย็น (Cold pressing)

นำรำข้าวที่ผ่านการเตรียมไปทำการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยวิธีบีบเย็น ณ บริษัทบ้านไทยเฮิร์บ หมู่ที่ 1 ตำบลโคกนาค อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง โดยเครื่องแบบสกรูเพรสขนาดเล็ก (มอเตอร์ 2 แรงม้า กระแส ไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์) ที่ความเร็วในการหมุนของสกรูเป็น 60 รอบต่อนาที นำ

น้ำมันที่สกัดได้ไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 คำนวณปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ แล้วนำน้ำมันไปเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ตามสูตรดังนี้

ปริมาณน้ำมัน (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักของรำข้าวสังข์หยดก่อนการสกัด}} \times 100$

1.2 วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยตัวทำละลายอินทรีย์ (เฮกเซน)

นำรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการเตรียมข้างต้น ปริมาณ 20 กรัม ไปผสมกับเฮกเซน 120 มิลลิตร แล้วนำไปสกัดที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 60 นาที นำน้ำมันที่สกัดได้ไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำไปแยกเฮกเซนออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Rotavapor® R-210/R-215, Buchi, Switzerland) ที่อุณหภูมิ ห้อง แล้วนำน้ำมันที่สกัดได้ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส คำนวณปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ตามสูตรดังที่กล่าวในข้อ 1.1

1.3 วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและภาพของน้ำมันรำข้าวสังข์หยด

นำน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ได้จากการสกัดข้างต้นไปวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

1) ค่ากรด (Acid value) โดยวิธี AOAC (1999)

2) ค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) โดยวิธี AOAC (1999)

3) ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) โดยวิธี AOAC (1999)

4) การวิเคราะห์กรดไขมัน โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography (GC) ตามวิธี AOAC (1999)

5) การวิเคราะห์ปริมาณแกมมา-โอริซานอล (Gamma-Oryzanol) โดยวิธี Spectrophotometrically (UV-VIS 1700, Shimadzu, Japan) (Mezouari and Eichner, 2007)

6) การตรวจสอบ Total phenolic content โดยวิธี Spectrophotometrically (UV-VIS 1700, Shimadzu, Japan) (Lai *et al.*, 2009)

7) การตรวจสอบ Total flavonoid content โดยวิธี Spectrophotometrically (UV-VIS 1700, Shimadzu, Japan) (Jia *et al.*, 1998)

8) การวิเคราะห์ปริมาณ Vitamin A, Vitamin B1, Vitamin B2, Vitamin B3, Vitamin B6, Vitamin E, biotin และ cholesterol โดยวิธี AOAC (2000)

9) การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ Inductively coupled plasma optical emission spectrophotometer, ICP-OES (Perkin Elmer, Model 4300 DV, USA) ตามวิธี AOAC (1999)

10) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) วัดด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) แต่ละสิ่งทดลองทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ (DMRT) Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Steel and Torrie, 1980) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 11

2. การประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบินในผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยด

ศึกษาผลของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบินต่อคุณภาพของลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยด โดยการทดแทนน้ำมันรำข้าวสังข์หยดในส่วนของเนยเทียม (Margarine) ที่ระดับร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อซังส่วนผสมต่างๆ แล้วนำไปผลิตลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยด ดังวิธีการผลิตลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยดที่อธิบายข้างล่าง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยดที่มีการทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบินในระดับต่างๆ

ส่วนผสม (กรัม)	การทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิเบิน(ร้อยละ)				
	0	5	10	15	20
1. แป้งสาลีอเนกประสงค์	400	400	400	400	400
2. แป้งข้าวสังข์หยด	100	100	100	100	100
3. เนยเทียม	250	237.5	225	212.5	200
4. ไข่	100	100	100	100	100
5. น้ำตาล	250	250	250	250	250
6. ผงฟู	15	15	15	15	15
7. เกลือ	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
8. ข้าวดอก	50	50	50	50	50
9. งาม	10	10	10	10	10
10 น้ำมันรำข้าว	0	12.5	25	37.5	50

กรรมวิธีการผลิตลูกกึ่งน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิ้นมีดังนี้

- 1) เปิดเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ใช้ไฟบน-ล่าง เตรียมไว้
- 2) ร่อนแป้งสาลีอเนกประสงค์ แป้งข้าวสังข์หยด และผงฟูเข้าด้วยกันพักไว้
- 3) นำเนยเทียมใส่ในเครื่องผสม แล้วปั่นผสมเนยเทียมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำตาลแล้วผสมให้เข้ากันจนเกิดการขึ้นฟู แล้วค่อยๆ ใส่น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิ้นที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ตามสูตร
- 4) ค่อยๆ ใส่ไข่ลงไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วใส่แป้งที่ร่อนไว้และส่วนผสมที่เหลือ ผสมให้เข้ากันดีใช้เวลาประมาณ 10 นาที
- 6) ตักโดลูกกึ่งขึ้นจากเครื่องผสม แล้วนำไปขึ้นรูปตามที่ต้องการ
- 7) นำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 12-15 นาที
- 8) นำออกจากเตาอบ แล้วตัดออกจากถาดไปวางในตะแกรง ตั้งทิ้งไว้จนลูกกึ่งเย็นตัวลง
- 9) นำลูกกึ่งไปบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน (Polypropylene: PP)
- 10) เก็บรักษาในกล่องเก็บอาหารที่ปิดสนิท แล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งข้าวสังข์หยด

- 1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของลูกกึ่งข้าวสังข์หยด โดยวิเคราะห์ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า โดยวิธี AOAC (2000)
- 2) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (aw) ของลูกกึ่งด้วยเครื่อง Aqualab CX2 (Decagon Devices, Inc., USA)
- 3) การวัดค่าสีระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab

4) การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Microsystems, UK.) โดยการวัดค่าความแข็ง (Hardness) ใช้หัววัดชนิด Knife Edge Blade (HDP/BS) และอ่านค่าแรงสูงสุดที่ใช้ (Cutting force) ส่วนค่าความเปราะ (Fracturability) ใช้หัววัดชนิด Ball probe (P/0.25S) และวัดค่าแรงกดแตก (Breaking force) โดยอ่านจากค่าแรงสูงสุดของพีคแรก ใช้ลูกกึ่ง 10 ชิ้น

5) วัดอัตราการแผ่ขยายตัว (Spread ratio) โดยการวัดความกว้าง (Width) และความหนา (Thickness) โดยวัดความกว้างของลูกกึ่งที่วางเรียงชิดกัน 6 ชิ้น และวัดความหนา โดยวางลูกกึ่งซ้อนทับกัน 6 ชิ้น คำนวณค่าอัตราการแผ่กระจาย เท่ากับ อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของลูกกึ่ง (AACC, 2000)

6) วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของลูกกึ่งโดยการแทนที่เมล็ดงา

7) การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยทดสอบความชอบ ตามวิธี 9 points hedonic scale โดยการประเมินความชอบต่อคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) กลิ่นรส (Flavor) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) และความชอบรวม (Overall liking) ให้คะแนนระดับ 1-9 โดยใช้ผู้ประเมินเป็นผู้บริโภคทั่วไปที่ชอบรับประทานขนมลูกกึ่ง ผู้ทดสอบทั้งหมดเป็นนิสิตมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขต พัทลุง ทั้งเพศชายและหญิง ที่มีอายุระหว่าง 19-25 ปี จำนวน 50 คน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ศึกษาการทดแทนเนยเทียมในสูตรลูกกึ่งด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบบิ้น โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส มีการวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized

Complete Block Design) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Steel and Torrie, 1980) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันรำข้าวสังขย

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยใช้วิธีบีบเย็นและการสกัดด้วยเฮกเซน พบว่าการสกัดโดยวิธีบีบเย็นให้ปริมาณน้ำมันรำข้าวได้น้อยกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของน้ำมันรำข้าวสังขยที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน ร้อยละ 10.24 และการบีบเย็น ร้อยละ 7.32 (ตารางที่ 2) ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้น้อยกว่าผลงานวิจัยของทีมนักวิจัยอื่นๆ Zigoneanu *et al.* (2008) ศึกษาการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยไอโซโพรพานอลได้น้ำมันประมาณร้อยละ 12 ส่วนการสกัดด้วยเฮกเซนได้น้ำมันรำข้าวประมาณร้อยละ 14 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Proctor and Bowen (1996) ได้สกัดน้ำมันรำข้าว ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เฮกเซนได้น้ำมันร้อยละ 14.95 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยวิธีการสกัดด้วยเฮกเซนมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งสามารถเกิดได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของข้าว การเก็บรักษา การสีข้าว การเตรียมรำข้าว และสถานะในการสกัด เป็นต้น (Zigoneanu *et al.*, 2008) โดยทั่วไปแล้วการสกัดน้ำมันโดยใช้เฮกเซน สามารถสกัดได้น้ำมันในปริมาณที่สูง และต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่มีปัญหาสำคัญในด้านสุขภาพ ได้แก่ ความปลอดภัยของผู้บริโภคและผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งปัญหาความเป็นพิษ

ต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้มีการศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้สารละลายอินทรีย์ และวิธีการสกัดอื่นๆ ที่มีความปลอดภัยและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเฮกเซน การสกัดน้ำมันรำข้าวโดยวิธีการบีบเย็นจึงเป็นวิธีการสกัดที่นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันรำข้าวในปัจจุบันเนื่องจากมีความปลอดภัยและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งๆ ที่ให้ปริมาณน้ำมันที่น้อยและต้นทุนการผลิตสูงกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน (Godber, 2008) วัดสีของน้ำมันรำข้าวโดยใช้ระบบ CIE ค่า L^* คือ "ความสว่าง" ของตัวอย่างจาก 0 ถึง 100 ค่าที่ 100 เป็นสีขาวบริสุทธิ์ ค่า a^* หมายถึง สีแดง (+) สีเขียว (-) ค่า b^* หมายถึง สีเหลือง (+) สีน้ำเงิน (-) ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่สกัดโดยวิธีบีบเย็นมีสีเข้มกว่าน้ำมันที่สกัดโดยใช้เฮกเซน ซึ่งเห็นได้จากค่า L^* และ a^* ของน้ำมันรำข้าวสังขยที่บีบเย็นมีค่าสูงกว่าน้ำมันรำข้าวสังขยที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากการบีบเย็นทำให้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในรำข้าวออกมาในปริมาณมาก และมีหลายชนิด ส่วนสารสีที่สามารถสกัดออกมาได้ในน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซนเป็นสารไม่มีสี ซึ่งมีไม่มากทำให้น้ำมันมีความใสและมีสีเหลืองสูงกว่าน้ำมันรำข้าวบีบเย็น

การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันรำข้าวสังขยที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนและการบีบเย็นแสดงในตารางที่ 3 จากการทดลองพบว่าน้ำมันรำข้าวสังขยมี ค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน และค่ากรดไขมันอิสระ ดังนี้ 8.32- 10.24 mg KOH/ g oil, 9.64-12 meq/kg oil, 95.48-102.28 และ ร้อยละ 4.18-5.14 ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกันกับการศึกษาของ Mezouari *et al.* (2006) ได้รายงานน้ำมันรำข้าวของไทย มีค่าของกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่าไอโอดีน เป็น 12 mg KOH/ g oil, 9.80 meq/kg oil และ 90 ตามลำดับ จากการทดลอง

พบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดโดยวิธีบีบเย็นมี ค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่ากรดไขมันอิสระ ต่ำกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่สกัดด้วยเฮกเซน จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยใช้วิธีการบีบเย็นได้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่มีสมบัติทางเคมีดีกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์

หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน อาจเนื่องมาจากน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้น้อยกว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยใช้เฮกเซน

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ และค่าสีของที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนและการบีบเย็น

สมบัติทางเคมี	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (ร้อยละ)	10.24 ± 0.73 ^{Aa}	7.32 ± 0.91 ^b
ค่าสี		
L*	95.48 ± 5.05 ^b	102.28 ± 8.11 ^a
a*	28.42 ± 1.21 ^b	36.63 ± 6.11 ^a
b*	5.14 ± 0.01 ^a	3.88 ± 0.05 ^b

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนและการบีบเย็น

สมบัติทางเคมี	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
ค่าของกรด (mg KOH/ g oil)	10.24 ± 0.03 ^{Aa}	8.32 ± 0.01 ^b
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg oil)	12.19 ± 0.04 ^a	9.64 ± 0.07 ^b
ค่าไอโอดีน	95.48 ± 0.05 ^b	102.28 ± 0.11 ^a
ค่ากรดไขมันอิสระ (%)	5.14 ± 0.01 ^a	4.18 ± 0.05 ^b

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และการบีบเย็นแสดงในตารางที่ 4 น้ำมันรำข้าวสังข์หยดมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนี้ Palmitic acid (21.93-20.10%), Oleic acid (41.01-44.20%) และ Linoleic acid (30.32-30.00%) น้ำมันรำข้าวสังข์

หยดบีบเย็นประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน Godber (2008) กล่าวว่า น้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบของกรดไขมันคล้ายคลึงกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม น้ำมันรำข้าวมีปริมาณ Oleic acid สูง แต่มี Linoleic acid ต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ซึ่ง

เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับน้ำมันถั่วลิสง Ramezanzadeh *et al.* (2000) รายงานชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันรำข้าว คือ Palmitic acid (12-18%), oleic acid (40-50%), และ Linoleic acid (30-35%) ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 90 ของกรดไขมันทั้งหมดในน้ำมันรำข้าว จากข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก (WHO) ที่แนะนำให้บริโภคน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันในอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว: กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว: กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน เท่ากับ 1 : 1.5 : 1 ซึ่งหมายความว่าให้บริโภคกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนน้อย ให้บริโภคกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวน้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ชนิดบีบเย็นพบว่ามีการกรดไขมันดังกล่าวในอัตราส่วน เท่ากับ 23.4 : 45.5: 31.3 หรือประมาณ 0.75: 1.45: 1 ซึ่งใกล้เคียงกับข้อเสนอแนะขององค์การอนามัยโลก จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ชนิดบีบเย็นไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่อไป

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณวิตามินและพฤษเคมี ในน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และการบีบเย็น จากการทดลองพบว่าน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ชนิดบีบเย็นประกอบด้วย วิตามินบี 3 วิตามินอี ไบโอดีน แกมมา-โอริซานอล และสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในปริมาณที่สูงกว่าในน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และไม่พบคอเลสเตอรอล วิตามินเอ บี 1 และ บี 2 ในน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดโดยทั้งสองวิธี ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ Moreau and Kamal-Elldin (2008) รายงานว่าน้ำมันที่ผ่านการสกัด โดยวิธีบีบเย็น ประกอบด้วย วิตามิน สารประกอบฟีนอล และคลอโรฟิลล์ ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน เนื่องจากวิตามินและสารพฤษเคมี มีโครงสร้างทางเคมีที่มีความมีขั้ว

และไม่มีขั้ว (Amphiphilic structure) อาจส่งผลให้ไม่สามารถละลายได้ดีในเฮกเซน ในระหว่างการสกัดที่อุณหภูมิห้อง แต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปน้ำมันรำข้าวที่ยังไม่ผ่านการทำบริสุทธิ์ ประกอบด้วย แกมมา-โอริซานอล ร้อยละ 1.5-2.9 Lai *et al.* (2009) รายงานว่าปริมาณน้ำมันรำข้าวประกอบด้วย สารประกอบฟีนอล แกมมา-โอริซานอล และ โทโคฟีรอลทั้งหมด ในปริมาณดังต่อไปนี้ 1.97-1.47 g/100 g, 0.98-1.31 g/100 g และ 21.3-100.7 mg/100 g ตามลำดับ Mezouari *et al.* (2006) รายงานปริมาณพฤษเคมีในน้ำมันรำข้าวของไทยประกอบด้วย โทโคฟีรอล 50.8 mg/100 g และ แกมมา โอริซานอล 1.60 g/100 g oil Narayana *et al.* (2002) รายงานปริมาณพฤษเคมีในน้ำมันรำข้าวของอินเดีย ประกอบด้วย แกมมา โอริซานอล 1.3-1.68 g/100 g จากการทดลองยังพบว่าน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ชนิดบีบเย็นประกอบด้วย วิตามินบี 3 และไบโอดีน และเป็นน้ำมันที่ปราศจากคอเลสเตอรอล ไม่ส่งผลต่อการเกิดการสะสมปริมาณคอเลสเตอรอลในกระแสดเลือด นอกจากนี้ น้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดทั้งสองวิธีประกอบด้วย วิตามินอี แกมมา โอริซานอล สารประกอบ ฟีนอลทั้งหมด และสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ในปริมาณที่สูง ดังนี้ 0.80-0.93 mg/g oil, 17.4-19.0 mg/g oil, 11.39-14.70 mg FAE/g oil and 6.90-7.54 mg CE/g oil ตามลำดับ ข้าวสังเคราะห์เป็นข้าวที่เชื่อมเมล็ดมีสีแดง ซึ่งส่งผลให้ข้าวสังเคราะห์มีวิตามินและพฤษเคมีชนิดต่างๆ สูง ปริมาณแร่ธาตุในน้ำมันรำข้าวส่งผลโดยตรง ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาน้ำมันรำข้าวและผลิตภัณฑ์จากน้ำมันรำข้าว จากการทดลองพบปริมาณแร่ธาตุในน้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และการสกัดด้วยวิธีบีบเย็น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) น้ำมันรำข้าวสังเคราะห์ที่ผ่านการสกัดโดยวิธีบีบเย็นมีปริมาณแร่ธาตุหลาย

ชนิด ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน ฟอสฟอรัส (P) เป็นแร่ธาตุที่พบในปริมาณสูงที่สุด (65.05-125.51 mg/kg) และปริมาณฟอสฟอรัส ที่พบในน้ำมันรำข้าวสังข์หยด ที่ผ่านการสกัดโดยวิธีบีบเย็นสูงกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน ประมาณ 2 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันรำข้าวที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำมันรำข้าวที่ยังไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ทำให้มีเหล็ก (Fe) และ ทองแดง (Cu) ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่ส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน ในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา ซึ่งอาจจะส่งผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาของน้ำมัน และผลิตภัณฑ์จากน้ำมัน น้ำมันรำข้าวสังข์หยดประกอบด้วยเหล็กเท่ากับ 1.42-2.08 mg/kg oil และ ทองแดงเท่ากับ 0.34-0.46 mg/kg oil ผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทางเดียวกันกับการศึกษาของ Mezouari *et al.* (2006) ซึ่งพบว่าน้ำมันรำข้าวของไทยที่ไม่ผ่านการทำบริสุทธิ์มีเหล็กเท่ากับ 2.6 mg/kg oil และ ทองแดงเท่ากับ 0.17 mg/kg oil ในการทดลองนี้พบแคดเมียม (Cd) ในน้ำมันที่ผ่านการสกัดโดยสองวิธี แต่ไม่พบ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) ในน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน แต่อย่างไรก็ตามพบ

แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) และ Pb ในปริมาณเล็กน้อยซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของน้ำมันบริโภคของไทย ปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดที่พบในน้ำมันรำข้าวอาจแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารตามธรรมชาติที่มีอยู่ในดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าว การปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม และกรรมวิธีการสกัดน้ำมัน เป็นต้น การสกัดน้ำมันโดยวิธีสกัดด้วยเฮกเซน มีปริมาณแร่ธาตุต่ำกว่าการสกัดโดยวิธีบีบเย็น เนื่องจากเฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งไม่มีขี้ ส่วนแร่ธาตุเป็นสารที่มีขี้ทำให้ไม่สามารถละลายในน้ำมันได้ดี จึงส่งผลให้มีแร่ธาตุละลายมากับน้ำมันได้น้อย

จากการศึกษาข้างต้นเห็นได้ว่า การสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยวิธีบีบเย็น ได้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่มีคุณภาพสูงกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว วิตามิน และพฤษเคมี ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน ดังนั้นจึงเลือกใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านวิธีการบีบเย็นไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกกึ่งข้าวสังข์หยดเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 4 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซน และการบีบเย็น

กรดไขมัน (g/100 oil)	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
Lauric acid (C12:0)	0.05 ± 0.002 ^{Aa}	ND
Myristic acid (C14:0)	0.37 ± 0.005 ^a	0.30 ± 0.003 ^a
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.03 ± 0.003 ^a	ND
Palmitic acid (C16:0)	21.93 ± 0.240 ^a	20.10 ± 0.250 ^b
Palmitoleic acid (C10:1 n-7)	0.21 ± 0.006 ^a	0.10 ± 0.003 ^a
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.05 ± 0.003 ^a	ND
Stearic acid (C18:0)	2.26 ± 0.030 ^a	2.00 ± 0.040 ^a
Cis-9-Octadecenoic acid (C18:1 n-9)	41.02 ± 0.075 ^b	44.20 ± 0.067 ^a

ตารางที่ 4 (ต่อ)

กรดไขมัน (g/100 oil)	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
Cis-9,12-Octadecenoic acid (C18:2 n-6)	30.32 ± 0.095 ^a	30.00 ± 0.106 ^a
Cis-9,12,15-Octadecenoic acid (C18:3 n-3)	1.56 ± 0.080 ^a	1.30 ± 0.030 ^a
Arachidic acid (C20:0)	0.84 ± 0.050 ^a	0.40 ± 0.003 ^b
Cis-11-Eicosenoic acid (C20:1 n-9)	0.52 ± 0.080 ^a	0.20 ± 0.008 ^b
Behenic acid (C22:0)	0.27 ± 0.026 ^a	0.20 ± 0.003 ^a
Lignoceric acid (C24:0)	0.39 ± 0.003 ^a	0.40 ± 0.005 ^a
Total monounsaturated fatty acid	41.75	44.50
Total polyunsaturated fatty acid	31.88	31.30
Total unsaturated fatty acid	73.63	75.80
Total saturated fatty acid	26.19	23.40

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ND= ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (Not detectable)

ตารางที่ 5 ปริมาณวิตามินและสารพฤกษเคมีในน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่ผ่านการสกัดด้วยเฮกเซนและการบีบเย็น

ปริมาณ	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
Vitamin A (mg/g oil)	ND	ND
Vitamin B1 (mg/g oil)	ND	ND
Vitamin B2 (mg/g oil)	ND	ND
Vitamin B3 (mg/g oil)	0.02 ± 0.003 ^{Aa}	0.03 ± 0.004 ^a
Vitamin B6 (mg/g oil)	ND	ND
Vitamin E (mg/g oil)	0.80 ± 0.003 ^b	0.93 ± 0.005 ^a
Biotin (μg/g oil)	0.10 ± 0.021 ^b	0.30 ± 0.006 ^a
Cholesterol (mg/g oil)	ND	ND
Gamma oryzanol (mg/g oil)	17.4 ± 0.02 ^b	19.0 ± 0.01 ^a
Total phenolic content (mgFAE/g oil) ^B	11.39 ± 0.36 ^b	14.70 ± 0.37 ^a
Total flavonoid content (mgCE/g oil) ^C	6.90 ± 0.33 ^a	7.54 ± 0.31 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^B FAE = Ferulic acid equivalent ^C CE = Catechin equivalent ND= ตรวจไม่พบ (Not detectable)

ตารางที่ 6 ปริมาณแร่ธาตุ (Element contents) ในน้ำมันรำข้าวสังข์หยด ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์และการสกัดด้วยวิธีบีบเย็น

ปริมาณแร่ธาตุ (mg/kg)	วิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยด	
	การสกัดด้วยเฮกเซน	การสกัดด้วยวิธีบีบเย็น
Calcium (Ca)	19.20 ± 0.040 ^{Ab}	33.89 ± 0.217 ^a
Phosphorus (P)	65.05 ± 0.083 ^b	125.51 ± 0.127 ^a
Magnesium (Mg)	10.55 ± 0.090 ^a	8.64 ± 0.110 ^b
Potassium (K)	6.72 ± 0.115 ^a	5.93 ± 0.105 ^a
Iron (Fe)	1.42 ± 0.003 ^b	2.08 ± 0.002 ^a
Copper (Cu)	0.46 ± 0.003 ^a	0.34 ± 0.002 ^a
Cadmium (Cd)	0.01 ± 0.000 ^a	0.01 ± 0.001 ^a
Arsenic (As)	ND	0.03 ± 0.002 ^a
Lead (Pb)	ND	0.49 ± 0.003 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแถวแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ND= ตรวจไม่พบ (Not detectable)

2. การประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด

ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบีบเย็นในผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ทำการทดแทนเนยเทียมในสูตรคุกกี้ข้าวสังข์หยด โดยใช้รำข้าวสังข์หยดบีบเย็นในระดับต่างๆ โดยมีระดับการทดแทนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 แล้วนำคุกกี้ที่ได้จากการทดแทนเนยเทียมดังกล่าว ไปวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ได้แก่คุณภาพทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัส ดังแสดงในตารางที่ 7-11

จากการทดลองพบว่าการใช้รำข้าวสังข์หยดบีบเย็น ทดแทนเนยเทียมที่ระดับร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน และปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด แต่ส่งผลให้คุกกี้

มีปริมาณความชื้นสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ใช้เนยเทียมล้วน ($p < 0.05$) ในทางกลับกันมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าชุดควบคุม (ร้อยละ 0) (ตารางที่ 7) แต่อย่างไรก็ตามคุกกี้ที่ใช้รำข้าวสังข์หยดทดแทนเนยเทียม ในระดับร้อยละ 5 และ 10 คุกกี้มีปริมาณความชื้นและโปรตีนไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($p \geq 0.05$) คุกกี้ทุกตัวอย่างยังคงมีปริมาณความชื้นที่ต่ำมาก คือไม่เกินร้อยละ 4 และค่าวอเตอร์แอกติวตี (a_w) ไม่เกิน 0.4 ดังนั้นจึงไม่น่าจะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (Fennema, 1996) ถึงแม้ว่าคุกกี้ข้าวสังข์หยดจะมีไขมันสูง แต่เป็นแหล่งของไขมันคุณภาพดีจากน้ำมันรำข้าว ซึ่งมีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวสูงและยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เช่น วิตามินอี และแกมมา โอริซานอล (Thanonkaew *et al.*, 2012)

ตารางที่ 7 สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยดที่มีการทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการทดแทน (ร้อยละ)	สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด				
โปรตีน (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	
0	6.01±0.02 ^A	21.48±0.23 ^a	2.47±0.2 ^b	1.67±0.09 ^a	0.29±0.01 ^a
5	6.01±0.11 ^a	21.51±0.25 ^a	2.53±0.14 ^b	1.70±0.03 ^a	0.32±0.02 ^a
10	5.85±0.08 ^b	21.32±0.57 ^a	3.74±0.08 ^a	1.67±0.08 ^a	0.34±0.01 ^a
15	5.90±0.13 ^b	21.38±0.48 ^a	3.82±0.11 ^a	1.67±0.09 ^a	0.31±0.01 ^a
20	5.74±0.05 ^b	21.44±0.26 ^a	3.74±0.26 ^a	1.61±0.05 ^a	0.29±0.02 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสดมภ์แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการศึกษาผลของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด พบว่าการทดแทนเนยเทียมโดยใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ทำให้คุกกี้มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในตารางที่ 8 ปริมาณน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คุกกี้มีสีเข้มขึ้น การเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ส่งผลให้คุกกี้มีค่าความสว่าง (L^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง และค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเฉพาะในการทดแทนที่อยู่ในระดับสูง ร้อยละ 15 และ 20 ส่วนการทดแทนเนยเทียมโดยใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดในระดับร้อยละ 5 ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ($p\geq 0.05$) เมื่อศึกษาผลของน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ในด้านความแข็ง ความเปราะ อัตราการแผ่ และความหนาแน่น พบว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นมีผลให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดมีความแข็ง ความเปราะ อัตราการแผ่ และความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 9 และ 10) เนื้อคุกกี้ที่มีน้ำมันรำข้าวสังข์หยด

เป็นส่วนผสม มีลักษณะแบนบาง มีความหนาแน่น ความแข็ง และความเปราะสูงกว่าคุกกี้ชุดควบคุม นอกจากนี้จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ดังกล่าวข้างต้นจะเกิดมากขึ้น ตามระดับการทดแทน โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพบางด้านจะเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ก็ต่อเมื่อใช้ทดแทนที่ระดับสูง เช่น ค่าอัตราการแผ่ และความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อทดแทนเนยเทียมร้อยละ 5 แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับการทดแทนดังกล่าวไม่มีผลต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด ($p\geq 0.05$) ความหนาแน่นของคุกกี้มากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งและอัดตัวกันแน่น และมีรูพรุนของฟองอากาศน้อย (Pareyt *et al.*, 2008) เนยเทียมเป็นไขมันจากพืชที่นิยมใช้ในการผลิตคุกกี้เนย เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเนย (Butter) แต่ยังสามารถทำให้คุกกี้เนยยังมีเนื้อสัมผัสที่ดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในปริมาณสูงทำให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดมีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นมีคุณสมบัติการเกิดคริมที่น้อยกว่าเนยเทียม ทำให้คุกกี้ข้าวสังข์หยดที่มีการทดแทน

เนยเทียมที่สูงขึ้น มีค่าความแข็งและความหนาแน่น สูงกว่าลูกเกี๊ยวที่สูตรควบคุมที่ใช้เนยเทียมร้อยละ 100

ตารางที่ 8 ค่าสีของของผลิตภัณฑ์ลูกเกี๊ยวสังขยัดที่มีการทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังขยัดบดบดเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการ ทดแทน (ร้อยละ)	ค่าสี		
	L*	a*	b*
0	91.88±6.39 ^{A a}	11.65±0.20 ^b	41.94±1.41 ^a
5	90.04±5.81 ^a	11.22±0.09 ^b	38.18±1.30 ^b
10	86.40±2.32 ^b	11.32±0.63 ^b	35.94±3.75 ^c
15	78.08±1.70 ^c	14.16±1.02 ^a	34.51±3.02 ^d
20	75.39±4.89 ^d	14.28±0.45 ^a	33.86±1.71 ^d

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 9 ลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแข็ง (Hardness) และความเปราะ (Fracturability) ของผลิตภัณฑ์ลูกเกี๊ยวสังขยัดที่ทดแทนเนยเทียม ด้วยน้ำมันรำข้าวสังขยัดบดบดเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการทดแทน (ร้อยละ)	ความแข็ง (กรัม)	ความเปราะ (กรัม)
0	2968.38±751.26 ^c	2958.75±253.95 ^c
5	3137.59±654.14 ^b	3478.39±448.67 ^d
10	3476.03±656.95 ^a	4007.36±517.84 ^c
15	4354.95±765.70 ^a	4399.40±702.76 ^b
20	4478.95±915.79 ^a	4521.44±519.70 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 10 อัตราการแผ่ (Spread ratio) และความหนาแน่น (Bulk density) ของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยดที่ทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการทดแทน (ร้อยละ)	อัตราการแผ่	ความหนาแน่น (g/ml)
0	5.26±0.15 ^c	0.34±0.02 ^c
5	5.79±0.22 ^b	0.37±0.01 ^b
10	5.82±0.23 ^{ab}	0.38±0.01 ^b
15	5.93±0.02 ^a	0.37±0.02 ^b
20	5.99±0.38 ^a	0.41±0.02 ^a

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสมมติฐานแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ข้าวสังข์หยดที่ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นทดแทนเนยเทียมโดยใช้ 9-point hedonic scale ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่วัดความรู้สึกส่วนตัวของผู้ทดสอบชิม ที่ตอบสนองต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่กำลังทดสอบ การทดสอบนี้ใช้ผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 50 คน เนื่องจากเป็นกลุ่มคนที่ให้ข้อมูลในแง่ปฏิกิริยาตอบสนองต่อความชอบ ในผลิตภัณฑ์ที่กำลังทดสอบได้เป็นอย่างดี คุณลักษณะที่ทดสอบประกอบด้วยลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม ผลการทดสอบดังตารางที่ 11 พบว่าคุกกี้ข้าวสังข์หยดที่ใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นทดแทนเนยเทียมส่งผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลดลงในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะคุณลักษณะในด้าน

กลิ่นและรสชาติ ซึ่งแสดงความแตกต่างให้เห็นอย่างเด่นชัดเมื่อระดับการทดแทนตั้งแต่ร้อยละ 10 ส่วนการทดแทนที่ระดับร้อยละ 5 คะแนนทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ข้าวสังข์หยดมีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($p \geq 0.05$) ส่วนที่ระดับการทดแทนร้อยละ 15 และ 20 ส่งผลต่อความชอบในด้านสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวสังข์หยด

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่ากลิ่นและรสชาติของคุกกี้ข้าวสังข์หยดเป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่แสดงให้เห็นได้ชัดเนื่องจากการใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็น ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในด้านกลิ่นและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากการใช้น้ำมันรำข้าวบิบเย็น

ตารางที่ 11 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยดที่ทดแทนเนยเทียมด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในระดับต่างๆ

ระดับการทดแทน (ร้อยละ)	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส (9 point hedonic scale)					
	ลักษณะ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ รวม
0	8.12±0.77 ^a	8.10±0.74 ^a	8.16±0.66 ^a	8.22±0.82 ^a	8.22±0.79 ^a	8.58±0.54 ^a
5	8.04±0.86 ^a	8.00±0.78 ^a	7.94±0.77 ^a	7.96±0.86 ^b	8.16±0.82 ^a	8.28±0.83 ^a
10	8.12±0.82 ^a	7.96±0.72 ^a	5.36±1.0 ^c	5.26±1.03 ^c	7.88±0.80 ^b	5.34±0.98 ^b
15	7.70±0.81 ^b	7.38±0.60 ^{ab}	2.70±1.30 ^d	2.62±1.12 ^d	7.64±0.81 ^b	2.36±1.08 ^c
20	7.74±0.80 ^b	7.10±0.68 ^b	1.86±1.03 ^c	1.68±0.74 ^c	7.66±0.86 ^b	1.96±0.95 ^d

^A ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในสมมติแสดงให้ถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุป

การสกัดน้ำมันรำข้าวสังข์หยดโดยวิธีบิบเย็นเป็นวิธีที่ได้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้น้อยกว่าการสกัดด้วยเฮกเซน แต่ได้น้ำมันที่มีคุณภาพและให้คุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน น้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นมีค่ากรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่ากรดไขมันอิสระ ต่ำกว่าน้ำมันรำข้าวสังข์หยดที่สกัดด้วยเฮกเซน แต่มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว วิตามิน และพฤกษเคมี ในระดับที่สูงกว่าน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน การทดแทนเนยเทียมในลูกก๊ี้ด้วยน้ำมันรำข้าวสังข์หยดบิบเย็นในปริมาณร้อยละ 5 ทำให้ลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยดมีคุณภาพใกล้เคียงกับลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยดชุดควบคุมที่ไม่มีการทดแทนเนยเทียมมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมันรำข้าวสังข์หยดทดแทนเนยเทียมตั้งแต่ร้อยละ 10 ขึ้นไปจะส่งผลในเชิงลบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลูกก๊ี้ข้าวสังข์หยด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากงบประมาณเงินแผ่นดิน สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปี 2558 ขอขอบคุณนิสิตและบุคลากร จากคณะอุตสาหกรรมเกษตรและชีวภาพ และคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ช่วยดำเนินการให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AACC. 2000. **Approved Method of the American Association of Cereal Chemists.** 8th ed. The American Association of Chemists, Minnesota.
- AOAC. 1999. **Official Method of Analysis.** 16th ed. Association of Official Analytical Chemists., Washington DC.
- AOAC. 2000. **Official methods of analysis.** 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.

- Fennema, O.R. 1996. **Food chemistry**. 3rd ed. Marcel Dekker, New York.
- Godber, J.S. 2008. Rice bran oil, pp. 377-408. *In* Moreau, R.A. and Kamal-Elddin, A., eds. **Gourmet and health-promoting specialty oils**. AOCS Press, Illinois.
- Jia, Z., Tang, M. and Wu, J. 1998. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxides radicals. **Food Chemistry** 64: 555-559.
- Juliano, B.O. 1985. **Rice Chemistry and technology**. The American Association of Cereal Chemist, St. Palu.
- Lai, P., Li, K.Y., Lu, S. and Chen, H.H. 2009. Phytochemicals and antioxidant properties of solvent extracts from Japonica rice bran. **Food Chemistry** 117: 538-544.
- Mezouari, S., Eichner, K., Kochharb, S.P. and Schwarz, K. 2006. Effect of the full refining process on rice bran oil composition and its heat stability. **European Journal of Lipid Science and Technology** 108: 193-199.
- Mezouari, M. and Eichner, K. 2007. Comparative study on the stability of crude and refined rice bran oil during long-term storage at room temperature. **European Journal of Lipid Science and Technology** 109: 198-205.
- Moreau, R.A. and Kamal-Elddin, A. 2008. Introduction, pp. 1-32. *In* Moreau, R.A. and Kamal-Elddin, A., eds. **Gourmet and health-promoting specialty oils**. AOCS Press, Illinois.
- Narayana, N., Kaimai, B., Vali, S.R., Surya, B.V., Rao, K., Chakrabarti, P.P., Vijayalakshmi, P., Kale, V., Narayana, K., Rani, P., Rajamma, O., Bhaska, P.S. and Roa, T.C. 2002. Origin of problems encountered in rice bran oil processing. **European Journal of Lipid Science and Technology** 104: 203-211.
- Pareyt, B., Wilderjans, E., Goesaert, H., Brijs, K. and Delcour, J.A. 2008. The role of gluten in a sugar-snap cookie system: a model approach based on gluten-starch blends. **Journal of Cereal Science** 48(3): 863-869.
- Proctor, A. and Bowen, D.J. 1996. Ambient-temperature extraction of rice bran oil with hexane and isopropanol. **Journal of the American Oil Chemists Society** 73: 811-813.
- Ramezanzadeh, F.M., Rao, R.M., Prinyawiwatukul, W., Marshall, W.E. and Windhauser, M. 2000. Effects of microwave heat, packaging, and storage temperature on fatty acid and proximate compositions in rice bran. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 48: 464-467.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. **Principles and procedures of statistics: A biometrical approach**. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- Thanonkaew, A. and Wongyai, S. 2011. Process development for quality improvement of cold-pressed rice bran oil. **Area Based**

Development Research Journal 3(5): 97-

113. (in Thai)

Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements, D.J. and Decker, E.A. 2012. Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (*Oryza sativa* L.).

LWT - Food Science and Technology 48:

231-236.

Zigoneanu, I.G., Williams, L., Xu, Z. and Sabliov, C.M. 2008. Determination of antioxidant components in rice bran oil extracted by microwave-assisted method. **Bioresource Technology** 99: 4910-4918.

สมบัติทางด้านซีเมนต์ของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามิเนต จากขยะอิเล็กทรอนิกส์

Cementitious Properties of Cement Paste mixed with Laminated Powder from Electronic Waste

กฤษดา เสือเอี่ยม^{1*} อติศักดิ์ ข่ายม่าน¹ บุรฉัตร ฉัตรวีระ¹ และ ณัฐฐ์ มากุล²

Gritsada Sua-iam^{1*}, Adisak Khymarn¹, Burachat Chatveera¹ and Natt Makul²

Received: 13 April 2020, Revised: 5 June 2020, Accepted: 10 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางด้านซีเมนต์ของซีเมนต์เพสต์ผสมขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Waste) ในรูปของผงลามิเนต ซึ่งเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้กลับมาใช้ประโยชน์ เป็นวัสดุซีเมนต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถูกแทนที่ด้วยผงลามิเนตที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุ สมบัติของซีเมนต์เพสต์ในสภาวะยังไม่แข็งตัวและแข็งตัวแล้ว ผลการทดสอบพบว่า ผงลามิเนตมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 35.95 ความต้องการน้ำและระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามิเนตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นและกำลังอัดลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งผลของการผสมผงลามิเนตมีนัยยะสำคัญในการลดความหนาแน่นแบบแห้งและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์

คำสำคัญ: ขยะอิเล็กทรอนิกส์, ผงลามิเนต, สมบัติทางด้านซีเมนต์, กำลังอัด, การนำความร้อน

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต 99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Rangsit Campus, 99 Moo 18, Paholayothin Road, Klong Nueng, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand.

² สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

² Department of Civil Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, 9 Chaeng Watthana Road, Anusawari, Bang Khen, Bangkok 10220, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): gritsada.s@rmutp.ac.th

ABSTRACT

The objective of this research was to study the cementitious properties of cement paste mixed with electronic-laminated powder (EP), electronic waste and non-degradable, as a cement material. Portland cement Type 1 was partially replaced by EP at a replacement rates of 10, 20, 30, 40 and 50 % by weight. The chemical and physical properties of EP were studied. Properties of fresh and hardened paste were tested. The results showed that EP had silicon dioxide (SiO_2) as a main component of 35.95 % by mass. Water requirement and setting time of EP-cement paste increased as the replacement rate increased. However, the density and compressive strength decreased as the replacement rate increased. In addition, the effect of EP mixed can significantly reduce the dry density and the thermal conductivity property of cement pastes.

Key words: electronic waste, laminated powder, cementitious properties, compressive strength, thermal conductivity

บทนำ

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในการสร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Waste from Electrical and Electronic Equipment, WEEE) ปริมาณมากในแต่ละปี โดยขยะอิเล็กทรอนิกส์หมายถึง ซากเครื่องใช้หรืออุปกรณ์ ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กในการทำงานที่ไม่ได้ตามมาตรฐาน (Off-specification) หรือหมดอายุการใช้งานหรือล้าสมัย (Pollution Control Department, 2016) ซึ่งขยะอิเล็กทรอนิกส์นี้สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำ ทำการรีไซเคิล หรือการกำจัดทิ้ง แต่สำหรับในประเทศไทยการจัดการกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่มีวิธีการกำจัดที่เหมาะสมทำให้มีปริมาณขยะดังกล่าวตกค้างจนอาจเป็นปัญหากับชีวิตและสภาพแวดล้อมทั้งในระยะ

สั้นและระยะยาว (Senthil Kumar and Baskar, 2015) โดยจากข้อมูลรายงานของ E-Waste Green Network (2020) พบว่าปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณ 44.7 ล้านตันต่อปี และคาดการณ์ว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 49.8 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2561 และ 52.2 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2564 ตามลำดับ โดยเฉพาะในประเทศไทยมีการคาดการณ์ปริมาณซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ใน พ.ศ. 2559 จะมีประมาณ 393,070 ตันต่อปี เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2558 ร้อยละ 2.29 ที่คาดการณ์ว่ามีประมาณ 384,233 ตันต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในตารางที่ 1 (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2017)

ตารางที่ 1 ปริมาณการเกิดซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สำหรับประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2557-2559 (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2017)

ลำดับ	ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	ปริมาณซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (ตัน/ปี)		
		พ.ศ. 2557	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559
1	โทรทัศน์	103,610	106,335	108,781
2	เครื่องปรับอากาศ	73,469	74,799	76,519
3	ตู้เย็น	64,540	65,765	67,278
4	เครื่องซักผ้า	60,282	60,492	61,883
5	คอมพิวเตอร์	55,195	57,058	58,370
6	เครื่องเล่นวีซีดี/ดีวีดี	17,859	17,912	18,324
7	โทรศัพท์	1,658	1,682	1,721
8	กล้องถ่ายรูปดิจิตอล	188	190	194
รวม		376,801	384,233	393,070

เนื่องจากส่วนประกอบของขยะอิเล็กทรอนิกส์มีแร่โลหะที่มีมูลค่าสูง อาทิ ทองคำ เงิน ทองแดง อะลูมิเนียม เป็นต้น ดังนั้นในหลายอุตสาหกรรมจึงมีแนวทางในการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยสามารถสร้างผลตอบแทนสูงหลายเท่าตัว ดังเช่นในประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าขยะอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า 50,000 ตัน จากประเทศญี่ปุ่น ฮองกง และสิงคโปร์ มาบำบัดและแปรรูปในโรงงานมากกว่าร้อยละ 98 โดยขยะอิเล็กทรอนิกส์ได้แก่ โทรศัพท์มือถือ แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ (Isranews Agency, 2018) อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทย ซึ่งการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ยังมีปัญหาเกี่ยวกับระบบการจัดการที่ครบวงจรตั้งแต่การผลิตสินค้าอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การเก็บรวบรวมที่ยังไม่สามารถคัดแยกออกเพื่อนำไปบำบัดกำจัดแยกต่างหากจากการจัดการขยะทั่วไปตามหลักการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี ทำให้อาจเกิดอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในระบบนิเวศน์ นอกจากนี้ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมของเสีย

อันตรายประเภทขยะอิเล็กทรอนิกส์หรือซากผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่อย่างใด (Nakornjan and Sopa, 2018)

ในบรรดาขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่พบในปริมาณสูงจะเป็นแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยเมื่อนำมาทำการบดย่อยเศษซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีทองแดงบริสุทธิ์ ไยแก้ว และเทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) ในลักษณะผงละเอียดจากการย่อยเศษซากวัสดุชนิดนี้สูงถึง 8.3-9.1 ล้านตัน (Marques *et al.*, 2013) โดยผงที่ได้จากการบดย่อยเศษซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีความละเอียดสูง มีการนำความร้อนต่ำและน้ำหนักเบา ทำให้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำผงที่ได้จากการบดย่อยเศษซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์กลับมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่ม (Ban *et al.*, 2005) หรือแทนที่มวลรวมในมอร์ต้าร์ (Nagajothi and Felixkala, 2015; Premur *et al.*, 2016) และคอนกรีต (Senthil Kumar and Baskar, 2015; Patidar *et al.*, 2017; Bala Subramanian *et al.*, 2018) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของ

งานวิจัยนี้จึงมีความแตกต่างและนับเป็นสิ่งใหม่ในการนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมบัติของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามิเนตทั้งในสภาวะยังไม่แข็งตัวและแข็งตัวแล้วเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเชิงลึกถึงผลกระทบดังกล่าวต่อสมบัติของคอนกรีตต่อไปในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

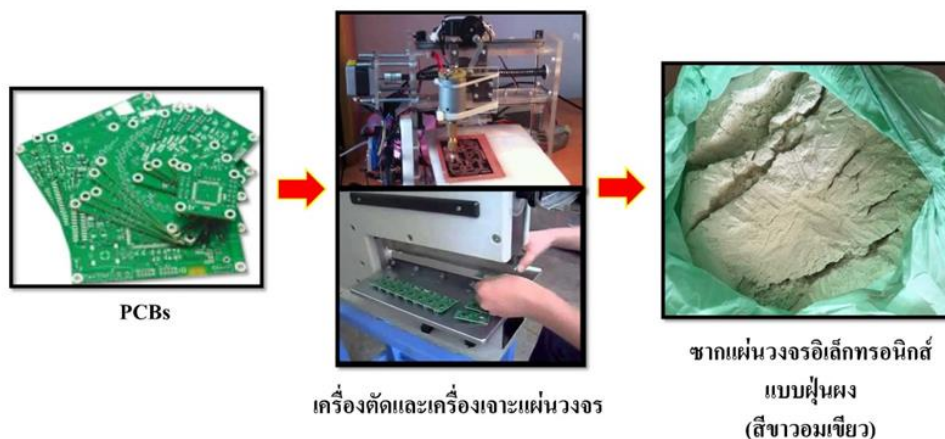
วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบได้ด้วย วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ สัดส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ การเตรียมตัวอย่าง และการทดสอบซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามิเนต มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. วัสดุ

1.1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C150 (ASTM, 2018a)

1.2. ผุ่นผงจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือ “ผงลามิเนต (Ground electronic-laminated powder (EP))” มีลักษณะเป็นผุ่นแป้งสีขาวอมเขียวอ่อนซึ่งได้มาจากกระบวนการตัดหรือเจาะแผ่นวงจรเพื่อนำมาขึ้นรูปและใส่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิต (Printed Circuit Board: PCBs) ดังแสดงในภาพที่ 1

1.3. น้ำประปาที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 7.5



ภาพที่ 1 กระบวนการตัดแผ่นหรือเจาะแผ่นวงจร

2. สัดส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์

สัดส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามิเนตถูกกำหนดโดยทำการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุผง (water-to-powder ratio) กำหนด

จากความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ในแต่ละสัดส่วนผสม เมื่อเติมไวแคตจมลงในซีเมนต์เพสต์ 10 ± 1 มิลลิเมตร ภายในระยะเวลา 30 วินาที โดย EPz คือ ซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามิเนตบดซึ่งแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนร้อยละ z โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ควบคุมและซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต

ส่วนผสม	สัดส่วน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ผงลามีเนต
EPO (ซีเมนต์เพสต์ควบคุม)	100	-
EP10	90	10
EP20	80	20
EP30	70	30
EP40	60	40
EP50	50	50

3. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

สำหรับขั้นตอนการผสมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตเป็นไปตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) หลังจากทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตามสัดส่วนผสมที่กำหนดแล้วจึงทำการทดสอบสมบัติของซีเมนต์เพสต์ในสภาวะยังไม่แข็งตัวตามมาตรฐาน ASTM จากนั้นจึงทำการเทลงแบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. × 5 ซม. × 5 ซม. ทำการอัดแน่นและปิดคลุมด้วยแผ่นพลาสติกเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจึงทำการแกะแบบและบ่มในน้ำจนถึงอายุการทดสอบ การทดสอบสมบัติทางด้านซีเมนต์ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต ได้แก่

1. ความชื้นเหลวปกติ (Normal Consistency) ตามมาตรฐาน ASTM C187 (ASTM, 2018b) โดยการนำซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแล้วใส่ลงในวงแหวนรูปกรวย (Conical Ring) วางบนเครื่องทดสอบ Vicat Consistency Apparatus รุ่น H-3050 ของ Humboldt ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้แกนเหล็ก (Plunger) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. น้ำหนัก 300 กรัม เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากระยะการจมลงของแกนเหล็กในซีเมนต์เพสต์ 10 ± 1 มิลลิเมตร ภายในระยะเวลา 30 วินาที

2. ระยะเวลาการก่อตัว (Setting time) ตามมาตรฐาน ASTM C191 (ASTM, 2018c) โดยการนำซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแล้วใส่ลงในวงแหวนรูปกรวย (Conical Ring) วางบนเครื่องทดสอบ Vicat Consistency Apparatus รุ่น H-3050 ของ Humboldt ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้เข็มทดสอบ (Needle) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ยาว 50 มม. เพื่อวัดระยะการจมลงของเข็มทดสอบในซีเมนต์เพสต์ภายในระยะเวลา 30 วินาที ทั้งนี้ระยะเวลาที่เข็มทดสอบจมลงในซีเมนต์เพสต์ 25 มิลลิเมตร หมายถึงระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) และระยะเวลาที่เข็มทดสอบไม่สามารถจมลงในซีเมนต์เพสต์ได้ หมายถึงการก่อตัวสุดท้าย (Final Setting Time)

3. กำลังอัด (Compressive Strength) ตามมาตรฐาน ASTM C109 (ASTM, 2018d) โดยการนำตัวอย่างทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. × 5 ซม. × 5 ซม. ซึ่งทำการบ่มในน้ำจนถึงอายุทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ มาทำการทดสอบหาแรงกดสูงสุดที่ตัวอย่างทดสอบรับได้ด้วยเครื่อง Concrete Compression Machine รุ่น MC-250 CPF ของ Gilson ประเทศสหรัฐอเมริกา จากนั้นทำการคำนวณค่ากำลังอัด ได้จากสมการที่ (1)

$$\text{กำลังอัด (MPa)} = \text{แรงกดสูงสุด (kN)} / \text{พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงกด (mm}^2\text{)} \quad (1)$$

4. ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต โดยหลังจากบ่มแห้งตัวอย่างเป็นเวลา 28 วัน นำไปอบในเตาอบ (Drying and heating chambers) รุ่น ED 115 ของ BINDER ประเทศเยอรมัน ที่อุณหภูมิ 105°C

เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนกระทั่งมีมวลคงที่และทำการชั่งน้ำหนักแห้ง (W_1) จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการชั่งน้ำหนักเปียก (W_2) ทำการคำนวณค่าร้อยละการดูดซึมน้ำได้จากสมการที่

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100 \quad (2)$$

5. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต มีขั้นตอนการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน EN12667 (BS, 2001) ด้วยเครื่องมือ Hot Disk Thermal Constants Analyzer รุ่น TPS 2500 S ของ Hot Disk AB ประเทศสวีเดน

เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 65.56 รองลงมาคือซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 19.96 อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 4.99 และไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 2.68 น้ำหนักที่หายไปจากการเผา (LOI) ร้อยละ 0.19 พื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 3,376 cm^2/g . และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 ในขณะที่ผงลามีเนต มีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 35.95 รองลงมาคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 13.94 อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 10.87 และไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 1.33 น้ำหนักที่หายไปจากการเผา (LOI) ร้อยละ 37.55 พื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 1,258 cm^2/g . และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.20

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. องค์ประกอบเคมีและสมบัติกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงลามีเนต

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงลามีเนต แสดงได้ดังตารางที่ 3 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO)

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงลามีเนต

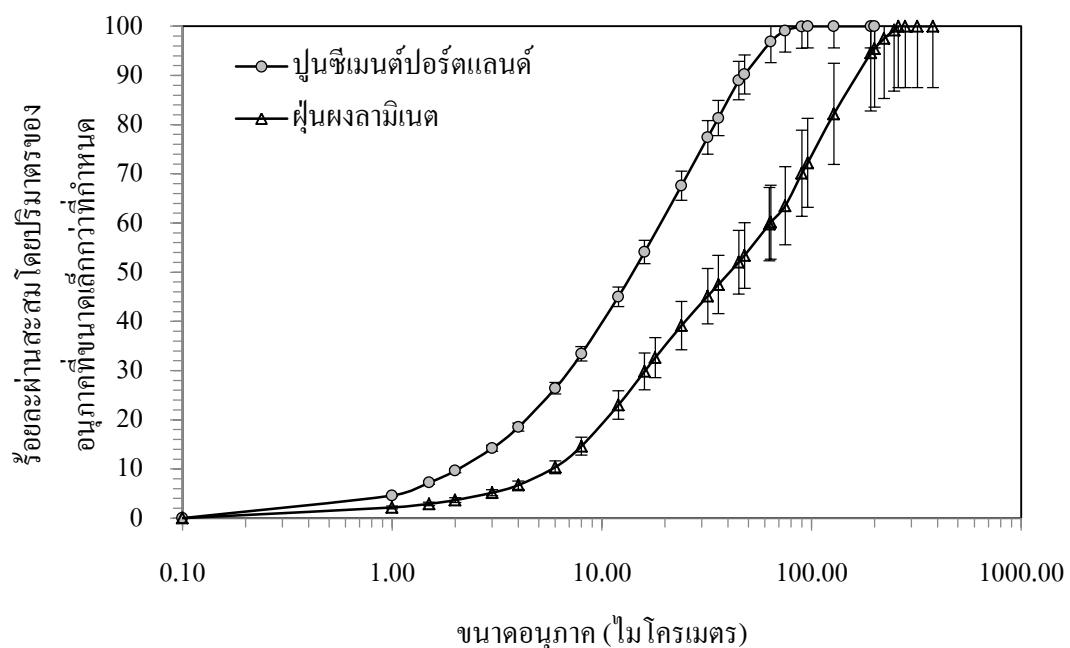
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ผงลามีเนต
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
Silicon Dioxide (SiO_2)	19.96	35.95
Aluminium Oxide (Al_2O_3)	4.99	10.87
Iron Oxide (Fe_2O_3)	2.68	1.33
Calcium Oxide (CaO)	65.56	13.94
Magnesium Oxide (MgO)	1.18	0.40
Potassium Oxide (K_2O)	0.48	0.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1		ผงลามีเนต
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)		
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0.08	0.09
Sulfur Trioxide (SO ₃)	2.22	0.21
Loss on Ignition (LOI)	0.96	37.55
สมบัติทางกายภาพ		
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	0.19	0.79
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ม ² /ก.)	3,376	1,258
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	1.20
ความหนาแน่น (กก/ม ³ .)	1,316	710
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร, μm)	14.06	40.8

เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคเฉลี่ย (Mean Size Particle) และการกระจายขนาดคละ (Particle Size Distribution) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงลามีเนต โดยทำการทดสอบด้วยเครื่อง Particle Size Analyzer ผลการทดสอบพบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีขนาดอนุภาค

เฉลี่ยเล็กกว่าผงลามีเนต โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เท่ากับ 14.06 ไมโครเมตร และขนาดเฉลี่ยอนุภาคของผงลามีเนต เท่ากับ 40.8 ไมโครเมตร โดยการกระจายขนาดคละ ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงลามีเนต แสดงดังภาพที่ 2



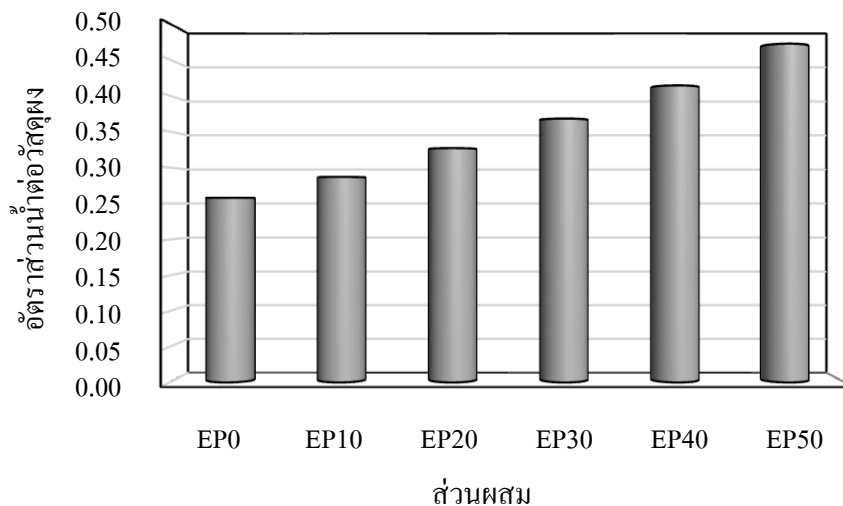
ภาพที่ 2 การกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงลามีเนต

2. สมบัติของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามิเนตในสถานะยังไม่แข็งตัว

2.1 ความชื้นเหลวปกติ

ปริมาณน้ำในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์เพื่อให้ได้ค่าความชื้นเหลวปกติ เมื่อเข็มโวลูเมตริกจมลงในซีเมนต์เพสต์ 10 ± 1 มิลลิเมตร ภายในระยะเวลา 30 วินาทีของแต่สัดส่วนผสม พบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามิเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมซึ่งแสดงในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุผง (water-to-powder ratio) เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3 โดยอัตราน้ำต่อวัสดุผงเพิ่มขึ้นจาก 0.26, 0.29, 0.33, 0.37, 0.41 และ 0.46 เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ

ละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ เนื่องจากผงลามิเนตที่ได้จากการการบดย่อยเศษซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีความพรุนสูง (Nagajothi and Felixkala, 2015) ส่งผลให้มีการดูดซับน้ำที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 รวมถึงฝุ่นที่อาจมีปะปนมากับผงลามิเนตที่ได้จากการบดย่อยเศษซากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของขยะอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนผสมคอนกรีตส่งผลให้ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตลดลง (Senthil Kumar and Baskar, 2015; Patidar *et al.*, 2017; Bala Subramanian *et al.*, 2018)



ภาพที่ 3 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามิเนต

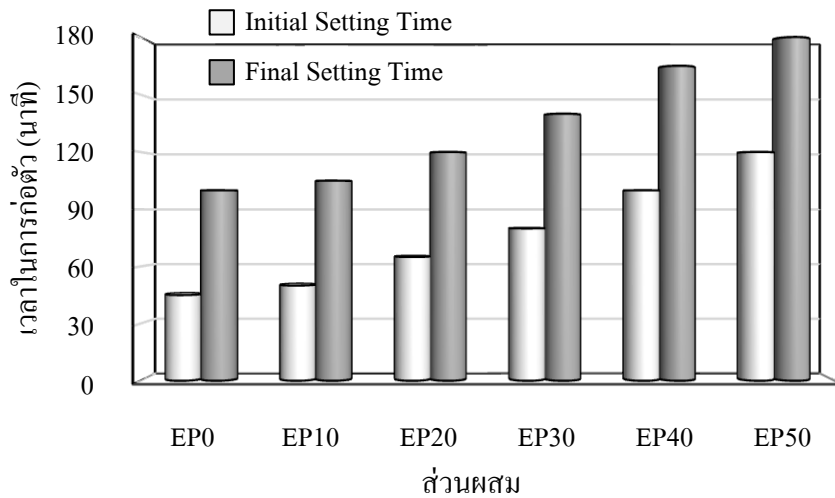
2.2 ระยะเวลาการก่อตัว

เมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามิเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4 การก่อตัวระยะต้นเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 50, 65, 80, 100 และ 120 นาที และการก่อตัวระยะปลายเพิ่มขึ้นจาก 100 นาที เป็น 105, 120, 140, 165 และ 190 นาที เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0,

10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์เพิ่มมากขึ้นจากการแทนที่ผงลามิเนตเพิ่มมากขึ้น จากผลของปริมาณน้ำในส่วนผสมมากเกินไปจนทำให้มีน้ำส่วนเกินจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพสต์ซึ่งส่งผลหน่วงการก่อตัวของเพสต์ด้วย รวมถึงปริมาณแคลเซียมออกไซด์ของเพสต์ที่ลดลงเนื่องจากปริมาณการแทนที่ผงลามิเนตในปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการ

เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงตามไปด้วย



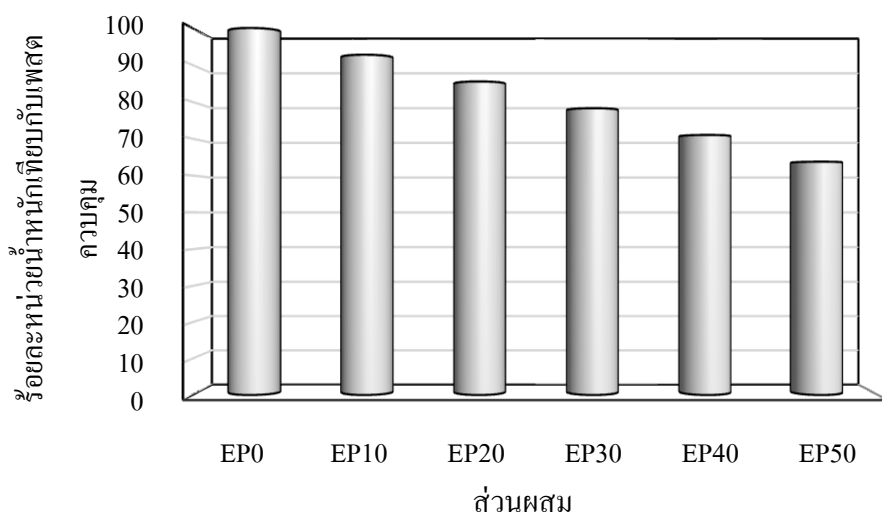
ภาพที่ 4 เวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต

3. สมบัติของซีเมนต์เพสต์และซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตในสถานะแข็งตัวแล้ว

3.1 ความหนาแน่นแห้ง

เมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามีเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้หน่วยน้ำหนักแห้งของซีเมนต์เพสต์ลดลงดังภาพที่ 5 โดยหน่วยน้ำหนักมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ควบคุม (EP0 = 2,184 kg/m³) เท่ากับ

ร้อยละ 7, 14, 22, 29 และ 36 ตามลำดับ เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของผงลามีเนต (1.20) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (3.15) ส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ลดลง (Senthil Kumar and Baskar, 2015; Patidar *et al.*, 2017; Marques *et al.*, 2013)

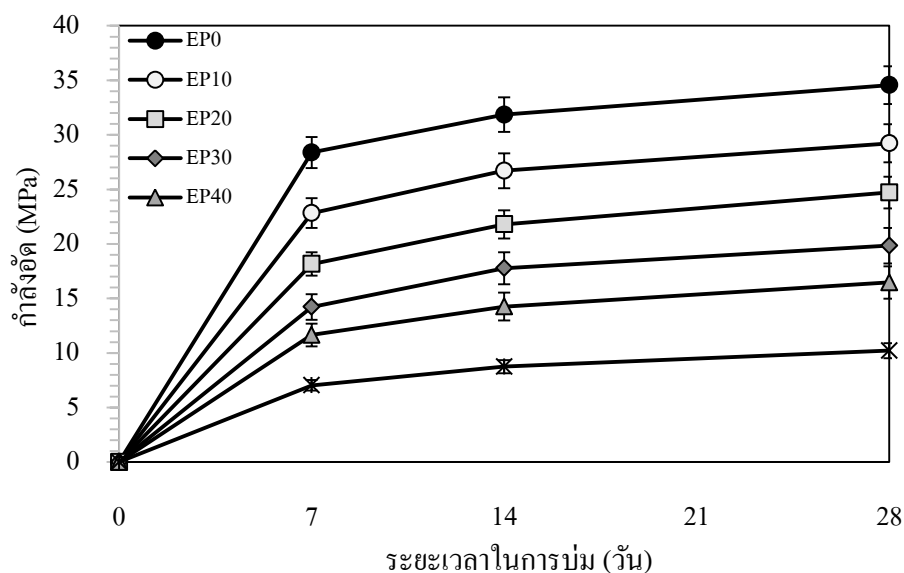


ภาพที่ 5 ร้อยละหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ควบคุม

3.2 กำลังอัด

ผลการทดสอบกำลังอัดแสดงได้ในภาพที่ 6 โดยปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามีเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตลดลง สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่ขะจากการบดย่อยเศษซากแพลงจรรออิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้น (Senthil Kumar and Baskar, 2015; Patidar *et al.*, 2017; Bala Subramanian *et al.*, 2018; Nagajothi and Felixkala, 2015; Premur *et al.*, 2016) ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ส่วนผสม EP0 เท่ากับ 28.4, 31.9 และ 34.6 เมกะปาสกาล, EP10 เท่ากับ 22.8, 26.7 และ 29.2 เมกะปาสกาล, EP20 เท่ากับ 18.2, 21.8 และ 24.7 เมกะปาสกาล, EP30 เท่ากับ 14.2, 17.8 และ 19.8 เมกะปาสกาล, EP40 เท่ากับ 11.7, 14.3 และ 16.5 เมกะปาสกาล, และ EP50 เท่ากับ 7.0, 8.7 และ 10.2 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อปริมาณการแทนที่ของผงลามีเนตที่เพิ่มขึ้นจากร้อย

ละ 10, 20, 30, 40 และ 50 มีผลต่อกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตที่อายุ 7 วันลดลง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ควบคุม เท่ากับร้อยละ 20, 36, 50, 59 และ 75 ตามลำดับ กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตที่อายุ 14 วันลดลงเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ควบคุมเท่ากับร้อยละ 16, 32, 44, 55 และ 73 ตามลำดับ และกำลังอัดของเพสต์ผสมผงลามีเนตที่อายุ 28 วันลดลง เมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ควบคุมร้อยละ 15, 28, 43, 52 และ 70 ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตเพิ่มมากขึ้นจากการแทนที่ผงลามีเนตเพิ่มมากขึ้น จากผลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามีเนตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ลดลงซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สร้างกำลังให้กับซีเมนต์เพสต์จากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ลดลง ทำให้การพัฒนากำลังอัดลดลงตามไปด้วย

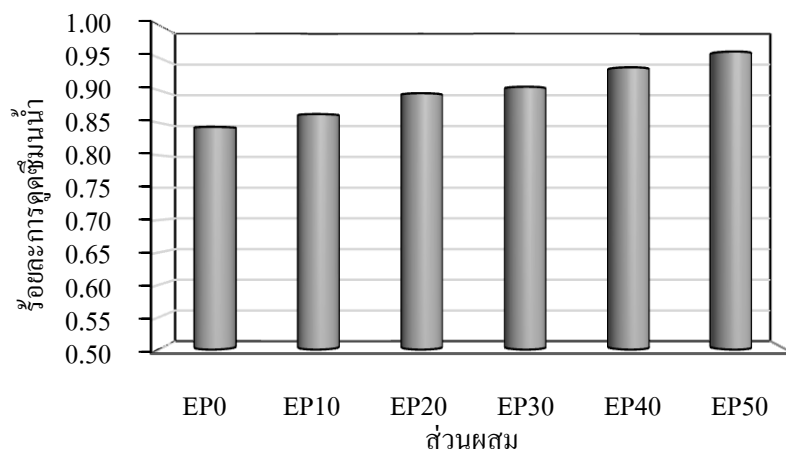


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับระยะเวลาในการบ่มของซีเมนต์เพสต์ควบคุมและซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต

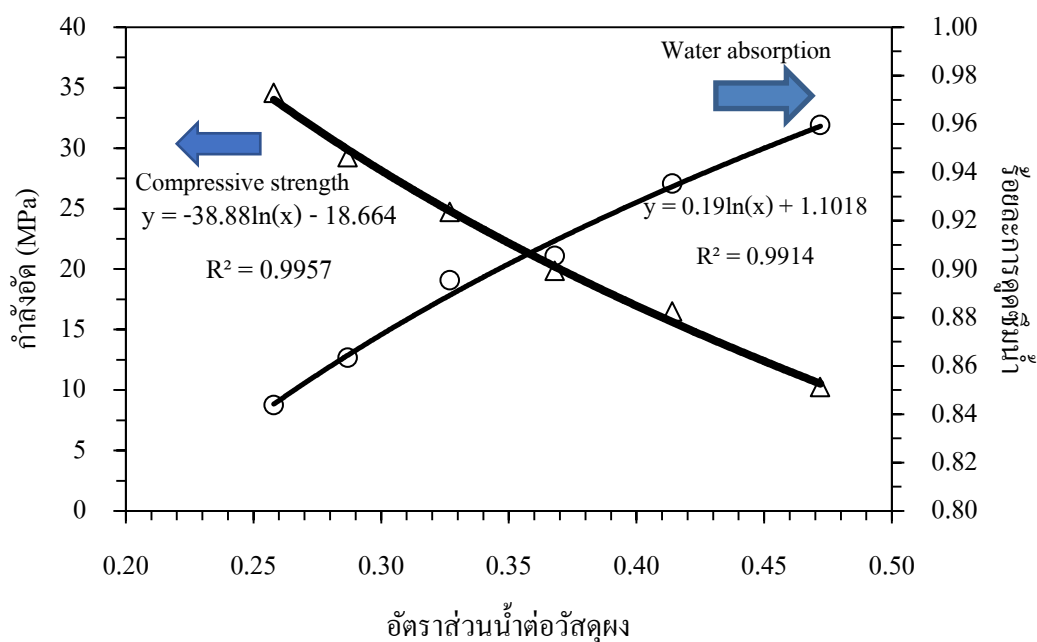
3.3 การดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบพบว่าเมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามีเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตเพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังภาพที่ 7 การดูดซึมน้ำของเพสต์ผสม ผงลามีเนตเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.84 เป็นร้อยละ 0.86, 0.89, 0.90, 0.94 และ 0.96 เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0, 10, 20, 30,

40 และ 50 ตามลำดับ เนื่องจากความต้องการน้ำในส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณการแทนที่ของผงลามีเนต (Nagajothi and Felixkala, 2015) ส่งผลให้มีน้ำส่วนเกินที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซีเมนต์กับน้ำระเหยออกไป เมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัวทำให้เกิดเป็นโพรงช่องว่างในเนื้อซีเมนต์เพสต์



ภาพที่ 7 ร้อยละการดูดกลืนน้ำของซีเมนต์เพสต์ควบคุมและซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงกับกำลังอัดและร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ควบคุมและซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต

จากภาพที่ 8 แสดงถึงความความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงและการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ เห็นได้ว่าร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง

เพิ่มขึ้นและมีความสัมพันธ์ในลักษณะลอการิทึม (Logarithm) กับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ดังสมการที่ (3)

$$y = 0.1902\ln(x) + 1.1018 \quad (3)$$

เมื่อ y คือร้อยละการดูดซึม และ x คืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงและกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังอัดของซีเมนต์

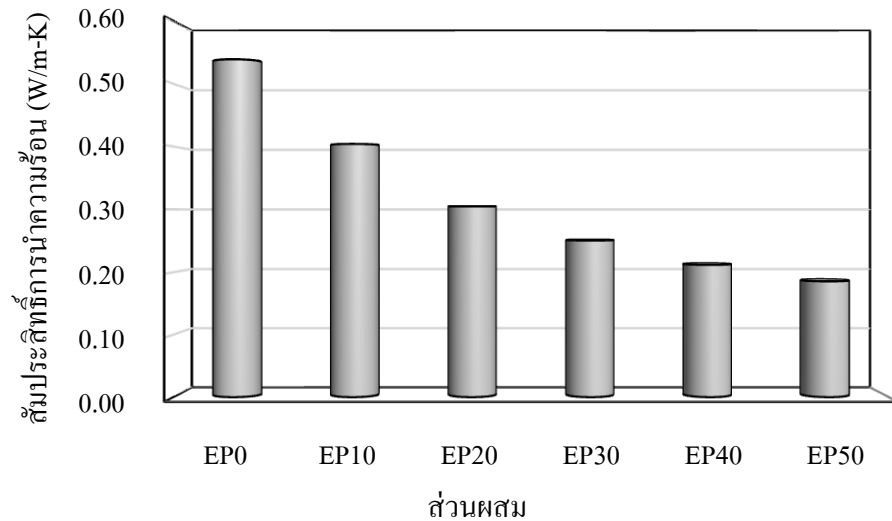
เพสต์ลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเพิ่มขึ้น เป็นความสัมพันธ์ในลักษณะลอการิทึม (Logarithm) ดังสมการที่ (4)

$$y = -38.88\ln(x) - 18.664 \quad (4)$$

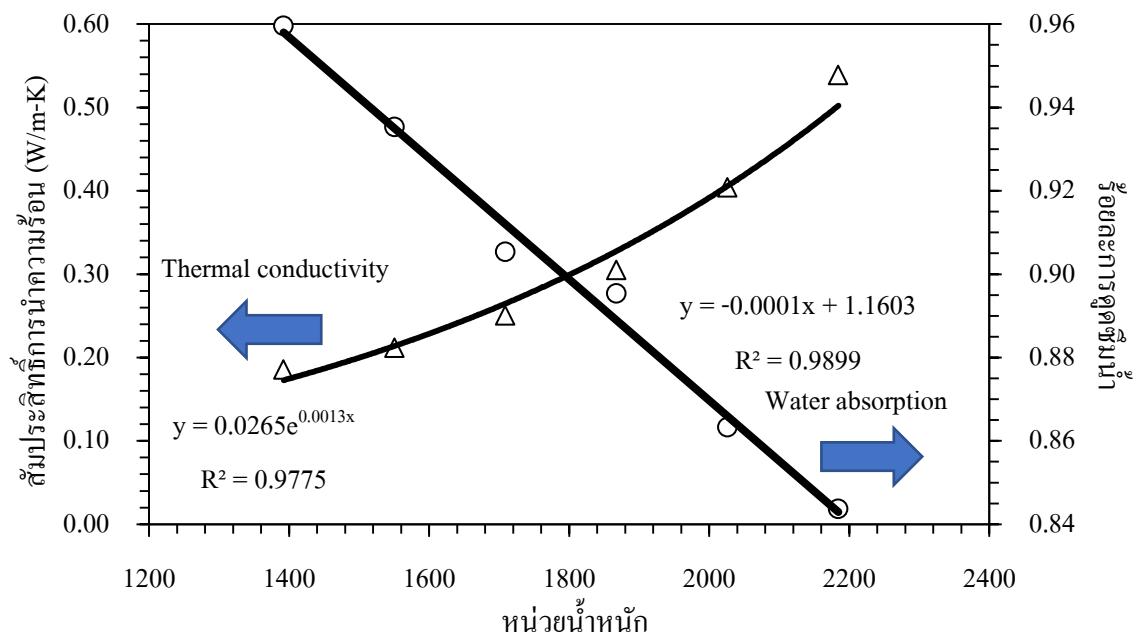
เมื่อ y คือกำลังอัด และ x คืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง หรือร้อยละการดูดซึมน้ำลดลงส่งผลให้แนวโน้มกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์สูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ลดลงและความต้องการน้ำในส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โพรงและช่องว่างที่อยู่ในซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากความพรุนของผงลามีเนต (Nagajothi and Felixkala, 2015)

3.4 การนำความร้อน

จากการทดสอบพบว่าเมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามีเนตเพิ่มขึ้นส่งผลให้การนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตลดลงดังภาพที่ 9 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์ลดลงจาก 0.54 เป็น 0.40, 0.30, 0.25, 0.21 และ 0.19 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน (W/m-k) เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ เนื่องจากความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์แปรผันโดยตรงกับสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์



ภาพที่ 9 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์ควบคุมและซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักกับสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ควบคุมและซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต

จากภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและการนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์พบว่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์

ผสมผงลามีเนตเพิ่มขึ้นเมื่อหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้น เป็นความสัมพันธ์ในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) ดังสมการที่ (5)

$$y = 0.0265e^{0.0013x}$$

(5)

เมื่อ y คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและ x คือหน่วยน้ำหนัก ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและร้อยละการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตซึ่งจะเห็นได้ว่าร้อยละการดูด

ซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ลดลงเมื่อหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้น เป็นความสัมพันธ์ในลักษณะลอการิทึม (Logarithm) เช่น กัน ดัง สมการ ที่ (6)

$$y = -0.0001x + 1.1603 \quad (6)$$

เมื่อ y คือร้อยละการดูดซึมน้ำ และ x คือหน่วยน้ำหนัก หรือสรุปได้ว่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดลงส่งผลให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงขึ้น เห็นได้ว่าผงลามีเนตทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง (Marques *et al.*, 2013; Nagajothi and Felixkala, 2015) จึงมีความเป็นไปได้ในการนำผงลามีเนตไปเป็นฉนวนกันความร้อนได้อีกด้วย

สรุป

จากการศึกษาสมบัติทางด้านซีเมนต์ของซีเมนต์เพสต์ผสมขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic waste) ในรูปของผงลามีเนต โดยทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามีเนตจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ มีข้อสรุปดังนี้

1. ผงลามีเนตมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 35.95 โดยมวล) และมีแคลเซียมออกไซด์ (ร้อยละ 13.94 โดยมวล) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (ร้อยละ 10.87 โดยมวล) โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (LOI) ร้อยละ 37.55

2. ความชื้นเหลว และระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามีเนตเพิ่มขึ้น

3. ความหนาแน่นแห้งและกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ

การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพิ่มมากขึ้น

4. การนำความร้อนของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยผงลามีเนตเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตมีค่าเพิ่มขึ้น

5. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดในช่วง 28 วัน หลังการผสมของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ในขณะที่การดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนตแปรผันตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแปรผกผันกับความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์ ในขณะที่การดูดซึมน้ำแปรผันตามความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์ผสมผงลามีเนต

เอกสารอ้างอิง

- ASTM. 2018a. ASTM C150. Standard Specification for Portland Cement. Annual Book of ASTM Standard. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Philadelphia, USA.
- ASTM. 2018b. ASTM C187. Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste. Annual Book of ASTM Standard. American Society for Testing and

- Materials, West Conshohocken, Philadelphia, USA.
- ASTM. 2018c. ASTM C191. Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. Annual Book of ASTM Standard. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Philadelphia, USA.
- ASTM. 2018d. ASTM C109. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens). Annual Book of ASTM Standard. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Philadelphia, USA.
- Bala Subramanian, B., Gopala Krishna, Gvt. and Saraswathy, V. 2018. Review of Literature on Electronic Waste Materials Used in Concrete. **International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR)** 3(2): 31-35.
- Ban, B.C., Song, J.Y., Lim, J.Y., Wang, S.K., An, K.G. and Kim, D.S. 2005. Studies on the reuse of waste printed circuit board as an additive for cement mortar. **Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering** 40(3): 645-56.
- BS. 2001. BS EN 12667. Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Products of high and medium thermal resistance. British Standards Institution, London, United Kingdom.
- E-Waste Green Network. 2020. **Increase amount of E-Waste**. Available Source: <https://ewastethailand.com/en/content-en/the-amount-of-electronic-waste-is-increasing-all-over-the-world-en/>, March 25, 2020.
- Isranews Agency. 2018. **Department of industrial works reveals e-waste found 'mobile - circuit board - computer' imported the highest amount**. Available Source: <https://www.isranews.org/thaireform/thaireform-news/66441-ewaste-66441.html>, March 25, 2020. (in Thai).
- Marques, A.C., Marrero, J.C., and Malfatti, C.F. 2013. A review of the recycling of non-metallic fractions of printed circuit boards. **SpringerPlus** 2(521): 1-11.
- Nagajothi, P.G. and Felixkala, T. 2015. A Study on Reusing Waste Printed Circuit Board Powders and Chips in Cement Mixes International. **Journal of Earth Sciences and Engineering** 8(2): 460-464.
- Nakornjan, C. and Sopa, S. 2018. Problem of Enforcement Law of Environment Relating to E-Waste Management in Thailand. **Journal of Pacific Institute of Management Science** 4(1): 242-259.
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2017. **Environmental Quality Situation Report 2017**. Available Source: <https://www.onep.go.th/ebook/soe/soereport2017.pdf>, March 25, 2020. (in Thai).

- Patidar, S., Patidar, V., Raj, S., Nema, S. and Nim, A. 2017. E Waste as a Replacement of Aggregate in M 25 Concrete. **International Journal for Research & Development in Technology** 7(5): 384-387.
- Pollution Control Department. 2016. **Hazardous Waste Management Guideline (WEEE)**. Available Source: http://pcd.go.th/info_serv/haz_battery.htm, March 25, 2020. (in Thai).
- Premur, V., Vučinić, A.A., Vujević, D. and Bedeković, G. 2016. The Possibility for Environmental Friendly Recycling of Printed Circuit Boards. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems** 4(1): 14-22.
- Senthil Kumar, K. and Baskar, K. 2015. Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries. **Journal of Material Cycles and Waste Management** 17: 718-724.

ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากขยะดอกกล้วยไม้ในท้องถิ่น

Potential of Vermicompost Produced from Local Orchid Waste

รพีพร ชัยชนะ *

Rapeeporn Chaichana *

Received: 20 April 2020, Revised: 11 June 2020, Accepted: 22 June 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการย่อยวัสดุรองพื้นที่มีดอกกล้วยไม้เป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นขยะชุมชนโดยไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 4 กรรมวิธี 3 ซ้ำ ได้แก่ 1) มูลโค: ขุยมะพร้าว (2:1) ซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม 2) มูลโค: ดอกกล้วยไม้ (2:1) 3) มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้ (2:0.5:0.5) และ 4) มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้ (2:1:0.5) ทำการทดลอง 50 วัน ผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ 2 มีค่า ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 2.10 และ 0.89 เปอร์เซ็นต์, 6.82 และ 4.65 (dS/m) ตามลำดับ กรรมวิธีที่ 4 มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 0.98 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีที่ 3 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 24.56 และ 42.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สัดส่วนการรับบอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) กรรมวิธีที่ 1 ให้ผลผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสูงที่สุด ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ทุกกรรมวิธีทดลอง ไม่ปรากฏเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* spp. จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุรองพื้นที่มีดอกกล้วยไม้ เป็นองค์ประกอบสามารถนำมาเลี้ยงไส้เดือนดินได้ อัตราที่เหมาะสมคือ มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้ อัตราส่วน 2:1:0.5

คำสำคัญ: ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน, ปุ๋ยอินทรีย์, ไส้เดือนดิน, กล้วยไม้

สาขาวิชาวนวัฒนกรรมและการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

Division of agricultural innovation and management, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): yom2521@yahoo.com Tel: 06 3951 9398

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the feasibility of digesting orchid flower-containing substrate, which is community waste by *Eudrilus eugeniae*. The Completely Randomized Design (CRD) was used with 4 treatments and 3 replications. The treatments consisted of: 1) control (cow dung: coconut coir fiber at the ratio of 2:1), 2) cow dung: orchid flower at the ratio of 2:1, 3) cow dung: coconut coir fiber: orchid flower at the ratio of 2: 0.5: 0.5 and 4) cow dung: coconut coir fiber: orchid flower at the ratio of 2:1:0.5. The experiment was conducted for 50 days, and the results showed that treatment 2 contained the highest total nitrogen, phosphorus, pH and electrical conductivity (EC) (2.10%, 0.89%, 6.82 and 4.65 (dS/m), respectively) ($p < 0.05$). Treatment 4 gave the highest total potassium (0.98%) ($p < 0.05$), while treatment 3 gave the highest organic carbon (OC) and organic matter (OM) with the percentage significance ($p < 0.05$) for 24.56 and 42.24%, respectively and the average of C:N ratio was not difference ($p < 0.05$). Treatment 1 gave the highest product of vermicompost than other groups ($p < 0.05$). Moreover, *E. coli* and *Salmonella* spp. did not appear in the vermicompost from all treatment. From all results, it showed that the orchid flower could be used as bedding material to feed earthworms with the suitable ratio of cow dung: coconut coir fiber: orchid flower at 2:1:0.5.

Key words: vermicomposting, organic fertilizer, earthworm, orchid

บทนำ

ปัญหามูลฝอยที่มาจากบ้านเรือน ชุมชน เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจำเป็นต้องหาทางแก้ไขเนื่องจากการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกสุขลักษณะจะก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อม เช่น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของพาหะนำโรค มีกลิ่นรบกวน ปัจจุบันกระแสตื่นตัวในการทำเกษตรปลอดภัย การผลิตพืชที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการอนุรักษ์ทรัพยากรดินซึ่งได้รับความสำคัญมากขึ้น เกษตรกรผู้ผลิตเริ่มเห็นความสำคัญในการลดอัตราการใช้สารเคมีสำหรับกิจกรรมต่างๆ ในกระบวนการผลิตพืช เนื่องจากผู้บริโภคใส่ใจกับการเลือกซื้อพืชผักผลไม้ที่มาจากแปลงปลูกที่ปลอดภัยเพื่อสุขภาพที่แข็งแรง ดังนั้นความต้องการในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต (Chupong *et al.*, 2016)

พื้นที่ตำบลหนองนกไข่ อำเภอกะทู้มณฑลจังหวัดสมุทรสาคร จัดเป็นแหล่งผลิตกล้วยไม้มากกว่า 30 ปี ปัจจุบันมีพื้นที่ในการปลูกเพื่อการส่งออกทั้งหมดประมาณ 684 ไร่ ซึ่งเกษตรกรที่ปลูกจะส่งผลผลิตให้กับบริษัทส่งออก ส่วนกล้วยไม้ที่ไม่ได้มาตรฐานจะส่งให้กับพ่อค้าคนกลางนำไปขายปากคลองตลาด และตลาดท้องถิ่น (Konyong, 2009) ซึ่งบริษัทเอกชนในพื้นที่จะคัดแยกกล้วยไม้ตามมาตรฐานของบริษัทส่วนที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น ดอกช้ำ ช่อดอกสั้น มีโรคแมลง บริษัทจะคัดทิ้งกลายเป็นแหล่งขยะอินทรีย์ที่สร้างปัญหาให้กับชุมชนเนื่องจากในแต่ละวันจะมีเศษดอกกล้วยไม้ที่ไม่ได้ขนาด ไม่สามารถส่งขายได้ต้องทิ้งกองตามถนนบริเวณหน้าโรงงาน เฉลี่ยต่อวันไม่น้อยกว่า 1-2 ตันสร้างความเดือดร้อนขีดขวางการจราจร และลำบากต่อการจัดเก็บของรถเทศบาลเป็นอย่างยิ่ง

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินกลายเป็นที่นิยมมากขึ้นในหลายพื้นที่และหลายประเทศเพื่อลดขยะอินทรีย์จากครัวเรือนหรือจากแปลงปลูกพืชด้วยกระบวนการทำงานของไส้เดือนดิน ยิ่งส่งเสริมคุณภาพปุ๋ยที่เหมาะสมต่อความต้องการของพืช ขยะอินทรีย์หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ หากไม่มีระบบการจัดการจะถูกสะสมกลายเป็นของเสีย เป็นแหล่งสะสมของสัตว์และแมลงก่อโรค เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ส่งกลิ่นเหม็นรบกวนสร้างความรำคาญ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้นคน การทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในประเทศไทยเป็นเทคโนโลยีที่ยั่งยืนสำหรับการกำจัดของเสียทางการเกษตรและสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นกระบวนการทางธรรมชาติในการรีไซเคิล (Schirmer *et al.*, 2014) กระบวนการผลิตปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน เป็นวิธีผลิตปุ๋ยที่ใช้ต้นทุนต่ำ ได้ธาตุอาหารและฮอร์โมนต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในปริมาณที่พืชต้องการ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยคุณสมบัติของไส้เดือนดินและจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องเป็นตัวขับเคลื่อนกระบวนการสร้างปุ๋ยมูลไส้เดือนดินให้เกิดเร็วขึ้นใช้เวลาในการผลิตเป็นปีสั้นขึ้นเมื่อเทียบกับการผลิตปุ๋ยหมัก (Dominguez and Edwards, 2004) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำขยะอินทรีย์ในท้องถิ่น ได้แก่ ดอกกล้วยไม้ มาใช้เป็นวัสดุรองพื้นเลี้ยงไส้เดือนดินเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการย่อยวัสดุรองพื้นที่มี

ดอกกล้วยไม้เป็นองค์ประกอบด้วยไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae*

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุรองพื้นสำหรับเลี้ยงไส้เดือนดิน

การเตรียมวัสดุรองพื้นก่อนนำไปเลี้ยงไส้เดือนดินสามารถทำได้โดย นำมูลโคนมแห้งจากจังหวัดราชบุรีมาทำให้ละเอียด และดอกกล้วยไม้จากพื้นที่ชุมชนตำบลหนองน้ำไข อำเภอกะทู้มแบบจังหวัดสมุทรสาคร นำดอกกล้วยไม้แช่น้ำ 1 คืน ผึ่งลมให้แห้ง หั่นให้มีขนาดเล็ก ประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักมูลโค : ขุยมะพร้าว : ดอกกล้วยไม้ ตามแผนการทดลองที่เตรียมไว้ (โดยน้ำหนัก) ดังนี้ กรรมวิธีที่ 1 มูลโค : ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 2 : 1 (กลุ่มควบคุม) กรรมวิธีที่ 2 มูลโค : ดอกกล้วยไม้ อัตราส่วน 2 : 1 กรรมวิธีที่ 3 มูลโค : ขุยมะพร้าว : ดอกกล้วยไม้ อัตราส่วน 2 : 0.5 : 0.5 และกรรมวิธีที่ 4 มูลโค : ขุยมะพร้าว : ดอกกล้วยไม้ อัตราส่วน 2 : 1 : 0.5 คลุกเคล้าให้เข้ากันรดน้ำให้ชุ่มความชื้นประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ บรรจุใส่กระสอบ กลับกระสอบทุกสัปดาห์เพื่อลดความร้อนหมักทิ้งไว้ 4 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการหมักนำวัสดุรองพื้นไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักที่สำคัญ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของวัสดุรองพื้นผสมดอกกล้วยไม้ ก่อนการทดลองเลี้ยงไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae*

ธาตุอาหาร	กรรมวิธีทดลอง ¹ (ค่าเฉลี่ย± SE)				F-test	CV(%)
	T 1	T 2	T 3	T 4		
ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	1.65±0.03c	2.02±0.03a	1.78±0.03b	1.70±0.03b	*	6.09
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.60±0.10c	0.79±0.02ab	0.66±0.01b	0.68±0.01b	*	8.13
โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.58±0.02c	0.67±0.06b	0.74±0.02a	0.73±0.01a	*	4.09

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ธาตุอาหาร	กรรมวิธีทดลอง ^{1/} (ค่าเฉลี่ย± SE)				F-test	CV(%)
	T 1	T 2	T 3	T 4		
ค่าอินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	29.16±0.82a	22.43±1.02c	21.87±1.20d	23.33±0.63b	*	8.14
ค่าอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	50.15±0.81a	38.57±1.27bc	37.62±1.03c	40.13±0.41b	*	8.10
ความเป็นกรด - ด่าง	6.19±0.04c	6.82±0.10a	6.73±0.04ab	6.61±0.06b	*	0.54
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	2.34±0.01d	3.41±0.02a	3.00±0.06c	3.11±0.04b	*	2.15
ค่า C/N ratio	15.33±0.31a	11±0.33d	12.67±0.93c	13.67±0.72b	*	10.14

หมายเหตุ: ^{1/}มูลโค: ขุยมะพร้าว, 2: 1 (T1), มูลโค: ดอกกล้วยไม้, 2: 1 (T2), มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้, 2: 0.5:

0.5 (T3), มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้, 2: 1: 0.5 (T4)

ตัวอักษรในแนวนอน (a, b, c และ d) ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. การเตรียมไส้เดือนดินสำหรับการทดลอง

คัดเลือกไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* (african night crawler) อายุโดยเฉลี่ยประมาณ 6 - 8 สัปดาห์ จำนวน 20 กรัม เพาะเลี้ยงบนวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ตามแผนการทดลองในข้อ 1 โดยใช้วัสดุรองพื้น จำนวน 2 กิโลกรัม ในกะละมังขนาด 40 × 15 เซนติเมตร เจาะรูด้านล่างของกะละมังรดน้ำให้ชุ่มเพื่อช่วยในการดำรงชีวิตของไส้เดือนดิน มีอุปกรณ์ในการบังแดด และใช้ตาข่ายคลุมปากกะละมัง เพื่อป้องกันสัตว์รบกวน เช่น หนู มด จิ้งจก เติมวัสดุรองพื้นทุกสัปดาห์เมื่อสังเกตว่าวัสดุรองพื้นหมด ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 50 วัน

3. การเก็บเกี่ยวปุ๋ยและการบันทึกผลการทดลอง

ทำการเก็บเกี่ยวปุ๋ยเมื่อทำการทดลอง 50 วัน ก่อนการเก็บเกี่ยวปุ๋ยงดการให้น้ำ 1 สัปดาห์ เพื่อสะดวกในการแยกไส้เดือนดินออกจากปุ๋ย นำปุ๋ยหมักที่ไ้ร่อนผ่านตะกร้าพลาสติกที่มีรูไ้ร่อนปุ๋ยได้ ผึ่งปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในที่ร่ม 1-3 วัน จากนั้น ชั่งปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการร่อนของแต่ละกลุ่มการทดลอง บันทึกผลการทดลองดังนี้

1. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักที่สำคัญของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) วัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าอินทรีย์วัตถุ (OM) และวัดค่าอัตราส่วน คาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) โดยส่งวิเคราะห์ ณ หน่วยวิเคราะห์วิจัยดินพืชและวัสดุเกษตร ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

2. วัดการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน โดยชั่งน้ำหนักและนับจำนวนตัวไส้เดือนดินที่เพิ่มขึ้นในแต่ละการทดลอง (นับเฉพาะตัวไส้เดือนดินที่มีชีวิตและมีกิจกรรม) บันทึกผลการทดลอง

3. ตรวจติดตามจำนวน *E. coli* และ *Salmonella* spp. ใน bedding และปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินในแต่ละกรรมวิธีทดลองโดยส่งวิเคราะห์ ณ หน่วยจุลชีววิทยาประยุกต์ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. สมบัติทางกายภาพและธาตุอาหารหลักมูลไส้เดือนดิน

เมื่อนำมูลโคผสมดอกกล้วยไม้ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ผ่านกระบวนการย่อยด้วยไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี แสดงผลดังตารางที่ 2 จากตาราง พบว่า กรรมวิธีที่ 2 (มูลโค: ดอกกล้วยไม้, 2: 1) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 2.10 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ 3 (มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้, 2: 0.5: 0.5) มีค่าไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 2.08 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 4 (1.78 เปอร์เซ็นต์) และกรรมวิธีที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุดเท่ากับ 1.70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า กรรมวิธีที่ 2 (มูลโค: ดอกกล้วยไม้, 2: 1) ให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.89 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 1 เท่ากับ 0.78, 0.73 และ 0.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดพบว่า กรรมวิธีที่ 4 (มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้ อัตราส่วน 2:1: 0.5) ให้ค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.98 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 3 (0.87 เปอร์เซ็นต์) ส่วนกรรมวิธีที่ 2 และ 1 ไม่แตกต่างกันเท่ากับ 0.82 และ 0.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทั้งนี้ธาตุอาหารหลักและคุณสมบัติทางเคมีบางประการของวัสดุผสมก่อนการทดลองและหลังการทดลองมีความแตกต่างกัน

(ตารางที่ 1 และตารางที่ 2) Edwards and Burrows (1988) รายงานว่า คุณสมบัติของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตาม หลังการทดลองพบว่า ทุกกรรมวิธีทดลองมีธาตุอาหารหลัก ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กล่าวคือ มีไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 1.70 - 2.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ควรมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 0.5 - 1.50 เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.62 - 0.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมาตรฐานปุ๋ยหมักควรมีฟอสฟอรัสไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ และมีโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0.81 - 0.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมาตรฐานปุ๋ยหมักควรมีโพแทสเซียมไม่ต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ (Department of Agriculture, 2005) ปริมาณไนโตรเจนที่สูงขึ้นคาดว่าเกิดจาก nitrogen fixing bacteria ในกลุ่ม *Azotobacter* ที่มีรายงานว่าพบในปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ได้จากการย่อย *Eudrilus eugeniae* (Chitrepriya *et al.*, 2013) Steven *et al.* (2007) รายงานว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในมูลไส้เดือนดินได้จากการย่อยอาหารของไส้เดือนดิน และจุลินทรีย์ต่างๆ ในกระบวนการย่อยอาหารของไส้เดือนดิน จุลินทรีย์ดินที่ปนออกมากับมูลของไส้เดือนดินสามารถสร้างเอ็นไซม์ ฟอสฟาเตสได้ ซึ่งจะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินให้สูงขึ้น ในขณะที่ธาตุโพแทสเซียมในมูลไส้เดือนดินจะได้จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้โดยจุลินทรีย์ดังกล่าวจะผลิตกรดอินทรีย์ซึ่งเป็นกลไกกระตุ้นในกระบวนการสังเคราะห์โพแทสเซียม รวมไปถึงน้ำคั่งหลังและเมือกที่ผลิตจากไส้เดือนดินด้วยที่มีส่วนเพิ่มปริมาณโพแทสเซียม (Garg *et al.*, 2006; Khwairakpam and Bhargava, 2009) Tangsombatvichit and Ketrot (2018) ทดลองนำไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* ย่อยแอมันเทศพบว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ใช้แอมันเทศเหลือทิ้งให้ธาตุอาหาร

หลักพืชสูงกว่าปุ๋ยหมักธรรมชาติ และปุ๋ยหมักชุด
ควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่

ใช้ถ่านหินเทศเหลือทิ้งให้ปริมาณธาตุโพแทสเซียม
มากกว่าปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินชุดควบคุมถึง 2.2 เท่า

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีบางประการของวัสดุรองพื้นผสมคอกกล้วยไม้ หลังการทดลองเลี้ยงไส้เดือนดิน
สายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* เป็นเวลา 50 วัน

ธาตุอาหาร	กรรมวิธีทดลอง ^{1/} (ค่าเฉลี่ย± SE)				F- test	CV (%)	มาตรฐาน ปุ๋ย อินทรีย์ ^{2/}
	T 1	T 2	T 3	T 4			
ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	1.70±0.03c	2.10 ±0.09a	2.08±0.03a	1.78±0.03b	*	6.14	≥ 1.0
ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	0.62±0.07d	0.89±0.06a	0.78±0.05b	0.73±0.07c	*	7.15	≥ 0.5
โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)	0.81±0.02c	0.82±0.03c	0.87±0.03b	0.98±0.01a	*	6.08	≥ 0.5
ค่าอินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	20.36±1.20d	22.46±1.03c	24.56±1.23a	23.65±0.84b	*	8.14	1.0
ค่าอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	35.01±1.10c	38.62±0.97b	42.24±1.33a	40.68±1.12a	*	8.08	≥ 30
ความเป็นกรด - ด่าง	6.01±0.01c	6.82±0.06a	6.31±0.04b	6.24±0.02b	*	1.03	5.5 – 8.5
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	3.41±0.01d	4.65±0.02a	4.05±0.02b	3.85±0.02c	*	2.73	≤ 6
ค่า C/N ratio	13±1.16	11±1.16	12±1.00	13±0.58	ns	10.0	≤ 20:1

8

หมายเหตุ: ^{1/}มูลโค: ขุยมะพร้าว, 2: 1 (T1), มูลโค: คอกกล้วยไม้, 2: 1 (T2), มูลโค: ขุยมะพร้าว: คอกกล้วยไม้, 2: 0.5: 0.5 (T3), มูลโค: ขุยมะพร้าว: คอกกล้วยไม้, 2: 1: 0.5 (T4)

^{2/} Department of Agriculture (2005)

ตัวอักษรในแนวนอน (a, b, c และ d) ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่
ระดับความเชื่อมั่น 95%

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน พบว่า กรรมวิธีที่ 3 (มูลโค: ขุยมะพร้าว: คอกกล้วยไม้, 2: 0.5: 0.5) ให้ค่าสูงสุด ($p < 0.05$) คือ 24.56 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 4, 2 และ 1 เท่ากับ 23.65, 22.46 และ 20.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณอินทรีย์วัตถุพบว่ามีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p <$

0.05) โดยกรรมวิธีที่ 3 ให้ค่าสูงสุด (40.68 เปอร์เซ็นต์) แต่ไม่แตกต่างกับกรรมวิธีที่ 4 (42.24 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 2 และ 1 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 38.62 และ 35.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าอินทรีย์คาร์บอนสูงสุดใกล้เคียงกับ Wichaiwit *et al.* (2012) ทำการทดลองนำไส้เดือนสีน้ำเงิน (*Perionyx excavates*) ข่อยขยะ

อินทรีย์ประเภทต่างๆ ได้แก่ พีชใบ (ผักกาดแก้วผสมกะหล่ำปลี) เปลือกผลไม้ (เปลือกแคงโมผสมเปลือกมะละกอ) พีชหัว (แครอท) เศษอาหาร และขยะอินทรีย์ผสม (ขยะอินทรีย์ประเภทต่างๆ ข้างต้นมาผสมในอัตราส่วนเท่าๆ กัน) พบว่า อินทรีย์คาร์บอนที่พบในปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่ได้จากขยะอินทรีย์ผสมจะมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 20.97 ± 1.14 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จากการทดลองพบว่าค่าอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุมีค่าลดลง สาเหตุที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุหลังสิ้นสุดกระบวนการทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมีค่าลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้พลังงานจากการ oxidation สารประกอบอินทรีย์ และใช้คาร์บอนในการสร้างองค์ประกอบของเซลล์ (Faculty of Soil Science, 1987) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน และเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดินมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 58 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งอินทรีย์วัตถุยังส่งผลต่อปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ให้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะพวก heterotroph ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิส ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ประเภทที่มีปริมาณมากที่สุดในดินและมีบทบาทสำคัญ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จำพวกซากพืชและซากสัตว์ (Faculty of Soil Science, 1998)

ค่าความเป็นกรด - ด่าง ทั้งก่อนและหลังสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน มีค่าอยู่ระหว่าง 6.01 - 7.08 หลังทำการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด - ด่าง ลดลงในทุกคำหับการทดลอง แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่ไส้เดือนดินสามารถดำรงชีวิตได้ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ไส้เดือนสามารถอยู่รอดได้ตามธรรมชาติคืออยู่ในช่วง 6 - 8 (Edwards *et al.*, 2011) Ndegwa and Thompson (2000) รายงานว่าการ

เปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดและด่างเกี่ยวข้องกับ การสลายตัวของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสไปเป็นไนไตรท์หรือไนเตรตและออร์โธฟอสเฟต และเปลี่ยนรูปจากวัสดุอินทรีย์ เป็นกรดอินทรีย์

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุดคือ กรรมวิธีที่ 2 (มูลโค: คอกกล้วยไม้, 2: 1) เท่ากับ 4.65 (dS/m) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รองลงมาคือกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 1 เท่ากับ 4.05, 3.85 และ 3.41 (dS/m) ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าหลังสิ้นสุดการหมักมีค่าเพิ่มขึ้นทุกกรรมวิธีทดลอง สอดคล้องกับ Panpuang *et al.* (2014) ทดลองนำไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* ย่อยเศษอินทรีย์เสริมด้วยปัจจัยเสริมอื่น ๆ คือ สารเร่งชุปเปอร์ พด.1 กระจายลง ขุยมะพร้าว และปุ๋ย เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่าค่าการนำไฟฟ้าหลังสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกหน่วยการทดลองโดยกระจายลง และขุยมะพร้าวมีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ 4.02 (dS/m) ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 6 (dS/m) (Department of Agriculture, 2005) ค่าการนำไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือบางชนิดในดิน หากมีค่าเกิน 6 (dS/m) อาจจะทำให้คุณภาพดินมีความเค็มสูงนอกจากนี้ความเค็มยังส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารอื่นๆ

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนพบว่าทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกรรมวิธีที่ 4 และ 3 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุด เท่ากับ 13 รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 3 และ 2 เท่ากับ 12 และ 11 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 20 : 1 (Department of Agriculture, 2005)

2. การเจริญเติบโตและปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน

เมื่อนำไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* ย่อยวัสดุรองพื้นผสมดอกกล้วยไม้ที่ระดับแตกต่างกันพบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนตัวไส้เดือนดิน กรรมวิธีที่ 2 มีค่าต่ำสุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เท่ากับ 16.67 ตัว กรรมวิธีที่ 1, 3 และ 4 ไม่แตกต่างกัน โดยมีจำนวนไส้เดือนดิน เท่ากับ 44.67, 40.67 และ 43.67 ตัว ตามลำดับ ส่วน น้ำหนักทั้งหมดไส้เดือนดิน น้ำหนักเฉลี่ยของ

ไส้เดือนดิน และปริมาณเฉลี่ยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน พบว่า กรรมวิธีที่ 1 (มูลโค: ขุยมะพร้าว, 2: 1) ให้ค่ามากที่สุดเท่ากับ 32.67, 0.70 และ 1,803 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 (มูลโค: ดอกกล้วยไม้, 2: 1) ให้น้ำหนักทั้งหมดของไส้เดือนดิน น้ำหนักเฉลี่ยของไส้เดือนดิน และปริมาณเฉลี่ยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินน้อยที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เท่ากับ 4, 0.24 และ 681 กรัม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* และปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ที่เพาะเลี้ยงด้วยวัสดุรองพื้นผสมดอกกล้วยไม้เป็นเวลา 50 วัน

การเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน	กรรมวิธีทดลอง ¹ (ค่าเฉลี่ย± SE)				F-test	CV(%)
	T 1	T 2	T 3	T 4		
จำนวนเฉลี่ยของไส้เดือนดิน (ตัว)	44.67±1.86a	16.67±4.48b	40.67±1.86a	43.67±2.60a	*	0.36
น้ำหนักทั้งหมดของไส้เดือนดิน (กรัม)	32.67±1.33a	4±1.00d	18±1.73c	25.33±1.76b	*	0.59
น้ำหนักเฉลี่ยของไส้เดือนดิน (กรัม/ตัว)	0.70±0.01a	0.24±0.02c	0.44 ±0.02b	0.06±0.07ac	*	0.10
ปริมาณเฉลี่ยปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (กรัม)	1,803±93.44a	681±23.03d	954.67±31.71bc	1,354±61.65b	*	0.38

หมายเหตุ: ¹ มูลโค: ขุยมะพร้าว, 2: 1 (T1), มูลโค: ดอกกล้วยไม้, 2: 1 (T2), มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้, 2: 0.5: 0.5 (T3), มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้, 2: 1: 0.5 (T4)

ตัวอักษรในแนวนอน (a, b, c และ d) ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ทั้งนี้วัสดุรองพื้นจำพวกปุ๋ยคอกจะมีธาตุอาหาร และอินทรีย์วัตถุมากทำให้ไส้เดือนดินมีการเจริญเติบโตได้ดี สอดคล้องกับรายงานของ DaDong (2006) กล่าวว่าไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* ที่เลี้ยงด้วยวัสดุรองพื้นที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงจากตะกอนแห้งจากศูนย์ผลิตถัณฑ์มจะทำให้น้ำหนักตัวไส้เดือนดินสูงขึ้น 61.98 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่วัสดุอินทรีย์ทางการเกษตรมีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพเป็นวัสดุรองพื้นได้ดีเช่นกันแต่ต้องผ่านกระบวนการหมัก

ให้สมบูรณ์ สอดคล้องกับ Sirithanakkorn *et al.* (2014) ทำการทดลองเลี้ยงไส้เดือนดินภายใต้วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันพบว่า ไส้เดือนดินที่เลี้ยงในวัสดุรองพื้นขี้วัวจะให้น้ำหนักตัวของไส้เดือนดิน จำนวนสูงไป และผลผลิตปุ๋ยดีที่สุด รองลงมาคือปุ๋ยหมักผักบวบ วัสดุปุ๋ยหมักต้นกล้วย และวัสดุขุยมะพร้าว ตามลำดับ ในการทดลองนี้ใช้ดอกกล้วยไม้เป็นวัสดุผสมเลี้ยงไส้เดือนดินจะสังเกตได้ว่า กรรมวิธีที่ 2 มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำสุด ทั้งนี้อาจมีผลมาจาก

สารเคมีที่ใช้ในกล้วยไม้ซึ่งในการป้องกันกำจัดโรคแมลงในกล้วยไม้ต้องใช้สารเคมีหลายชนิด เช่น คาร์โบซัลเฟน เมทาแลกซิล แมนโครเซบ คาร์เบนดาซิม เบโนมิล (Kanchanakun, 2011) ซึ่งสารดังกล่าว มีผลทำให้เกิดการสะสมและตกค้างและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของเกษตรกรทั้งนี้ Prasopsuk and Iwai (2013) ได้ติดตามการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช 3 ชนิด คือ ไชเปอร์เมทริน เคลตามเมทริน และคลอไพริฟอส ในปุยหมัก ปุยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพบว่า สารไชเปอร์เมทรินตกค้างวันแรกในปุยหมัก ปุยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักชีวภาพ ปริมาณ 1.864, 0.873 และ 0.850 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจาก 60 วันมีค่าเฉลี่ยการสลายตัวไป 94, 100 และ 91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนคลอไพริฟอสมีการตกค้างวันแรกในปริมาณ 0.392, 0.184 และ 0.178 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจาก 60 วันมีค่าเฉลี่ยการสลายตัว 72, 100 และ 73 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ และสารเคลตามเมทริน วันแรกพบการตกค้างในปุยหมัก ปุยหมักมูลไส้เดือนดิน และน้ำหมักชีวภาพ ในปริมาณ 0.101, 0.047 และ 0.046 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลัง 60 วันมีค่าเฉลี่ยการสลายตัวไป 100 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 3 รูปแบบ ดังนั้น ทุกการทดลองที่มีการนำไส้เดือนดินมาใช้ในการย่อยสลายวัสดุผสมดอกกล้วยไม้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสัมผัสกับสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันโรคและแมลง จึงส่งผลให้การเจริญเติบโต และอัตราการกินได้น้อยกว่ากลุ่มควบคุม

3. ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในวัสดุรองพื้นผสมดอกกล้วยไม้และในปุยหมักมูลไส้เดือนดิน

เมื่อนำมูลโคผสมดอกกล้วยไม้ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ผ่านกระบวนการย่อยด้วยไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* วิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรีย แสดงผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบชนิดและปริมาณแบคทีเรียในวัสดุรองพื้นผสมดอกกล้วยไม้ และปุยหมักมูลไส้เดือนดินแต่ละกรรมวิธีทดลอง

ชนิดของจุลินทรีย์	กรรมวิธีทดลอง ^{1/}							
	T1		T2		T3		T4	
	bedding	ปุยหมักมูลไส้เดือนดิน	bedding	ปุยหมักมูลไส้เดือนดิน	bedding	ปุยหมักมูลไส้เดือนดิน	bedding	ปุยหมักมูลไส้เดือนดิน
Total Plate Count (CFU/g)	2.8×10^7	8.7×10^6	2.4×10^6	6.3×10^6	3.8×10^6	7.0×10^6	1.0×10^6	6.8×10^7
Total Coliform (MPN/g)	22	240	23	150	240	460	240	>1100
Fecal Coliform (MPN/g)	24	21	<3	11	<3	43	<3	>1100
<i>E. coli</i>	Positive	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive	Negative	Positive
<i>Salmonella</i> spp.	Negative	Negative	Negative	Negative	Negative	Negative	Negative	Negative

หมายเหตุ : ^{1/}มูลโค: ขุยมะพร้าว, 2: 1 (T1), มูลโค: ดอกกล้วยไม้, 2: 1 (T2), มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้, 2: 0.5: 0.5 (T3), มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้, 2: 1: 0.5 (T4)

จากตารางที่ 4 พบว่า เชื้อ *E. coli* โคลิฟอร์ม แบคทีเรียทั้งหมด (total coliform) และฟีคัลโคลิฟอร์ม แบคทีเรีย (fecal coliform bacteria) มีปริมาณมากทั้งในวัสดุรองพื้นและปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินแต่ไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. ทั้งในวัสดุรองพื้นและปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน สอดคล้องกับรายงานของ Dominguez and Edwards (2004) กล่าวว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินสามารถลดปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้ เช่น *E. coli* fecal coliform และ *Samonella* sp. ทั้งนี้การปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* อาจมีผลมาจากเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ของไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae* (Parthasarathi et al., 2007) และความสามารถในการย่อยจุลินทรีย์ที่ก่อโรครภายในลำไส้ของไส้เดือนดินไม่สมบูรณ์ หรือเกิดจากการปนเปื้อนของเชื้อจากการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ (Ackers et al., 1998; Cieslak et al., 1993)

สรุป

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินโดยใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* ที่มีดอกกล้วยไม้เป็นส่วนผสมในอาหาร หลังสิ้นสุดกระบวนการทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน ของแต่ละกรรมวิธีทดลอง พบว่ากรรมวิธีที่ 2 (มูลโค: ดอกกล้วยไม้, 2 : 1) มีค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และ ค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 2.10, 0.89 เปอร์เซ็นต์ 6.82 และ 4.65 (dS/m) ตามลำดับ กรรมวิธีที่ 4 (มูลโค : ขุยมะพร้าว : ดอกกล้วยไม้, 2 : 1 : 0.5) มีปริมาณโพแทสเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 0.98 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ ค่าความเป็นกรดและด่าง ค่าการนำไฟฟ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีปริมาณลดลงในทุกกรรมวิธีทดลอง ในส่วนของการเจริญเติบโตของไส้เดือนดินและปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ได้พบว่า กรรมวิธีที่

1 (มูลโค : ขุยมะพร้าว, 2 : 1) ให้ปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินมากที่สุด และไม่ปรากฏเชื้อ *Salmonella* spp. ในทุกกรรมวิธีทดลอง ดังนั้น การใช้ไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* ย่อยวัสดุรองพื้นผสมดอกกล้วยไม้ไม่สามารถทำได้โดยใช้ มูลโค: ขุยมะพร้าว: ดอกกล้วยไม้ในอัตรา 2: 1: 0.5 (กรรมวิธีที่ 4) จะให้ปุ๋ยมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่นๆ ที่ใช้วัสดุรองพื้นผสมดอกกล้วยไม้ ซึ่งสามารถนำไปช่วยแก้ปัญหาขยะให้กับชุมชนได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Ackers, M.L., Mohan, B.E., Leahy, E., Goode, B., Damrow, T., Hayo, P.S., Bibb, W.F., Rice, D.H., Barrett, T.J., Hutwagner, L., Grin, P.M. and Slutsker, L. 1998. An outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with leaf lettuce consumption. **Journal infectious diseases** 177: 1588-1593.
- Chitreipriya, K., Asokan, S. and Nagarajan, R. 2013. Estimating the level of phosphate solubilizing bacteria and *Azotobacter* in the vermicompost of *Eudrilus eugeniae* and *Perionyx excavates* with various combinations of cow -dung and saw-dust. **International Journal Scientific Research Publications** 3: 1-6.

- Chupong, S., Boonlertnirun, K. and Tangsombatvichit, P. 2016. The study of the potential of vermicomposting produced from eater hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in the canal of Ayutthaya province, pp. 519-524. **In The 1st National Academic Conference.** Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Ayutthaya. (in Thai)
- Cieslak, P.R., Barrett, T.J. and Green, T.M. 1993. *Escherichia coli* O157:H7 infection from a manured garden. **Lancet** 7: 342-367.
- DaDong, S. 2006. Anatomy and Treatment of Dry Sludge from Kasetsart University Dairy Center by *Eudrilus Eugenia*. Master of Science (Zoology), Kasetsart University. (in Thai)
- Department of Agriculture. 2005. **Manual of organic fertilizer.** (Academic edition). The Agricultural Cooperative Assembly of Thailand, Bangkok. (in Thai)
- Dominguez, J. and Edwards, C.A. 2004. Vermicomposting organic wastes: A review, pp. 369-395. *In* Shakir Hanna, S.H., Mikhail, W.Z.A., eds. **Soil zoology for sustainable development in the 21st century.** Cairo.
- Edwards, C.A. and Burrows, I. 1988. The potential of earthworm compost as plant growth media, pp. 211-220. *In* Edwards, C.A., Neuhauser, S.P.B., eds. **Earthworms in Environmental and Waste Management.** Academic Publishing, Netherlands.
- Edwards, C.A., Aracon, N.Q. and Sherman, R. 2011. Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes and environmental management. **Taylor and Francis Journals** 335-348.
- Faculty of Soil Science. 1987. **Primary Soil Science Department of Soil Science.** Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)
- Faculty of Soil Science. 1998. **Basic Soil Science.** 8th ed. Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)
- Garg, P., Gupta, A. and Satya, S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. **Bioresource Technology** 97: 391-395.
- Kanchanakun, S. 2011. **Roi Phan, Preuksa, Orchid.** Setthasilp, Bangkok. (in Thai)
- Khawairakpam, M. and Bhargava, R. 2009. Vermitechnology for sewage sludge recycling. **Journal Hazard Mater** 161(2-3): 948-954.
- Konyong, P. 2009. Adoption on Orchid Marketing Standard for Exportation: A Case Study of Orchid Cultivations in Nong Nok Kai Subdistrict Areas, Krathum Baen Distric, Samut Sakhon Province. Master of Science (Agricultural Research and Development), Kasetsart University.
- Ndegwa, P.M. and Thompson, S.A. 2000. Effect of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolid. **Bioresource Technology** 75(1): 7-12.
- Panpuang, N., Chuntranuluck, S. and Chaowanapong, P. 2014. The study and development of vermicomposting production by *Eurilus*

- eugeniae.*, pp. 385-392. In **The 52nd Kasetsart University Annal Conference: Science, Natural Resources and Environment.** Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Parthasarathi, K., Ranganathan, L.S., Anandi, V. and Zeyer, J. 2007. Diversity of microflora in the gut and casts of tropical composting earthworms reared on different substrates. **Journal Environmental Biology** 28(1): 87-97.
- Prasopsuk, J. and Iwai, C.B. 2013. Monitoring of pesticide residues in compost, vermicompost and biological fermentation from organic waste. **Science and Techology Journal Maha Sarakham University** 32(2): 154-160.
- Schirmer, W.N., Juca, J.F.T., Schuler, A.R.P., Holanda, S. and Jesus, L.L. 2014. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluation in refuse of different ages. **Brazillian Journal of Chemical Engineering** 31: 373-384.
- Sirithanakkorn, P., Pharam, K. and Sanusan, S. 2014. Different of bedding on growthworms and vermicompost production. **Khon Kaen Agriculture Journal** 42(Suppl.1): 714-721. (in Thai)
- Steven, J.F., Angela, Y.Y.K, Chris van, K., Paul, F.H. and Johan, S. 2007. Influence of earth worm activity on aggregate-associated carbon and nitrogen Dynamics differs with agroecosystem management. **Soil Biology and Biochemistry** 39(1): 1014-1022.
- Tangsombatvichit, P. and Ketrot, D. 2018. The quality of vermicompost from sweet potato crop wastes and its impact on growth promotion of *Brassica chinensis*. **RMUTSB Academic Journal** 6(2): 124-133. (in Thai)
- Wichaiwit, W., Satjaphan, K. and Rotsopha, B. 2012. Qualities of vermicompost of different types of waste using *Perionyx excavates*. **King Mongkut's Agricultural Journal** 30(2): 86-96. (in Thai)

ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ได้จากการหมักเปลือกส้มโอ ในการยับยั้งแบคทีเรีย

The Potential of Biosurfactant from Pomelo Peel Fermentation for Bacterial Inhibition

ฉานิกา แซ่แง ชูกลิ่น^{1*} วรณวิภา ไชยชาญ¹ และ ปวีณา ดิกิจ²

Chanika Saenge Chooklin^{1*}, Wanvipa Chaichan¹ and Paweena Dikit²

Received: 11 April 2020, Revised: 25 July 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตและคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตจากการหมักเปลือกส้มโอเหลือทิ้ง โดยการหมักเปลือกส้มโอเหลือทิ้งร่วมกับน้ำ ใน 4 อัตราส่วน 1:1 2:1 3:1 และ 4:1 ตามลำดับเป็นเวลา 3 เดือน ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (EA) ของน้ำหมักจากเปลือกส้มโอ ในอัตราส่วน 1:1 มีค่าการเกิดอิมัลชันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 51.64 จึงเลือกน้ำหมักเปลือกส้มโอที่อัตราส่วน 1:1 ไปศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพด้วยวิธีต่างๆ พบว่าการสกัดสารลดแรงตึงผิวชีวภาพด้วยคลอโรฟอร์ม:เมทานอล (2:1) ได้ผลผลิตสารสกัดหยาบของ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ 0.45 กรัมต่อลิตร สารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีความสามารถในการลดแรงตึงผิวได้ในช่วงพีเอช 4-10 อุณหภูมิระหว่าง 25-121 องศาเซลเซียส ช่วงความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0-12 โดยน้ำหนัก ช่วงความเข้มข้นของ แมกนีเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0-0.1 โดยน้ำหนัก และช่วงความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0-0.4 โดย น้ำหนักสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่า มีค่า MIC (Minimal Inhibitory Concentration) ของเชื้อ *E. coli* *Salmonella* sp. *S. aureus* และ *B. cereus* เท่ากับ 25 25 6.25 และ 1.56 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และค่า MBC (Minimal Bactericidal Concentration) เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

คำสำคัญ: สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ, เปลือกส้มโอเหลือทิ้ง, ยับยั้งแบคทีเรีย

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

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

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

² Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

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

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the production and properties of biosurfactant from fermented pomelo peel waste with water in 4 ratio 1:1, 2:1, 3:1, and 4:1 respectively for 3 months. The result showed that the emulsion ability (EA) of pomelo peel waste with water in the ratio of 1: 1 had the highest emulsion value up to 51.64 percent. Therefore, the ratio 1: 1 was chosen to compare the methods of biosurfactant harvesting with various extraction methods. It was found that the extraction of biological surfactants with chloroform: methanol (2: 1) and the crude extraction of biosurfactant at 0.45 grams per liter. Biosurfactant has the ability to reduce surfactants in the pH range 4-10 of temperature between 25-121 degrees Celsius and sodium chloride salt concentration range from 0-12 percent by weight. The concentration range of magnesium chloride was 0-0.1 percent by weight and that of calcium chloride was 0-0.4 percent by weight. For the bacterial inhibition, the MIC (Minimal Inhibitory Concentration) of *E. coli* *Salmonella* sp. *S. aureus* and *B. cereus* was 25 25 6.25 and 1.56 milligrams per milliliter, respectively and the MBC (Minimal Bactericidal Concentration) value was 50 milligrams per milliliter.

Key words: biosurfactant, pomelo peel waste, bacterial inhibition

บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการนำเข้าและการใช้สารเคมีได้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ ผลกระทบทางชีวภาพกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากผลกระทบทางชีวภาพมีความเป็นพิษต่อธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมน้อย จึงได้มีการพยายามสร้างผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพมาทดแทนสารสังเคราะห์ทางเคมี โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (biosurfactant) เป็นสารที่ผลิตจากจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา ซึ่งส่วนใหญ่แบคทีเรียจะเป็นจุลินทรีย์หลักในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตได้ สามารถใช้แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจนจากผักผลไม้ได้ (Xu *et al.*, 2011) สารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำและชอบน้ำ ซึ่งช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลว ของแข็ง และก๊าซ ซึ่งประกอบด้วย โกลโคลิปิด ลิโปเปปไทด์,

ฟอสโฟลิปิด, และ กรดไขมัน (Dikit *et al.*, 2019) โดยมีรายงานการวิจัยพบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีความสามารถในการปรับการยึดติดของแบคทีเรียบางชนิดบนพื้นผิวและยับยั้งการเกาะติดของแบคทีเรียซึ่งคุณสมบัตินี้ช่วยในการยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของจุลินทรีย์อีกด้วย (Aran *et al.*, 2014)

กระบวนการหมักที่นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเช่น เปลือกผลไม้เหลือทิ้งมาเป็นแหล่งคาร์บอนโดยใช้จุลินทรีย์จากธรรมชาติในการหมักจึงมีความเหมาะสม สำหรับนำมาผลิตเป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ เมื่อผ่านกระบวนการหมักในสภาพที่มีออกซิเจนเล็กน้อย (anaerobic condition) จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายแหล่งคาร์บอนเหล่านั้นให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารอินทรีย์อื่นๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต รวมถึงการใช้เอนไซม์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เพื่อเร่งการย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น จะได้สารลด

แรงดึงผิวชีวภาพ ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Abouseoud *et al.*, 2008) ดังนั้นคณะผู้วิจัยเห็นว่าการนำน้ำสกัดชีวภาพจากเปลือกส้มโอเหลือทิ้งมาใช้ทดแทนสารยับยั้งเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคที่มีใช้อยู่ทั่วไปน่าจะช่วยในลดหรือยับยั้งปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และลดกลิ่นเหม็นจากสิ่งปนเปื้อนได้ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดมลพิษจากสิ่งแวดล้อม และมีความสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์การเสริมสร้างและพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เกี่ยวกับการบริหารจัดการ และการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตสารลดแรงดึงผิวชีวภาพด้วยวิธีการหมักโดยการนำเปลือกส้มโอเหลือทิ้งมาทำการหมักด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ และศึกษาองค์ประกอบของสารลดแรงดึงผิวชีวภาพ (biosurfactant) ในกลุ่มที่มีความสามารถในการ

ละลายได้ทั้งในน้ำและน้ำมัน (Amphoteric compound) และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตสารลดแรงดึงผิวชีวภาพ

งานวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ เปลือกส้มโอเหลือทิ้งจากเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอทับทิมสยามจาก อ. ปากพูนัง จ. นครศรีธรรมราช โดยแบ่งการหมักเปลือกส้มโอกับน้ำ ในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้คือ 1:1 1:2 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ โดยทุกอัตราส่วนจะเติมน้ำตาลความเข้มข้น 2 % (w/v) ซึ่งการเตรียมน้ำหมักในแต่ละอัตราส่วนจะเตรียมในปริมาณ 6 ลิตร (ตารางที่ 1) แล้วหมักในสภาวะปิดและไม่มีการเขย่า (standing close system fermentation) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในการหมักเพื่อผลิตสารลดแรงดึงผิวชีวภาพจากเปลือกส้มโอ

อัตราส่วน	ปริมาณเปลือกส้มโอ (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำ(กิโลกรัม)
1:1	3	3
1:2	2	4
1:3	1.5	4.5
1:4	1.2	4.8

การเก็บตัวอย่างส่วนใสของน้ำหมักสำหรับการวิเคราะห์ทุก 12 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 วัน (0, 12, 24, 36, 48, 60, 72) หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 1 2 3 และในเดือนที่ 1 2 3

2. การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการหมักในการผลิตสารลดแรงดึงผิวชีวภาพ

เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตสารลดแรงดึงผิว

ชีวภาพจากการหมักเปลือกส้มโอแล้วนำมาทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตสารลดแรงดึงผิว โดยนำอัตราส่วนที่เหมาะสม มาหมักเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยทำการเก็บตัวอย่างทุก 12 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 วัน (0, 12, 24, 36, 48, 60, 72) หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 1, 2, 3 และในเดือนที่ 1, 2 และ 3 โดยจะทำการวัดค่า EA EI และ yield เพื่อทำการเปรียบเทียบ

3. การเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากการหมักเปลือกส้มโอ

3.1 ตกตะกอนด้วยอะซิโตน

นำน้ำหมัก (culture broth) จากการหมักเปลือกส้มโอนำมาหมวนเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาตกตะกอนด้วยอะซิโตนในอัตราส่วน 1:3 ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตะกอนโดยเหวี่ยงที่ความเร็ว 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ระเหยอะซิโตน (ดัดแปลงจาก Saimmai *et al.*, 2012) วิเคราะห์ผลโดยชั่งน้ำหนักตะกอนและหาค่า EA EI และ SR

3.2 ตกตะกอนด้วยเมทานอล

นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงน้ำหมักมาตกตะกอนด้วยเมทานอลในอัตราส่วน 1:3 ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตะกอนโดยเหวี่ยงที่ความเร็ว 8000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ระเหยเมทานอล (ดัดแปลงจาก Saimmai *et al.*, 2012) หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลโดยชั่งน้ำหนักตะกอนและหาค่า EA EI และ SR

3.3 ตกตะกอนด้วยเอทานอล

นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงน้ำหมักมาตกตะกอนด้วยเอทานอลในอัตราส่วน 1:3 ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บตะกอนโดยเหวี่ยงที่ความเร็ว 8000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ระเหยเอทานอล (ดัดแปลงจาก Saimmai *et al.*, 2012) หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลโดยชั่งน้ำหนักตะกอนและหาค่า EA EI และ SR

3.4 ตกตะกอนด้วยการปรับพีเอช

นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงน้ำหมักไปตกตะกอนด้วยการปรับพีเอช โดยใช้ 6 M HCl ปรับพีเอช เป็น 2.0 เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 1 คืน จากนั้นเก็บตะกอน นำไปปั่นเหวี่ยงที่

ความเร็ว 8,500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เก็บตะกอน นำไปล้างด้วย 100 mM HCl ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 178,500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ละลายตะกอนด้วยน้ำกลั่นและปรับพีเอช เป็น 7.0 ด้วย 2 N NaOH และทำให้แห้งด้วยวิธี lyophilization (ดัดแปลงจาก Saimmai *et al.*, 2012) หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลโดยชั่งน้ำหนักตะกอนและหาค่า EA EI และ SR

3.5 สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

นำสารละลายส่วนใสจากการปั่นเหวี่ยงน้ำหมักมาสกัด 2 ครั้งด้วย chloroform:methanol ในอัตราส่วน 2:1 โดยใช้กรวยแยก (separation funnel) นำชั้นของตัวทำละลายกำจัดน้ำโดยการเติม anhydrous Na_2SO_4 แล้วระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ในเครื่องระเหยสุญญากาศ (ดัดแปลงจาก Saimmai *et al.*, 2012) หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลโดยชั่งน้ำหนักตะกอนและหาค่า EA EI และ SR

3.6 ตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต

เติมแอมโมเนียมซัลเฟตลงในสารละลายส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงน้ำหมักปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยให้อิ่มตัวที่ความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 40 ถึง 60 นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำตะกอนมาละลายในน้ำกลั่น นำสารละลายตะกอนที่ได้มากำจัดเกลือโดยใช้ dialysis bag ที่มี molecular weight cut-off 8,000 คาลตัน ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนน้ำกลั่นที่เวลา 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นโดยใช้คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสและทำให้แห้งด้วยวิธี lyophilization (ดัดแปลงจาก Saimmai *et al.*, 2012) หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลโดยชั่งน้ำหนักตะกอนและหาค่า EA EI และ SR

จากวิธีการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ทั้ง 6 วิธี เลือกวิธีที่ดีที่สุดในการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ โดยเปรียบเทียบค่าความสามารถในการอิมัลซิไฟด์น้ำมันปาล์มที่ความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ 1 กรัมต่อลิตร โดยเลือกวิธีการเก็บเกี่ยวที่ทำให้กิจกรรมการอิมัลซิไฟด์สูงที่สุดเพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

4. ศึกษาคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้

4.1 พิเศษที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ

นำสารสกัดหยาบที่ได้จากวิธีการเก็บเกี่ยวที่ดีที่สุดละลายในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ปรับพีเอชของสารละลายที่ได้ด้วย 1N HCl หรือ 1 N NaOH ให้มีค่าพีเอช เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ตามลำดับ แล้ววัดกิจกรรมการอิมัลซิไฟด์น้ำมันของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ

4.2 ความคงตัวของอิมัลชันของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้

นำสารสกัดหยาบที่ได้จากวิธีการเก็บเกี่ยวที่ดีที่สุด ละลายในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และบ่มที่อุณหภูมิ 110 และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้ววัดกิจกรรมการอิมัลซิไฟด์น้ำมันของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพตามวิธีการวิเคราะห์ข้างต้น

4.3 ผลของเกลือต่อความคงตัวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้

นำสารสกัดหยาบที่ได้จากวิธีการเก็บเกี่ยวที่ดีที่สุด ละลายในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร เติม NaCl ให้มีความเข้มข้นที่ร้อยละ 0, 1, 2, 3, 6, 9 และ 12 ตามลำดับ หรือ CaCl_2 หรือ MgCl_2

ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.1 โดยน้ำหนักตามลำดับแล้ววัดกิจกรรมการอิมัลซิไฟด์น้ำมันของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ตามวิธีการวิเคราะห์ข้างต้น

5. การทดสอบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพต่อการยับยั้งแบคทีเรีย

5.1 การเตรียมเชื้อเพื่อการทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารลดแรงตึงผิว

เชื้อเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบ ได้แก่

Bacillus cereus, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* sp. จีคนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Muller Hinton agar (MHA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง เชื้อโคโลนีของแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิด ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Muller Hinton broth (MHB) โดยเลือก single colony บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เขย่าที่ 180 rpm เป็นเวลา 18 - 24 ชม. นำมาตกตะกอนเซลล์ โดย centrifuge ที่อุณหภูมิ 4 °C ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสทิ้ง แล้วทำ suspension ของเชื้อแบคทีเรียที่ทดสอบด้วย 0.85% NaCl เชื้อ จางเทียบความขุ่นเท่ากับ McFarland No.4 (จำนวนเซลล์ประมาณ 3×10^8 cfu/ml) แล้วเจือจางต่อ ด้วย 0.85% NaCl จนได้จำนวนแบคทีเรียประมาณ 10^6 - 10^7 cfu/ml นำ suspension ของเชื้อแบคทีเรียที่ได้มาตรวจนับจำนวนโคโลนี โดย เกลี่ยบนอาหาร Plate Count agar (PCA) บ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 18 - 24 ชม. แล้วคำนวณจำนวนโคโลนีเป็น cfu/ml

5.2 การทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารลดแรงตึงผิว

ดูดส่วนใสของน้ำหมักจากเปลือกส้มโอ อัตราส่วนที่เหมาะสมมา Centrifuge ที่อุณหภูมิ 4 °C ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อตกตะกอนและเก็บส่วนใสไว้ทดสอบ โดยนำส่วนใสมาผสมในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller Hinton Broth

(MHB) แบ่งหลอดทดลองออกเป็น 12 หลอด โดยหลอดที่ 1 เป็นอาหาร MHB (Positive Control) หลอดที่ 2 เป็นน้ำหมักจากเปลือกส้มโอที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 (Negative Control) ส่วนหลอดที่ 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 เป็นอาหาร MHB ผสมน้ำหมักจากเปลือกส้มโอที่ความเข้มข้นร้อยละ 50, 25, 12.5, 6.25, 3.12, 1.56, 0.78, 0.39, 0.19 และ 0.08 ตามลำดับ ปิเปตเชื้อจุลินทรีย์ 1 มิลลิลิตรแต่ละชนิดลงในชุดการทดลองที่ 1 - 12 บ่มเชื้อ 37 °C เป็นเวลา 18 - 24 ชม. สังเกตความขุ่นที่เกิดขึ้น หากชุดการทดลองใดไม่พบความขุ่นแสดงว่า หลอดทดลองนั้น ที่ไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จะเป็นความเข้มข้นที่สารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากน้ำหมักจากเปลือกส้มโอที่มีความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Minimal Inhibitory Concentration; MIC) จากนั้นนำหลอดทดลองที่ไม่พบความขุ่นไปนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยวิธี spread plate บน อาหาร Mueller Hinton Agar (MHA) หากหลอดทดลองใดที่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ จะพบ การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อไม่เกิน 20 โคโลนี จะเป็นความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากน้ำหมักจากเปลือกส้มโอที่มีความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถทำลาย

เชื้อจุลินทรีย์ได้ร้อยละ 99 (Minimal Bactericidal Concentration; MBC) (ดัดแปลงจาก Saimmai *et al.*, 2012)(Gasaluck and Unsirilai, 2010)

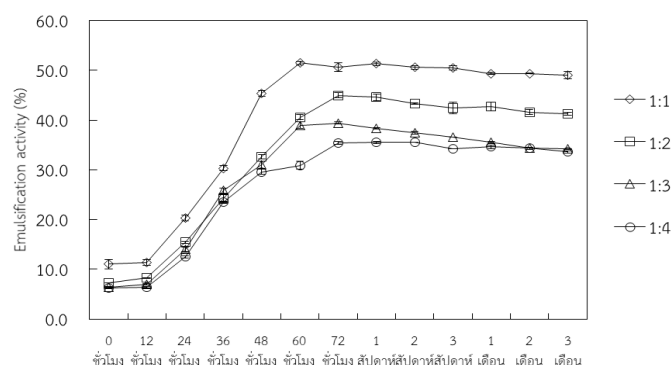
6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทาง สถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติที่ p -value < 0.05

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากการหมักเปลือกส้มโอ

ในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพนั้นจะวัดจากความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (EA) ของน้ำหมักจากเปลือกส้มโอในอัตราส่วนต่างๆ ที่มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงสุดคือ น้ำหมักจากเปลือกส้มโอที่อัตราส่วน 1: 1 มีค่าการเกิดอิมัลชันเท่ากับร้อยละ 51.64 ตามลำดับ ดังรูปที่ 1



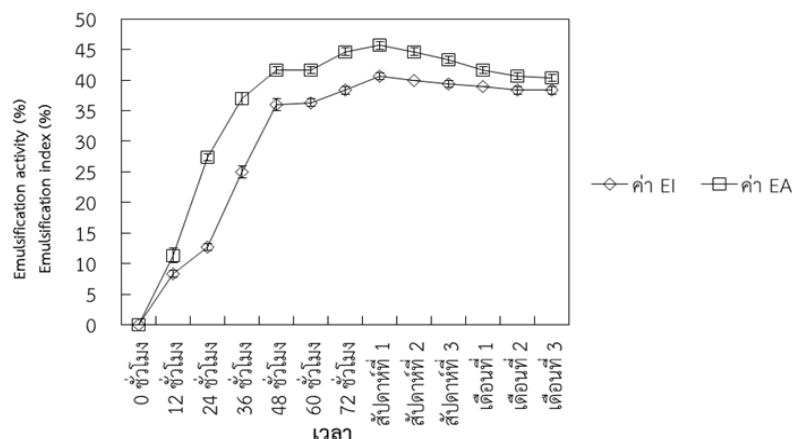
ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการเกิดอิมัลชัน กับระยะเวลาการหมักสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากเปลือกส้มโอในอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 1 เมื่อวัดกิจกรรมการเกิดอิมัลชันของทั้ง 4 อัตราส่วนในการหมักเปลือกส้มโอ พบว่าอัตราส่วน 1:1 มีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันสูงสุดคือร้อยละ 51.64 รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:2 มีกิจกรรมการเกิดอิมัลชันร้อยละ 50.32 และอัตราส่วน 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ จากการหมักเปลือกส้มโอทั้ง 4 อัตราส่วน นั้นมีความสามารถในการอิมัลซิไฟด์น้ำมันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนในการหมัก สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีศักยภาพจะนำไปใช้ทางการค้าได้ควรมีค่าการอิมัลซิไฟด์น้ำมันมากกว่าร้อยละ 50 (Zhu *et al.*, 2019) จากการทดลองในครั้งนี้ อัตราส่วนในการหมักเปลือกส้มโอที่ 1:1 ที่มีค่าการอิมัลซิไฟด์น้ำมันปาล์มมากกว่าร้อยละ 50 มีค่าการอิมัลซิไฟด์น้ำมันมากที่สุด (ร้อยละ 51.64) ค่าการอิมัลซิไฟด์เออร์ของสารละลายส่วนใสจากการหมักเปลือกส้มโอแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะสามารถนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากการหมักเปลือกส้มโอไปประยุกต์ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพทางการค้าได้

จากผลการทดลองจึงเลือกน้ำมันจากเปลือกส้มโอที่อัตราส่วน 1:1 ไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

2. ระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพของการหมักเปลือกส้มโออัตราส่วน 1:1

นำส่วนใสที่ได้จากการหมักมาตรวจวัดค่าความสามารถในการอิมัลซิไฟด์น้ำมัน จากการทดลองพบว่ามีการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ของการหมักและมีแนวโน้มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักโดยปริมาณสูงสุดที่เวลาในการหมัก 1 สัปดาห์ ด้วยความสามารถในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ที่ 3.15 กรัมต่อลิตร โดยการวัดค่า EA และ EI พบว่าจะเริ่มผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพและปลดปล่อยออกสู่น้ำหมักเมื่อเริ่มเข้าสู่การหมักใน ชั่วโมงที่ 12 ของการหมัก และมีการเพิ่มสูงสุดเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไป 1 สัปดาห์โดยมีค่า EA และ EI เท่ากับ ร้อยละ 45.67 และ 40.50 ตามลำดับ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กิจกรรมการอิมัลซิไฟด์น้ำมันของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากการหมักเปลือกส้มโอ ในอัตราส่วน 1:1

3. การศึกษาวิธีการสกัดสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากน้ำหมักจากเปลือกส้มโอ

หลังจากการหมักเปลือกส้มโอ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และกำจัดตะกอนออกโดยการปั่นเหวี่ยง นำ

ส่วนใสที่ได้มาศึกษาการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพโดยเลือกใช้วิธีการดังนี้ ตกตะกอนด้วยการปรับค่าพีเอช แอมโมเนียมซัลเฟต อะซิโตน เมทานอล เอทานอล และสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

(chloroform:methanol, 2:1) จากวิธีการเก็บเกี่ยวทั้ง 6 วิธี พบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์มี

ประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพดีที่สุด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบวิธีการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากการหมักเปลือกส้มโอ

Recovery method	Yield (g/L)	EA (%)	EI (%)	SR (mN/m)
Acid precipitation	2.87±0.015 ^b	56.03±0.69 ^c	23.67±0.57 ^c	30.66±0.95 ^d
Acetone precipitation	1.96±0.023 ^c	57.73±0.72 ^c	25.26±0.92 ^c	30.92±0.63 ^d
(NH ₄) ₂ SO ₄ precipitation	1.95±0.042 ^c	58.39±0.20 ^c	25.12±0.83 ^c	32.64±0.56 ^c
MeOH precipitation	2.07±0.025 ^b	60.05±0.93 ^b	38.25±0.73 ^b	38.86±0.69 ^b
EtOH precipitation	2.10±0.042 ^b	61.09±0.93 ^b	41.32±0.79 ^a	37.59±0.92 ^b
CH ₃ Cl:MeOH extraction	3.15±0.045 ^a	65.46±0.59 ^a	41.63±0.60 ^a	40.78±0.49 ^a

*Results represented mean ± standard deviation from triplicate determinations

**Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$)

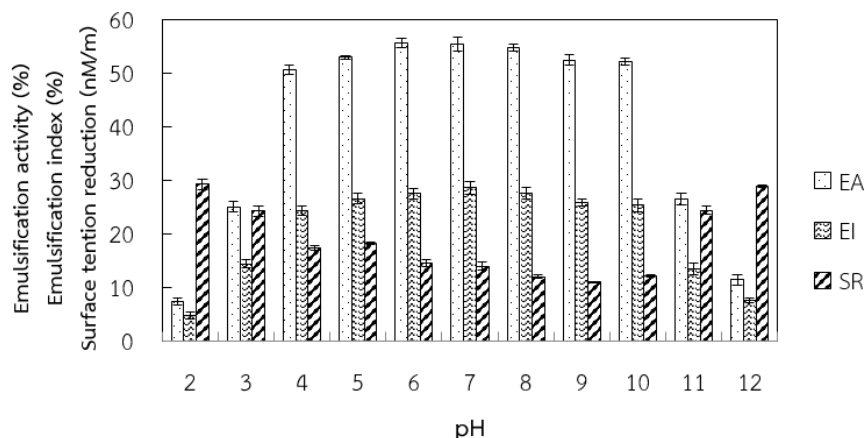
จากการทดลองพบว่าวิธีการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากน้ำหมักจากเปลือกส้มโอการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพด้วยการสกัดโดยใช้สารละลายอินทรีย์ (chloroform:methanol, 2:1) มีประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมากที่สุดสามารถเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวได้ 3.15 กรัมต่อลิตร โดยมีค่าการอิมัลซิไฟด์น้ำมันที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร สูงที่สุดที่ร้อยละ 65.46 และ 41.63 สำหรับค่า EA และ EI ตามลำดับ และมีค่าความสามารถในการลดค่าแรงตึงผิว เท่ากับ 40.78 (mN/m)

4. คุณสมบัติสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้จากการหมักเปลือกส้มโอ

4.1 การศึกษาความคงตัวต่อความเป็นกรด-ด่าง ของสารลดแรงตึงผิวที่สกัดได้

นำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้จากการหมักเปลือกส้มโอละลายในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 2.0-12.0 ด้วย 1 N NaOH หรือ 1 N HCl แล้ว

นำมาทดสอบกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิว จากการทดลอง พบว่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 2.0-12.0 มีผลต่อความคงตัวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้จากการหมักเปลือกส้มโอ จะเกิดกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิว ในช่วงพีเอช ตั้งแต่ 4 ถึง 10 ซึ่งมีค่าการลดแรงตึงผิวในช่วงร้อยละ 50.65-52.22 และ 24.31-25.32 ของค่า EA และ EI ตามลำดับ และมีค่า SR ในช่วง 17.44-12.10 mN/m เมื่อปรับพีเอชให้ลดลงต่ำกว่า 4 หรือมากกว่า 11 จะทำให้กิจกรรมในการลดแรงตึงผิวลดลงอย่างมาก เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเกิดการตกตะกอนในสถานะที่เป็นกรดสูงและด่างสูง (Dikit *et al.*, 2019) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Vaz *et al.* (2012) ที่พบว่าค่าการอิมัลซิไฟด์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพชีวภาพที่ผลิตได้จากเชื้อ *Bacillus subtilis* มีค่าคงที่ในช่วงพีเอช 5.0-10.0 และลดลงที่พีเอชต่ำกว่า 5.0 เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชีวภาพบางส่วนเกิดการตกตะกอน ดังภาพที่ 3

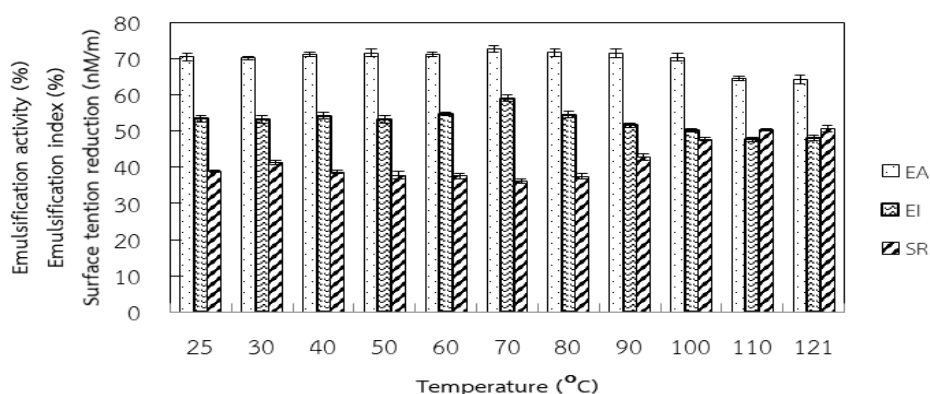


ภาพที่ 3 ผลของระดับพีเอชต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่หมักจากเปลือกส้มโอ

4.2 ผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้

นำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้จากการหมักเปลือกส้มโอ ละลายในน้ำกลั่นที่ให้ได้ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส

ตามลำดับ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และบ่มที่อุณหภูมิ 110 และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงมาที่ 30 องศาเซลเซียส แล้วนำมาทดสอบกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลของอุณหภูมิต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากการหมักเปลือกส้มโอ

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในช่วง 25-121 องศาเซลเซียส มีผลต่อความคงตัวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$ ซึ่งเห็นได้จากค่า EA และ EI ที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงร้อยละ 64.30-72.62 และ 47.66-59.05 ตามลำดับ และค่า SR อยู่ในช่วง 38.83-

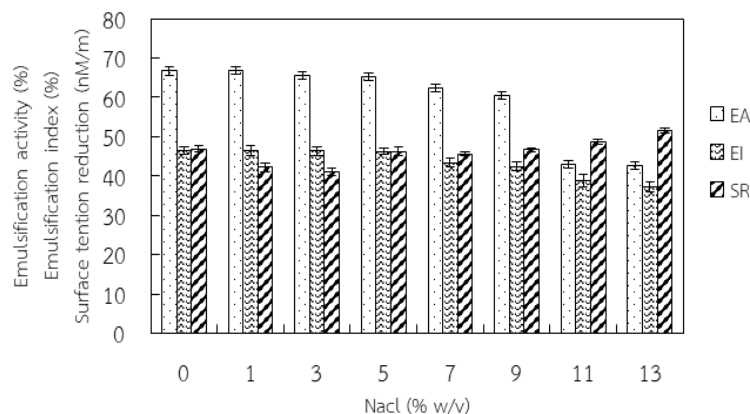
50.63 nN/m ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษา Wang *et al.* (2011) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความคงตัวของสารอิมัลซิไฟค์เออร์ชีวภาพที่ผลิตจากเชื้อ *Bacillus subtilis* strain JA-1 พบว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีความคงตัวที่อุณหภูมิในช่วง 4-

100 องศาเซลเซียส โดยมีค่า EI อยู่ในช่วงร้อยละ 72-75

4.3 ผลของเกลือต่อความคงตัวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้

ในการศึกษาผลของเกลือต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเนื่องจากการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพในการบำบัดคราบน้ำมันที่ปนเปื้อนในทะเลนั้น องค์ประกอบหลักของน้ำทะเลอาจมีผลต่อการทำงานของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้แก่โซเดียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ จากการศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อความคงตัวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากการหมักเปลือกส้มโอพบว่าโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 1-9 โดยน้ำหนักมีผลต่อความคงตัวของสาร

ลดแรงตึงผิวชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$ โดยมีกิจกรรมการลดแรงตึงผิวอยู่ในช่วงร้อยละ 60-66 และ 42-46 สำหรับ EA และ EI ตามลำดับ และมีค่า SR อยู่ในช่วง 41.08-46.94 nM/m แต่เมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มากกว่าร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก กิจกรรมการลดแรงตึงผิวจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 5) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงมีผลทำให้ค่าการลดแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีประสิทธิภาพลดลง จากรายงานของ Thimon *et al.* (1992) ไอออนของเกลือจะมีผลต่อโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ เนื่องจากไอออนของเกลือจะจับหมู่คาร์บอกซิลิกของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ



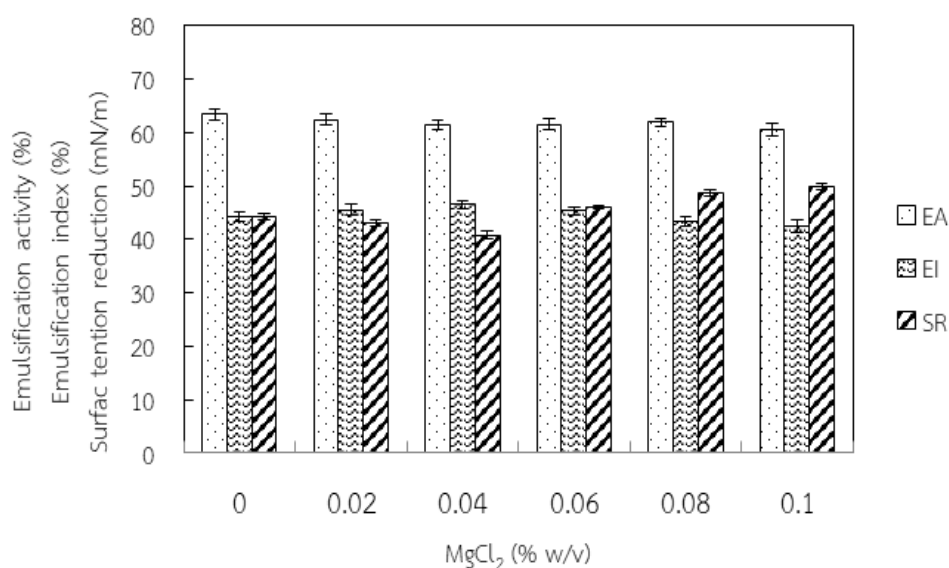
ภาพที่ 5 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตจากการหมักเปลือกส้มโอ

ภาพที่ 6 แสดงผลของแมกนีเซียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตจากการหมักเปลือกส้มโอ แมกนีเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0-0.1 โดยน้ำหนัก มีผลต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$ โดยมีค่าการลดแรงตึงผิวอยู่ในช่วงร้อยละ 60-63 และ 42-46 สำหรับ EA และ EI ตามลำดับ และมีค่า SR อยู่ในช่วง 40.83-45.89 nM/m จากภาพที่ 7 การศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อ

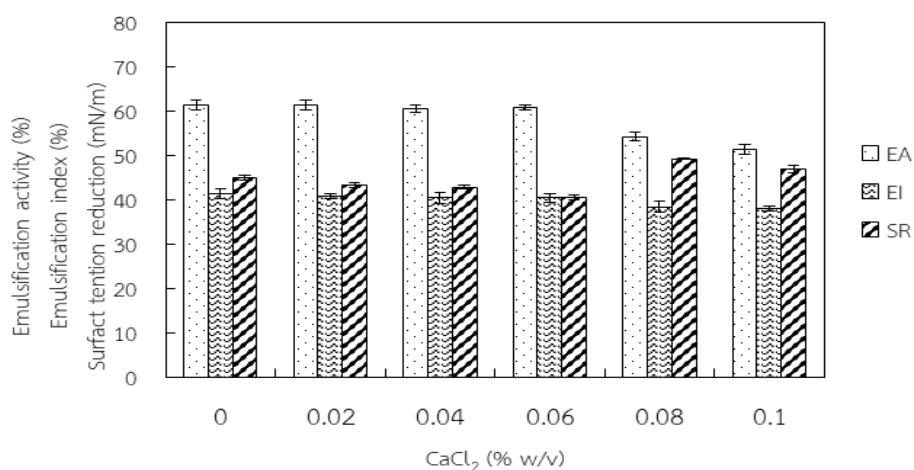
ความสามารถในการลดการตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตจากการหมักเปลือกส้มโอ พบว่า ที่แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0-0.06 โดยน้ำหนักมีผลต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.001$ โดยมีค่าการลดแรงตึงผิวอยู่ในช่วงร้อยละ 60-62 และ 40-41 สำหรับ EA และ EI ตามลำดับ และมีค่า SR อยู่ในช่วง 40.58-45.06 nM/m แต่เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์สูงกว่าร้อยละ 0.06 ความสามารถ

ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าลดลงสอดคล้องกับผลการทดลองของ Manerat and Phetrong (2007) ที่ศึกษาความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของสารอิมัลซิไฟเออร์ชีวภาพที่ผลิตจากเชื้อ *Myroides* sp. SM1 ซึ่งแยกจากน้ำทะเลปนเปื้อนน้ำมัน พบว่าอิมัลซิไฟเออร์ชีวภาพที่ผลิต

จากเชื้อ *Myroides* sp. SM1 มีความคงตัวต่อโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0-9 โดยน้ำหนักและการเติมแมกนีเซียมคลอไรด์มีผลต่อสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้เพียงเล็กน้อย แต่การเติมแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 4-18 มิลลิโมลทำให้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพสูญเสียกิจกรรมการอิมัลซิไฟด์น้ำมัน



ภาพที่ 6 ผลของเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากน้ำหมักเปลือกส้มโอ



ภาพที่ 7 ผลของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ต่อกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากน้ำหมักเปลือกส้มโอ

5. การทดสอบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตได้จากการหมักเปลือกส้มโอในการยับยั้งแบคทีเรีย

จากการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำหมักจากเปลือกส้มโอในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคโดยวิธี Broth Dilution Method พบว่าน้ำหมักจากเปลือกส้มโอมีค่าความเข้มข้นต่ำสุด (MIC) ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *E. coli* *Salmonella* sp. *S. aureus* และ *B. cereus* เท่ากับ 23, 24, 5.25 และ 1.75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากค่าความเข้มข้นต่ำสุด (MIC) ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า น้ำหมักจากเปลือกส้มโอสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli* และ *Salmonella* sp.) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus* และ *B. cereus*) เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบมีผนังเซลล์ที่ประกอบไปด้วยลิโปโพลีแซคคาไรด์ที่มีความบางกว่า แบคทีเรียแกรมบวกที่มีชั้นเปปติโดไกลแคนหนาถึง 20-80 นาโนเมตร จึงทำให้สารลดแรงตึงผิวสามารถ เข้าทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก ส่วนค่าความต่ำสุด (MBC) ที่ สามารถทำลายเชื้อ *E. coli* *Salmonella* sp. *S. aureus* และ *B. cereus* คือ 55 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

สรุป

จากการศึกษาการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ จากการหมักเปลือกส้มโอกับน้ำ ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าที่อัตราส่วน 1:1 มีสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงสุด โดยมีค่าการเกิดอิมัลชันเท่ากับร้อยละ 51.64 เมื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ พบว่ามีกิจกรรมการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพตั้งแต่ชั่วโมงที่ 12 ของการหมักและมีแนวโน้มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักโดยปริมาณ

สูงสุดที่เวลาในการหมัก 1 สัปดาห์ สำหรับการศึกษาวิธีการสกัดสารลดแรงตึงผิวชีวภาพชีวภาพจากน้ำหมักจากเปลือกส้มโอพบว่าด้วยการสกัดโดยใช้สารละลายอินทรีย์ (chloroform:methanol, 2:1) มีประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมากที่สุดสามารถเก็บเกี่ยวสารลดแรงตึงผิวได้ 3.15 กรัมต่อลิตร สำหรับการศึกษาคุณสมบัติสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สกัดได้จากการหมักเปลือกส้มโอพบว่ามีความคงตัว ในช่วงพีเอช 4-10 อุณหภูมิ 25-121 องศาเซลเซียส ความคงตัวต่อโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 9 มีความคงตัวต่อแมกนีเซียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0-0.1 และ 0-0.06 ตามลำดับ และจากการทดสอบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตได้จากการหมักเปลือกส้มโอในการยับยั้งแบคทีเรีย พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli* และ *Salmonella* sp.) ได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus* และ *B. cereus*)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรังที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัย อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Abouseoud, M., Maachi, R., Amrane, A., Boudergua, S. and Nabi, A. 2008. Evaluation of different carbon and nitrogen sources in production of biosurfactant by *Pseudomonas fluorescens*. **Desalination** 223: 143-151.
- Arun, K.P., Nilotpala, P. Lala, B.S. Prasanna, K.P. and Barda, K.M. 2014. Inhibition of

- pathogenic bacterial biofilm by biosurfactant produced by *Lysinibacillus fusiformis* S9. **Bioprocess Biosystem Engineering** 37: 139-149.
- Dikit, P., Maneerat, C. and Saimmai, A. 2019. The effective emulsifying property of biosurfactant-producing *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* ST1 obtained from palm oil contaminated sites. **Applied Biochemistry and Microbiology** 55(6): 615-625.
- Gasaluck, P. and Unsirilai, R. 2010. **Research Report no Biosurfactant from sour cherry (*Prunus cerasus* L.) conventional fermentation. final.** Suranaree University, Thailand. (in Thai)
- Maneerat, S. and Phetrong, K. 2007. Isolation of biosurfactant-producing marine bacteria and characteristics of selected biosurfactant. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 29(3): 781-791.
- Saimmai, A., Sobhon, V. and Maneerat, S. 2012. Production of biosurfactant from a new and promising strain of *Leucobacter komagatae* 183. **Annal of Microbiology** 62: 391-402.
- Thimon, L., Peypoux, F. and Michel, G. 1992. Interactions of surfactin, a biosurfactant from *Bacillus subtilis* with inorganic cations. **Bioresource technology Letter** 14: 713-718.
- Vaz, D.A., Gudinab, E.J., Alameda, E.J., Teixeira, J.A. and Rodrigues, L.R. 2012. Performance of a biosurfactant produced by a *Bacillus subtilis* strain isolated from crude oil samples as compared to commercial chemical surfactants. **Colloids Surfactant** 89: 167-174.
- Wang, J., Ji, G., Tian, J., Zhang, H., Dong, H. and Yu, L. 2011. Functional characterization of a biosurfactant-producing thermo-tolerant bacteria isolated from an oil reservoir. **Petroleum Science** 8: 353-356.
- Xu, Q., Nakajima, M., Liu, Z. and Shiina, T. 2011. Biosurfactants for microbubble preparation and application. **International Journal of Molecular Sciences** 12(1): 462-475.
- Zhu, Z., Wen, Y. and Yi, J. 2019. Comparison of natural and synthetic surfactants at forming and stabilizing nanoemulsions: Tea saponin, Quillaja saponin, and Tween 80. **Journal of Colloid Interface Science** 536(15): 80-87.

ผลของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ (*Phyllanthus urinaria*) ต่อสุขภาพตับและ
ตับอ่อน การต้านอนุมูลอิสระ การตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน และความต้านทาน
โรคตับและตับอ่อนวายเฉียบพลันของกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)

**Effects of Crude Extract of Hazardana (*Phyllanthus urinaria*) on
Hepatopancreatic Health Status, Antioxidant, Immune Response and
Resistance to Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease in Pacific White
Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)**

อุทร เจริญเดช^{1*} วรวุฒิ เกิดปราง¹ และ จำเริญศรี ถาวรสุวรรณ²

Uton Charoendat^{1*}, Worawut Koedprang¹ and Jumroensri Thawonsuwan²

Received: 23 June 2020, Revised: 1 October 2020, Accepted: 4 November 2020

บทคัดย่อ

การใช้สารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ (*Phyllanthus urinaria*) ในการผสมอาหารกุ้งด้วยความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น
คราวละ 10 เท่า ในช่วง 1-10,000 ppm แล้วนำไปเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) นาน 56 วัน พบว่ากุ้ง
มีค่าระดับเอนไซม์ aspartate aminotransferase และ alanine aminotransferase ลดลงแปรผกผันกับระดับความเข้มข้น
ของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 เท่า โดยที่ความเข้มข้น 1,000 และ 10,000 ppm ให้ผลดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p < 0.05$) เนื่องจากตับและตับอ่อนที่มีสุขภาพดีจะมีค่าระดับเอนไซม์ทั้งสองต่ำ ส่วนค่า hepatosomatic index ค่า total
antioxidant capacity และค่า phenoloxidase activity พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในทุกความเข้มข้นของสารสกัด
ที่ผสมอาหารให้กุ้งกิน ถึงแม้จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นก็ตาม ในการศึกษาพบว่าค่า
phagocytic activity นั้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อกุ้งกินอาหารผสมสารสกัดที่ความเข้มข้น 1,000 และ
10,000 ppm และจากการศึกษาความต้านทาน โรคตับและตับอ่อนวายเฉียบพลัน (AHPND) ที่เกิดจากการติดเชื้อ *Vibrio*
parahaemolyticus VPP ในลูกกุ้ง พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารเสริมสารสกัดที่ความเข้มข้น 10,000 ppm เป็นเวลา 28 วัน
มีอัตราการรอดตายและอัตราการรอดตายสัมพัทธ์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 88.00 ± 8.37 และ 75.00 ± 17.43 %

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

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

² ศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90100

² Songkhla Aquatic Animal Health Research Center, Muang, Songkhla 90100, Thailand.

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

ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า สารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบนั้นสามารถส่งเสริมสุขภาพตับและตับอ่อนของกุ้งได้ และอาจเสริมการต้านอนุมูลอิสระ ภูมิคุ้มกัน และความต้านทานโรค AHPND ได้ แต่ต้องใช้สารสกัดหยาบในปริมาณสูง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแยกเฉพาะสารออกฤทธิ์ของพืชชนิดนี้ที่จะนำมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ: หญ้าไต้ใบ, กุ้งขาวแวนนาไม, ตับและตับอ่อน, โรคตับและตับอ่อนวายฉับพลัน

ABSTRACT

The use of feed containing crude extract from Hazarnada (*Phyllanthus urinaria*) at ten times concentration increased within a range of 1 to 10,000 ppm, for rearing Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), was investigated over a 56-day feeding trial. It was found that the decrease of aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase levels in shrimp were in contrast to each ten-fold increase of the extract concentration, and the concentration levels of 1,000 and 10,000 ppm showed significant differences ($p<0.05$). In case of hepatosomatic index, total antioxidant capacity and phenoloxidase activity, no significant differences ($p>0.05$) were found in all concentrations of the extract fed to shrimp, although the tendency grew with increasing concentration. In this trial, the phagocytic activity had significantly elevated ($p<0.05$) when shrimp fed with diets containing 1,000 and 10,000 ppm of the extract. Regarding the study of resistance to acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) caused by *Vibrio parahaemolyticus* VPP infection in juvenile shrimp, the results exhibited that shrimp ingested 10,000 ppm extract-supplemented diet for 28 days had the highest survival rate and relative percentage survival ($p<0.05$). In conclusion, it is suggested that Hazardana crude extract can promote hepatopancreas health status of shrimp and may strengthen antioxidants, immunity and resistance to AHPND, but it must be applied with high concentration. Therefore, further studies on separation of specific active ingredients should be conducted to use this plant extract more effectively.

Key words: *Phyllanthus urinaria*, *Litopenaeus vannamei*, hepatopancreas, acute hepatopancreatic necrosis disease

บทนำ

กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีการขยายตัวด้านการเลี้ยงเรื่อยมา เนื่องจากเป็นกุ้งที่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์มาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เจริญเติบโตเร็ว มีขนาดสม่ำเสมอ และสามารถเลี้ยงได้ในอัตราความหนาแน่นสูง แต่อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงกุ้งในปัจจุบันมักประสบกับปัญหาต่างๆ มากขึ้น โดยเฉพาะปัญหา

ด้านโรคระบาดที่เป็นโรคอุบัติใหม่ซึ่งยังไม่มีวิธีการป้องกันรักษาที่ชัดเจน โดยปัญหาเกี่ยวกับโรคกุ้งนี้ โรคตับและตับอ่อนวายฉับพลัน (acute hepatopancreatic necrosis disease; AHPND) ซึ่งมีชื่อเดิมคือกลุ่มอาการตายด่วน (early mortality syndrome; EMS) ที่สามารถทำให้กุ้งตายหลังจากปล่อยลงเลี้ยงในบ่อดินเป็นระยะเวลาประมาณ 35 วัน ก็ยังคงเป็นปัญหากับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในปัจจุบัน

โดยกุ้งที่ติดเชื้อจะมีตับและตับอ่อนอักเสบอย่างฉับพลัน พิจารณาจากอาการตับและตับอ่อนขาวซีด ฝ่อลีบ เนื้อเยื่อมีการตายและการอักเสบ ไม่มีการสะสมของเม็ดไขมันที่เซลล์ตับ (FAO, 2013; Tran *et al.*, 2013) ที่ผ่านมามีรายงานการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่ากลุ่มอาการดังกล่าวเกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio parahaemolyticus* สายพันธุ์ที่มียีนสร้างสารพิษ คือ binary Pir-liketoxin pair ToxA และ ToxB ซึ่งสารพิษเหล่านี้อยู่ที่ pVA plasmid ขนาดประมาณ 69 kbp ของเชื้อ *V. parahaemolyticus* ที่ก่อโรค AHPND และสามารถตรวจวัดเชื้อก่อโรคได้โดยใช้วิธีการ AHPND detection version 4 (AP4) ซึ่งเป็นวิธี two-tube nested PCR ที่ใช้ตรวจยีนที่สร้างสารพิษที่ก่อให้เกิดโรค AHPND ได้แก่ ToxA และ ToxB (Dangtip *et al.*, 2015) เพื่อการแก้ปัญหาเบื้องต้นเกี่ยวกับโรคนี้ เกษตรกรจึงได้มีการจัดระบบฟาร์มเลี้ยงกุ้งให้ถูกสุขลักษณะ มีการกำจัดของเสียจำพวกสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยงเพื่อตัดทอนการเจริญของเชื้อก่อโรค มีการใช้ลูกพันธุ์ที่แข็งแรง ปลอดโรคหรือเลือกใช้กุ้งชำ ซึ่งเป็นกุ้งที่อนุบาลเบื้องต้นก่อนประมาณ 1 เดือน ก่อนปล่อยลงสู่บ่อดิน และเลี้ยงกุ้งตามวิถีทางแห่งธรรมชาติโดยปราศจากการใช้ยาปฏิชีวนะ เช่น การใช้โปรไบโอติกส์และพรีไบโอติกส์ และการใช้พืชสมุนไพรในการเลี้ยงกุ้ง โดยพบว่าสมุนไพรหลายชนิดมีประสิทธิภาพดีและสามารถนำมาใช้ในการป้องกันโรค AHPND ได้และชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ คือ หนุ้าใต้ใบ หรือลูกใต้ใบชนิด *Phyllanthus urinaria* เนื่องจากสมุนไพรชนิดนี้มีสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์หลายชนิด ได้แก่ glycosides, saponins, flavonoids, alkaloids, lignans และ tannins เป็นต้น ทำให้มีฤทธิ์ทางยาที่เด่นชัด คือ เป็นสมุนไพรบำรุงตับ ต้านเชื้อไวรัส ต้านเชื้อแบคทีเรีย ลดการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ ต้านเนื้องอก และต้านเซลล์มะเร็ง เป็นต้น (Khongsen *et al.*,

2013) ในการใช้สารสกัดจากหนุ้าใต้ใบกับสัตว์น้ำ ได้มีรายงานของ Direkbusarakom *et al.* (1995) พบว่าสารสกัดหยาบจากพืชชนิดนี้ที่ความเข้มข้น 1 mg/ml มีคุณสมบัติในการต้านเชื้อไวรัส YHV ที่ทำให้เกิดโรคหัวเหลืองในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) มีค่า LD₅₀ เมื่อทดสอบกับลูกกุ้งระยะ PL-15 เท่ากับ 2,564±5.8 mg/ml และมีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของกระบวนการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเซลล์เม็ดเลือด (phagocytosis) ในกุ้งกุลาดำ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาพบว่าสมุนไพรชนิดนี้สามารถต้านเชื้อไวรัส WSSV ที่ทำให้เกิดโรคตัวแดงดวงขาวในกุ้ง และที่ความเข้มข้น 10 ppm สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม *Vibrio* spp. ในกุ้งได้ 100% (Direkbusarakom, 1998) ด้วยคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาเซลล์ตับให้มีสภาพสมบูรณ์ ลดโอกาสการเกิดอาการตับอักเสบ และการป้องกันโรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับตับ หนุ้าใต้ใบจึงเป็นพืชสมุนไพรที่น่าสนใจ เพื่อนำมาใช้ในการเลี้ยงกุ้งในลักษณะของการเสริมสุขภาพบำรุงรักษาสุขภาพตับและตับอ่อน ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันโรค AHPND ที่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียชนิด *V. parahaemolyticus* ทำให้ปัญหาในการเลี้ยงกุ้งของเกษตรกรผู้เลี้ยงลดลง ส่งผลต่อความยั่งยืนในอุตสาหกรรมกุ้งไทยในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมสารสกัดหยาบจากหนุ้าใต้ใบ

ทำการสกัดสารสกัดหยาบจากหนุ้าใต้ใบ (*P. urinaria*) ด้วยวิธีการที่ดัดแปลงจาก Poompachee and Chudapongse (2012) โดยนำหนุ้าใต้ใบทั้งต้นมาล้างให้สะอาด ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ อบแห้งด้วยเครื่อง hot air oven ที่อุณหภูมิ 50 °C บดให้ละเอียด แล้วแช่ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 99.9 % ในอัตราส่วน 1:10 w/v เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นกรองน้ำสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 แล้วนำไประเหยแห้งด้วยเครื่อง

rotary evaporator จนได้สารสกัดถึงเหลวกึ่งแข็งนำไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 50 °C เก็บสารสกัดหยาบที่ได้ในตู้เย็น - 20 °C เพื่อรอการใช้งาน

ผลของการเสริมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบในอาหารต่อสุขภาพตับและตับอ่อน การต้านอนุมูลอิสระ และการตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน

1. การออกแบบการทดลองและการจัดการระบบเลี้ยง

ทำการแบ่งชุดการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) ออกเป็น 6 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ แบ่งตามระดับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ใช้ในการผสมอาหาร โดยพิจารณาจากรายงานของ Direkbusarakom *et al.* (1998) และการทดสอบเบื้องต้นในกึ่งเกี่ยวกับการยอมรับอาหารผสมสารสกัด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารไม่ผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 อาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ 1 ppm (0.001 g ต่ออาหาร 1 kg)

ชุดการทดลองที่ 3 อาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ 10 ppm (0.01 g ต่ออาหาร 1 kg)

ชุดการทดลองที่ 4 อาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ 100 ppm (0.1 g ต่ออาหาร 1 kg)

ชุดการทดลองที่ 5 อาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ 1,000 ppm (1 g ต่ออาหาร 1 kg)

ชุดการทดลองที่ 6 อาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ 10,000 ppm (10 g ต่ออาหาร 1 kg)

กึ่งทดลองในแต่ละซ้ำถูกเลี้ยงในถังพลาสติกกลมสีดำขนาดความจุ 500 L (เส้นผ่านศูนย์กลาง 93 cm ความสูง 74 cm) ด้วยความหนาแน่น 50 ตัวต่อน้ำ 400 L และใช้กึ่งขนาดเริ่มต้นที่ 7-8 g เพื่อทดลองเลี้ยง 56 วัน ในระบบเลี้ยงที่มีชุดกรองน้ำ มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50% สัปดาห์ละ 2 ครั้ง และมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุก

สัปดาห์เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเลี้ยงกึ่ง โดยวัดอุณหภูมิของน้ำด้วย thermometer และควบคุมให้อยู่ระหว่าง 25-32 °C วัดความเค็มของน้ำด้วย salinometer และควบคุมให้มีค่าเท่ากับ 15 ppt วัด pH ของน้ำด้วย pH meter และควบคุมให้อยู่ระหว่าง 7.5-8.5 และใช้วิธีการมาตรฐานในการวิเคราะห์น้ำ (APHA, 2012) เพื่อวัดคุณภาพน้ำอื่นๆ ได้แก่ วัดออกซิเจนที่ละลายน้ำและควบคุมให้มากกว่า 5 mg/L วัดความเป็นด่างและควบคุมให้อยู่ระหว่าง 100-120 mg/L as CaCO₃ วัดแอมโมเนียและควบคุมให้น้อยกว่า 1 mg/L และวัดไนไตรท์และควบคุมให้น้อยกว่า 0.1 mg/L ในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ การถ่ายเทอากาศภายในโรงเพาะฟัก ความเข้มแสง และอัตราส่วนของแสงสว่างกลางวันกับกลางคืนนั้นขึ้นอยู่กับช่วงเวลาตามธรรมชาติในรอบวัน

2. การเตรียมอาหารทดลองและการให้อาหาร

ทำการละลายสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ด้วย ethanol 95% ปริมาตร 10 ml จากนั้นสเปรย์ลงบนอาหารกึ่งสำเร็จรูปขนาดกลาง (โปรตีน 35%) ปริมาณ 1 kg ที่ใส่ในถุงพลาสติก เขย่าถุงให้เม็ดอาหารเคลือบด้วยสารสกัดจนทั่ว แล้วอบแห้งเม็ดอาหารด้วยเครื่อง hot air oven ที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 2 ชั่วโมง และผึ่งลม 1 ชั่วโมง จากนั้นเคลือบเม็ดอาหารด้วยน้ำมันปลาและผึ่งให้แห้งอีก 1 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการละลายของสารออกมาจากเม็ดอาหารขณะที่อยู่ในน้ำและเพิ่มความอยากอาหารให้กับกึ่ง สำหรับอาหารในชุดความคุ่มนั้นมีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกันกับอาหารในชุดทดลองทุกขั้นตอน แต่ไม่มีสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ เตรียมอาหารทดลองใหม่สัปดาห์ละครั้ง และเก็บรักษาสภาพในตู้เย็นอุณหภูมิ -20 °C โดยการให้อาหารกึ่งนั้น เริ่มต้นอัตราการให้อาหารที่ 6% ของน้ำหนักตัวต่อวัน

ให้อาหาร 4 มื้อต่อวัน และมีการปรับปริมาณอาหารตามอัตราการกินของกุ้งในแต่ละวัน

3. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง
การเก็บตัวอย่างนั้นผู้วิจัยได้รับใบอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ เลขที่ใบอนุญาต U-01574-2588 โดยเก็บตัวอย่างหลังจากเลี้ยงกุ้งเป็นเวลา 56 วัน อดอาหารกุ้ง 12 ชั่วโมงก่อนทำการสุ่มเก็บตัวอย่างกุ้ง 15 ตัวต่อชุดการทดลอง (ซ้ำละ 5 ตัว) เพื่อเก็บข้อมูลน้ำหนักตัว น้ำหนักตับและตับอ่อน และทำการเก็บเลือดกุ้งเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยชีวิตต่างๆ ได้แก่

3.1 การวิเคราะห์หาค่าดัชนีตับ (hepatosomatic index; HSI)

คำนวณจากสูตร $HSI (\%) = \frac{\text{น้ำหนัก hepatopancreas} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวกุ้ง}}$

3.2 การวิเคราะห์หาค่าระดับเอนไซม์ aspartate aminotransferase (AST) และ alanine aminotransferase (ALT)

ดำเนินการโดยดูดเลือดกุ้ง 1 ml จาก ventral sinus cavity ด้วย sterile syringe (26-gauge) ขนาด 3 ml ที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (5% sodium citrate) เคลือบอยู่ จากนั้นปั่นตกตะกอนเลือดด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 4,000 rpm เวลา 4 นาที อุณหภูมิ 4 °C เพื่อแยกส่วนของน้ำเลือด (plasma) มาวิเคราะห์หาค่าระดับเอนไซม์ AST และ ALT ซึ่งมีหน่วยเป็น unit/L (U/L) โดยใช้ชุดทดสอบ Aspartate transaminase assay kit (Abnova Corporation, Taiwan) และ Alanine transaminase assay kit (Abnova Corporation, Taiwan) ตามลำดับ

3.3 การวิเคราะห์หาค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวม (total antioxidant capacity; TAC)

ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเลือดกุ้งเช่นเดียวกันกับวิธีการในข้อ 3.2 และนำมาวิเคราะห์หาค่า TAC (μM) ด้วยชุดทดสอบ OxiSelect™ total

antioxidant capacity (TAC) assay kit (Cell Biolabs, Inc., San Diego, USA)

3.4 การวิเคราะห์ค่า phenoloxidase activity (PO)

ดำเนินการโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Rengpipat *et al.* (2000) โดยดูดเลือดกุ้ง 300 μl จาก ventral sinus cavity ด้วย sterile syringe (26-gauge) ขนาด 1 ml ที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด (10% sodium citrate ใน K-199 medium) อยู่ 600 μl จากนั้นนำเลือดใส่หลอดขนาด 1.5 ml แล้วนำไปปั่นตกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 4,000 rpm เวลา 3 นาที อุณหภูมิ 4 °C เพื่อแยกเอาเฉพาะส่วนของเม็ดเลือด (hemocytes) ที่ตกตะกอนกันหลอดมาเติม CAC buffer 300 μl ละลายตะกอนของเม็ดเลือดที่กั้นหลอดแล้วนำไปใส่ในเครื่อง sonicator 10 นาที เพื่อให้เซลล์เม็ดเลือดแตก และปั่นตกตะกอนเลือดที่ 16,000xg เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 4 °C เพื่อแยกเฉพาะส่วนไซ (hemolysate) มาใช้ในการวัดปริมาณ protein ซึ่งดำเนินการตาม Lowry's method (Lowry *et al.*, 1951) และวัดค่า phenoloxidase activity โดยใส่ตัวอย่าง hemolysate 50 μl ผสมกับ trypsin 50 μl ใน 1 well ของ 96-well plate แบบ flat bottom (3 wells ต่อตัวอย่าง) ในส่วนของ blank ให้ใส่ CAC buffer แทนตัวอย่าง จากนั้นบ่ม 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติม L-DOPA 50 μl บ่มต่ออีก 10 นาที แล้วทำการวัดค่าความสามารถในการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ optical density (OD) 490 nm ทุก 2 นาที ในช่วงเวลา 20 นาที ด้วยเครื่อง microplate reader (Spectrostar Nano) จากนั้นนำค่า absorbance ที่ได้ไปคำนวณ phenoloxidase activity (unit/min/mg protein) โดย 1 unit ของ phenoloxidase เท่ากับการเพิ่มขึ้นของค่า absorbance ที่ 0.001/min/mg protein

3.5 การวิเคราะห์ค่า phagocytic activity (PA)

ดำเนินการโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Rengpipat *et al.* (2000) โดยผสม hemocytes (~10⁶

cells/ml) 300 μ l และยีสต์ ($\sim 10^7$ cells/ml) 300 μ l ในหลอดขนาด 1.5 ml จากนั้นหยอดและกระจายส่วนผสม 200 μ l ลงบน slide ที่เตรียมไว้ (ทำ 2 ซ้ำ) บ่มใน moisture chamber ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง ครึ่ง แล้วค่อยๆ ล้าง medium ที่มี hemocytes ซึ่งไม่เกาะกระเจกออก 1 รอบด้วย K-199 medium 100 μ l ครึ่ง hemocytes ที่เกาะกระเจกด้วย 0.125% L-glutaraldehyde 200 μ l บ่ม 5 นาที แล้วค่อยๆ ล้าง hemocytes ที่ไม่เกาะกระเจกอีกครั้งด้วย K-199 medium 100 μ l ผึ่งลมให้แห้งและย้อมสี slide ด้วย Diff Quick staining set (High Science Limited Partnership) ปิดผนึกแผ่น slide ด้วย permount แล้วทำการนับจำนวน hemocytes ทั้งหมด 200 เซลล์ โดยนับแยกเซลล์ที่จับกินยีสต์ และนับจำนวนยีสต์ที่ถูกจับกินภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1,000x และนำมาคำนวณค่า phagocytic activity ต่างๆ ดังนี้

Percent phagocytosis (% P) = (จำนวน hemocytes ที่จับกินยีสต์ / จำนวน hemocytes ที่นับ) $\times$ 100

Phagocytic index (PI) = (จำนวน hemocytes ที่จับกินยีสต์ / จำนวน hemocytes ที่นับ) $\times$ (จำนวนยีสต์ที่ถูกจับกิน / จำนวน hemocytes ที่นับ) $\times$ 100

Average number of the yeasts ingested per cell (AYPC) = จำนวนยีสต์ที่ถูกจับกิน / จำนวน hemocytes ที่จับกินยีสต์

ผลของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบในอาหารต่อการต้านทานโรค AHPND ในกุ้งทดลอง

1. การเลี้ยงกุ้งด้วยอาหารทดลอง

เลี้ยงกุ้งโดยการแบ่งเป็น 6 ชุดการทดลอง ตามการทดลองข้างต้น โดยเลี้ยงกุ้งในถังพลาสติกกลมสีดำขนาด 500 ลิตร ชุดการทดลองละ 1 ถัง ด้วยความหนาแน่น 150 ตัวต่อน้ำ 400 ลิตร และใช้ลูกกุ้งเริ่มต้นระยะ PL15 ทดลองเลี้ยงนาน 28 วัน ให้กุ้งกินอาหารทดลองตามวิธีการเตรียมข้างต้นแต่ให้อาหารกุ้งแบบเกล็ดเล็ก ให้อาหารกุ้ง 4 มื้อต่อวัน โดยมีอัตรา

การให้อาหารกุ้งเริ่มต้นที่ 10% ของน้ำหนักตัวต่อวัน และมีการปรับปริมาณอาหารตามอัตราการกินของกุ้งในแต่ละวันจนครบระยะเวลาทดลองเลี้ยง

2. การทดสอบความต้านทานโรค AHPND

2.1 การเตรียมเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* VPP

ดำเนินการเลี้ยงเชื้อ *V. parahaemolyticus* VPP ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรค AHPND ตามวิธีการของ Sritunyalucksana *et al.* (2005) แล้วนำเชื้อไปหาค่าความเข้มข้นที่ทำให้กุ้งที่เลี้ยง 1 เดือน (อายุลูกกุ้งประมาณ 45 วัน) ตายได้ 50% (median lethal concentration; LC₅₀) ตามวิธีการของ Reed and Muench (1938) จากนั้นนำข้อมูลความเข้มข้นที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนของการทดสอบความต้านทานโรคต่อไป

2.2 การทดสอบความต้านทานโรค (Challenge test)

ทำการทดสอบความต้านทานโรคโดยวิธีการแช่ (immersion method) ซึ่งดัดแปลงจากวิธีการของ Balcázar *et al.* (2007) โดยสุ่มลูกกุ้งน้ำหนักเฉลี่ย 1.26 ± 0.37 g จากแต่ละชุดการทดลองมา 50 ตัว แบ่งใส่ตะกร้าที่มีฝาปิดและมีความจุน้ำประมาณ 2 ลิตร ตะกร้าละ 10 ตัว ชุดการทดลองละ 5 ตะกร้า (ซ้ำ) จากนั้นนำตะกร้าไปแช่ในถังเดียวกันโดยวางตำแหน่งของตะกร้าแบบสุ่มตลอด ซึ่งถังที่ใช้เป็นถังพลาสติกสีดำขนาดความจุ 800 ลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 137 cm ความสูง 55 cm) มีน้ำทะเลความเค็ม 15 ppt ปริมาณ 400 ลิตร และมีเชื้อ *V. parahaemolyticus* ในระดับความเข้มข้นที่ 96 hr-LC₅₀ (2.39×10^4 CFU/ml) ทั้งนี้มีการติดตั้งระบบให้อากาศและระบบกรองน้ำในถังทดลองเพื่อให้คุณภาพน้ำอยู่ในสภาพดี มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำและปรับให้เหมาะสมกับสภาพการเลี้ยงกุ้งตามปกติ กุ้งได้รับอาหารทดลองตามปกติจนครบระยะเวลาทดสอบ 96 ชั่วโมง ทำการบันทึกอัตราการตายของกุ้งในแต่ละกลุ่มเพื่อนำไปหาค่าอัตราการตายสะสมในแต่ละวัน และเก็บตัวอย่างกุ้งที่ตายมาตรวจ

ด้วยเทคนิคทางจุลชีววิทยาเพื่อเป็นการยืนยันว่าการตายของกุ้งเกิดจากการติดเชื้อ *V. parahaemolyticus* ทั้งนี้ มีการจัดชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่เชื้อ *V. parahaemolyticus* ควบคู่ไปด้วยเพื่อการยืนยันว่าระบบที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานโรคไม่มีผลต่อการตายของลูกกุ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ นำผลการตายสะสมของกุ้งมาคำนวณหาค่าอัตราการรอดตาย (survival rate; SR) และอัตราการรอดตายสัมพัทธ์ (relative percentage survival; RPS) โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$SR (\%) = (\text{จำนวนลูกกุ้งที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100) / \text{จำนวนลูกกุ้งเริ่มต้น}$$

$$RPS (\%) = [1 - (\text{เปอร์เซ็นต์การตายของชุดการทดลอง} / \text{เปอร์เซ็นต์การตายของชุดควบคุม})] \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 21 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของทุกข้อมูลในแต่ละชุดการทดลองโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

สุขภาพตับและตับอ่อนของกุ้งขาวแวนนาไม

ตับและตับอ่อนของกุ้งขาวแวนนาไมเป็นอวัยวะที่สำคัญ โดยเป็นแหล่งเก็บพลังงานและสารอาหารซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง และมีบทบาทในการลดสารพิษและขับสารพิษออกจากร่างกายโดยผ่านการทำงานของ F-cells (Vogt and Quinitio, 1994) ในการศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่มีต่อสุขภาพตับและตับอ่อนของกุ้งขาวแวนนาไมครั้งนี้ ได้พิจารณาสุขภาพตับและตับ

อ่อนของกุ้งจากค่า hepatosomatic index (HSI) และการวัดระดับเอนไซม์ aspartate aminotransferase (AST) และ alanine aminotransferase (ALT) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่า HSI ที่ตรวจวัดในกุ้งนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 1) ในส่วนของระดับเอนไซม์ AST และ ALT ในน้ำเลือดกุ้งนั้นสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดหน้าที่การทำงานของตับและตับอ่อนกุ้ง (hepatopancreas) ซึ่งเทียบได้กับตับในสัตว์ที่มีวิวัฒนาการสูงกว่า โดยการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ AST และ ALT นี้ใช้ในการพิจารณาการเสื่อมของเซลล์ตับและตับอ่อน ซึ่งจะมีระดับสูงขึ้นเมื่อตับและตับอ่อนไม่สมบูรณ์ หรือมีความผิดปกติที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น การติดเชื้อและการได้รับสารพิษ (Nemcsok and Boross, 1982; Pacheco and Santos, 2002) เช่น กุ้งที่กินอาหารที่ปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อรา (aflatoxin) จะมีระดับของเอนไซม์ AST และ ALT ในน้ำเลือดสูงขึ้น เนื่องจากมีความผิดปกติของ hepatopancreas (Jamshidizadeh *et al.*, 2019) ทั้งนี้ มีงานวิจัยต่างๆ ได้นำค่าระดับเอนไซม์ทั้งสองไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของสารเสริมในอาหารกุ้งที่มีผลต่อสุขภาพตับและตับอ่อน เช่น การใช้ astaxanthin (Niu *et al.*, 2012) และการใช้ทรีโอนีน (Threonine) ผสมอาหารกุ้ง (Zhou *et al.*, 2013) ซึ่งพบว่าค่าระดับเอนไซม์ AST และ ALT ที่ตรวจวัดได้นั้นลดลง สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่มีผลต่อสุขภาพตับและตับอ่อนของกุ้งในการศึกษานี้พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบในการผสมอาหารกุ้งครั้งละ 10 เท่า มีผลทำให้เอนไซม์ AST และ ALT มีการลดระดับลงไปในแนวทางตรงกันข้าม โดยชุดการทดลองที่กุ้งกินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่มีความเข้มข้น 10,000 ppm แสดงผลของค่าระดับเอนไซม์ AST และ ALT ที่มีแนวโน้มต่ำสุด และมีความ

แตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับเอนไซม์ AST ของชุดการทดลองนี้กับชุดควบคุมและชุดการทดลองที่เลี้ยงกุ้งด้วยอาหารที่ผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 1, 10 และ 100 ppm (ตารางที่ 1) ส่วนค่าระดับเอนไซม์ ALT พบว่าชุดการทดลองนี้มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดการทดลองที่เลี้ยงกุ้งกินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 1 ppm (ตารางที่ 1) การที่ผลการศึกษาเป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบมีคุณสมบัติในการบำรุงตับ ต้านสารพิษ รักษาสภาพเซลล์ตับ และป้องกันการเกิดตับอักเสบ (Wang *et al.*, 1995) จึงอาจทำให้ค่าระดับเอนไซม์ AST และ ALT ซึ่งแสดงถึงภาวะความผิดปกติของตับและตับอ่อนในกุ้งลดลง แปรผกผันกับความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ใช้ในการผสมอาหารเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 เท่า การที่หญ้าไต้ใบแสดงผลออกมาในลักษณะดังกล่าวอาจเนื่องมาจากพืชชนิดนี้มีสารพฤกษเคมีหลายชนิด เช่น corilagin, flavonoids และ polysaccharides ซึ่งมีผลในการป้องกันโรคตับผ่านคุณสมบัติในการต้านการอักเสบโดยการลด TNF- α และการสร้าง IL-6 ผ่าน JNK และ NF-KB pathways ลดการเกิด oxidation ของกรดไขมันโดยการเพิ่มการทำงานของ CYP4a10 และลดการทำงานของ C/EBP β และการต้านอนุมูลอิสระโดยลดการผลิต CYP2e1 (Shen *et al.*, 2008) นอกจากนี้หญ้าไต้ใบยังช่วยลดอาการตับเป็นพิษเนื่องจากสาร CCl_4 ซึ่งเกิดจากการมี glutamate-pyruvate transaminase และ glutathione peroxidase เพิ่มขึ้น โดยการควบคุม L-carnitine, taurocholic acid และกระบวนการเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน (Guo *et al.*, 2017)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกุ้งขาวแวนนาไม

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวม (total antioxidant capacity; TAC) เป็น

ตัวชี้วัดที่สามารถบ่งบอกถึงสถานะการต้านอนุมูลอิสระในร่างกายของสัตว์น้ำได้ ถ้าค่านี้เพิ่มขึ้นแสดงว่ากลไกการต้านอนุมูลอิสระในร่างกายมีการทำงานเพิ่มขึ้น สำหรับการใส่ค่า TAC เพื่อตรวจวัดสถานะการต้านอนุมูลอิสระในสัตว์กลุ่ม crustaceans นั้น ยังมีการวิจัยค่อนข้างจำกัด แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีงานวิจัยต่างๆ ที่นำตัวชี้วัดนี้ไปใช้ในชื่อ total antioxidant status (TAS) สำหรับวัดระดับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในร่างกายของกุ้ง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสารเสริมในอาหารกุ้งที่เหนียวน้ำให้เกิดผลในด้านของการต้านอนุมูลอิสระ เช่น Niu *et al.* (2012) ได้ศึกษา TAS ในกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ที่กินอาหารผสม astaxanthin และ canthaxanthin ที่เสริม cholesterol โดยพบว่ากุ้งมีค่า TAS สูงขึ้น Zhang *et al.* (2013) ได้ศึกษาพบว่ากุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) ที่กินอาหารผสม astaxanthin ปริมาณ 125-150 mg ต่ออาหาร 1 kg เป็นเวลา 56 วัน มีค่า TAS สูงขึ้นมากกว่าชุดควบคุม และ Wang *et al.* (2017) ได้ทำการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมด้วยอาหารที่ผสมโรดิโอลา (*Rhodiola rosea*) ที่ความเข้มข้น 3,000 mg ต่ออาหาร 1 kg เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ากุ้งมีค่า TAS เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในส่วนของการศึกษาผลของสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกุ้งครั้งนี้ ได้พิจารณาจากการตรวจวัดค่า TAC ในน้ำเลือดกุ้ง พบว่าชุดการทดลองที่เลี้ยงกุ้งกินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 10,000 ppm ได้แสดงค่า TAC ที่มีแนวโน้มสูงสุดแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่นและชุดควบคุม (ตารางที่ 1) การที่หญ้าไต้ใบแสดงผลในการต้านอนุมูลอิสระนั้น อาจเนื่องมาจากพืชชนิดนี้มีสารพฤกษเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่สำคัญ ได้แก่ สารกลุ่ม flavonoids, tannins และ phenolic compounds (Santos *et al.* 1995)

การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของกุ้งขาวแวนนาไม

ในการทดสอบผลการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของกุ้งซึ่งเป็นแบบไม่จำเพาะเจาะจงนั้นได้พิจารณาจากค่า phenoloxidase activity ซึ่งแสดงถึงการทำงานของภูมิคุ้มกันที่เกี่ยวข้องกับสารน้ำ และค่า phagocytic activity ที่แสดงถึงการทำงานของภูมิคุ้มกันระดับเซลล์ ซึ่งที่ผ่านมา มีงานวิจัยต่างๆ นำปัจจัยชีวิตทางภูมิคุ้มกันทั้งสองชนิดนี้ไปใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสารเสริมในอาหารกุ้ง เช่น Lee *et al.* (2003) ได้ใช้ *Spirulina platensis* ผสมอาหารกุ้งเพื่อเพิ่ม phagocytic activity ของเซลล์เม็ดเลือดกุ้ง Vanichkul *et al.* (2010) ได้ให้กุ้งกินอาหารผสมสารสกัดจากขมิ้นชัน 25 และ 50 mg ต่ออาหาร 1 kg พบว่ากุ้งมีค่า phenoloxidase activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Chang *et al.* (2012) ได้เลี้ยงกุ้งด้วยอาหารผสมสาร zingerone ที่ 2.5 และ 5 mg ต่ออาหาร 1 kg เป็นเวลา 56 วัน พบว่ากุ้งมี phenoloxidase activity และ phagocytic activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Wu *et al.* (2015) ได้ให้กุ้งขาวแวนนาไมกินอาหารผสมสารสกัดจากว่านมหากาฬ (*Gynura bicolor*) ที่ 0.5, 1 และ 2 g ต่ออาหาร 1 kg เป็นเวลา 7 วัน พบว่ากุ้งมี phenoloxidase activity สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และได้มีการทดลองใช้สมุนไพรจีน minor bupleurum decoction 1% ผสมอาหารให้กุ้งขาวแวนนาไมกินเป็นเวลา 28 วัน พบว่ากุ้งมีค่า phenoloxidase activity และ phagocytic rate สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Wu *et al.*, 2017) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ พบว่าเมื่อกุ้งกินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 1,000 และ 10,000 ppm กุ้งมีค่า phagocytic activity เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุด

การทดลองอื่นและชุดควบคุม โดยกุ้งที่กินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ 2 ระดับความเข้มข้นดังกล่าว มีค่า %P มากกว่ากุ้งที่กินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ระดับความเข้มข้นน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับค่า PI พบว่ากุ้งที่กินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 10,000 ppm มีค่านี้นมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนค่า AYPC พบว่ากุ้งที่กินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 1,000 และ 10,000 ppm มีค่านี้นมากกว่ากุ้งในชุดควบคุมและกุ้งที่กินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 1 และ 10 ppm อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกุ้งที่กินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 100 ppm ส่วนค่า phenoloxidase activity นั้น พบว่ากุ้งที่กินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 10,000 ppm ให้ผลที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 2) การที่สารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบมีผลต่อการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันนั้น อาจเนื่องมาจากประกอบไปด้วยสาร phyllanthin, hypophyllanthin, geraniin และ corilagin ซึ่งมีฤทธิ์การเปลี่ยนภูมิคุ้มกันร่างกาย (immunomodulatory activity) (Jantan *et al.*, 2014) จึงอาจส่งผลให้ค่าของตัวชี้วัดการทำงานของภูมิคุ้มกันระดับเซลล์และสารน้ำดังกล่าวข้างต้นเพิ่มสูงขึ้น

ความต้านทานโรคตับและตับอ่อนวายฉับพลัน (AHPND) ของกุ้งขาวแวนนาไม

จากการศึกษาความต้านทานโรคที่เกิดจากเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* VPP ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคตับและตับอ่อนวายฉับพลัน (AHPND) ในกุ้งขาวแวนนาไมนั้น พบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารเสริมด้วยสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 10,000 ppm เป็นเวลา 28 วัน มีอัตราการรอดตาย (SR) และ

อัตราการรอดตายสัมพัทธ์ (RPS) ที่มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่กึ่งกินอาหารผสมสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบที่ความเข้มข้น 1,000 ppm (ตารางที่ 3) ซึ่งผลในด้านความต้านทานโรคจากเชื้อ *V. parahaemolyticus* VPP ที่ได้นี้ยังไม่มีประสิทธิภาพดีพอในการป้องกันโรค เพราะต้องใช้สารสกัดในความเข้มข้นสูงและไม่สามารถป้องกันโรคได้ 100% ถึงแม้จะมีการรายงานว่ามีสาร phyllanthin, phyltetralin, rutin, quercetin, trimethyl-3,4-dehydrochebulate และ methyl brevifolincarboxylate ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย โดยสารเหล่านี้ทำให้โปรตีนที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียเสียหาย มีผลให้แบคทีเรียตายในที่สุด (Geethangili and Ding, 2018) และมีรายงานว่าที่ความเข้มข้น 10 mg/ml ของสารสกัดจากพืชชนิดนี้ได้แสดงคุณสมบัติที่ดีในการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคกึ่งในการทดลอง *in vitro* test (Direkbusarakom

et al., 1998) ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดจากสมุนไพรชนิดนี้กับสมุนไพรชนิดอื่นในด้านของการเสริมความต้านทานการติดเชื้อ *V. parahaemolyticus* VPP ในกึ่ง พบสารสกัดจากสมุนไพรชนิดอื่นให้ผลที่ต่ำกว่า เช่น สารสกัดจากขมิ้นชัน ซึ่งพบว่ากึ่งขาวแวนนาไมที่กินอาหารผสมสารนี้ด้วยความเข้มข้น 30 ppm นาน 7-14 วัน สามารถทำให้อัตราการรอดตายหลังการติดเชื้อ *V. parahaemolyticus* VPP สูงกว่าชุดควบคุม (Thawonsuwan and Kongkumnerd, 2018) แต่อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากพืชชนิดนี้อาจมีประสิทธิภาพที่ดีในการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสในกึ่ง โดยพบว่าสารสกัดจากหญ้าไต้ใบปริมาณ 1 mg/ml มีคุณสมบัติในการต้านเชื้อไวรัส Yellow Head Virus (YHV) ที่ทำให้เกิดการตายของเนื้อเยื่อที่ lymphoid organ ซึ่งอยู่บริเวณตับและตับอ่อนของกึ่งได้ (Direkbusarakom *et al.*, 1995)

ตารางที่ 1 ผลของการเสริมอาหารกึ่งด้วยสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ (*P. urinaria*) ต่อค่า total antioxidant capacity (TAC) ค่า hepatosomatic index (HSI) และค่าระดับเอนไซม์ aspartate aminotransferase (AST) และ alanine aminotransferase (ALT) ในกึ่งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) หลังการทดลองเลี้ยง 56 วัน (Mean±SD; n=15)

Conc. of <i>P. urinaria</i> extract	TAC (μM)	HSI (%)	AST (U/L)	ALT (U/L)
0 ppm	370.48±57.98	4.27±0.34	17.30±3.93 ^c	16.35±4.08 ^c
1 ppm	376.55±45.64	4.30±0.59	15.31±5.03 ^{bc}	15.67±4.24 ^{bc}
10 ppm	377.42±46.44	4.38±0.64	14.02±5.33 ^b	14.99±3.39 ^{abc}
100 ppm	380.89±59.87	4.45±0.43	14.02±3.70 ^b	14.31±1.73 ^{abc}
1,000 ppm	380.74±44.59	4.48±0.47	10.11±1.84 ^a	13.20±2.92 ^{ab}
10,000 ppm	385.22±35.56	4.48±0.42	9.40±2.15 ^a	12.94±2.71 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลของการเสริมอาหารกุ้งด้วยสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ (*P. urinaria*) ต่อค่า phenoloxidase activity (PO) ค่า phagocytic activity (PA) ในกุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) หลังจากการทดลองเลี้ยง 56 วัน (Mean±SD; n=15)

Conc. of <i>P. urinaria</i> extract	PO (unit/min/mg protein)	PA		
		% P	PI	AYPC
0 ppm	360.75±107.37	25.29±1.09 ^b	8.42±1.32 ^d	1.24±0.11 ^d
1 ppm	396.75±117.87	26.10±0.53 ^b	8.59±0.45 ^d	1.26±0.06 ^{cd}
10 ppm	408.90±138.14	26.11±1.23 ^b	8.88±0.65 ^d	1.30±0.07 ^{bc}
100 ppm	409.05±103.66	26.51±0.27 ^b	9.77±0.32 ^c	1.35±0.05 ^{ab}
1,000 ppm	451.83±177.21	35.50±0.58 ^a	16.97±1.08 ^b	1.37±0.07 ^a
10,000 ppm	456.07±70.34	35.82±0.37 ^a	18.00±0.62 ^a	1.38±0.05 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 3 ผลของการเสริมอาหารกุ้งด้วยสารสกัดหยาบจากหญ้าไต้ใบ (*P. urinaria*) ต่อความต้านทานโรคตับและตับอ่อนวายจับปล้น (AHPND) ที่เกิดจากการติดเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* VPP ในลูกกุ้งขาวแวนนาไม (*L. vannamei*) หลังจากการทดลองเลี้ยง 28 วัน โดยพิจารณาจากอัตราการรอดตาย (SR) และอัตราการรอดตายสัมพัทธ์ (RPS) (Mean±SD)

Conc. of <i>P. urinaria</i> extract	SR (%)	RPS (%)
0 ppm	52.00±8.37 ^c	0.00±17.43 ^c
1 ppm	52.00±8.37 ^c	0.00±17.43 ^c
10 ppm	62.00±8.37 ^c	20.83±17.43 ^c
100 ppm	76.00±5.48 ^b	50.00±11.41 ^b
1,000 ppm	82.00±8.37 ^{ab}	62.50±17.43 ^{ab}
10,000 ppm	88.00±8.37 ^a	75.00±17.43 ^a

หมายเหตุ: อักษรที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุป

ผลที่ได้จากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าหญ้าไต้ใบ (*P. urinaria*) อาจเป็นพืชสมุนไพรที่มีศักยภาพในการส่งเสริมสุขภาพให้กับกุ้งโดยเฉพาะการบำรุงตับและตับอ่อน และอาจมีส่วนช่วยในการเสริมภูมิคุ้มกันเสริมการต้านอนุมูลอิสระ และความต้านทานโรค AHPND ให้กับกุ้งได้ แต่ไม่มากนัก เนื่องจากการใช้สารชนิดนี้ในลักษณะของสารสกัดหยาบยังไม่

สามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพที่ดีเชิงประจักษ์ได้ เพราะต้องใช้สารที่ความเข้มข้นสูงจึงจะเห็นผลในด้านดังกล่าวที่ทำการศึกษา ทั้งนี้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแยกเฉพาะองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ที่มีผลต่อปัจจัยต่างๆ ข้างต้นออกมาจากสารสกัดหยาบ เพื่อให้สามารถนำสารที่ต้องการมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในปริมาณน้อย ซึ่งถือว่าเป็นความคุ้มค่ามากกว่าสำหรับการนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลในทางปฏิบัติจริง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้สนับสนุนงบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2560 และงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2562 เพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำสงขลา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างเชื้อ *V. parahaemolyticus* VPP เพื่อมาใช้ในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- APHA. 2012. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd ed. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), Washington, D.C., USA.
- Balcázar, L.J., Rojas-Luna, T. and Cunningham, D.P. 2007. Effect of the addition of four potential probiotic strains on the survival of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) following immersion challenge with *Vibrio parahaemolyticus*. **Journal of Invertebrate Pathology** 96(2): 147-150.
- Chang, Y.P., Liu, C.H., Wu, C.C., Chiang, C.M., Lian, J.L. and Hsieh, S.L. 2012. Dietary administration of zingerone to enhance growth, non-specific immune response, and resistance to *Vibrio alginolyticus* in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) juveniles. **Fish & Shellfish Immunology** 32(2): 284 -290.
- Dangtip, S., Sirikharin, R., Sanguanrut, P., Thitamadee, S., Sritunyalucksana, K., Taengchaiyaphum, S., Mavichake, R., Proespraiwong, P. and Flegel, T.W. 2015. AP4 method for two-tube nested PCR detection of AHPND isolates of *Vibrio parahaemolyticus*. **Aquaculture Reports** 2(1): 158-162.
- 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., Ezura, Y., Yoshimizu, M. and Herunsalee, A. 1998. Efficacy of Thai traditional herb extracts against fish and shrimp pathogenic bacteria. **Fish Pathology** 33(4): 437-441.
- FAO. 2013. Report of the FAO/MARD technical workshop on early mortality syndrome (EMS) or acute hepatopancreatic necrosis syndrome (AHPNS) of cultured shrimp (under TCP/VIE/3304), pp. 1-54. In **FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1053**. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Hanoi, Vietnam.
- Geethangili, M. and Ding, S.T. 2018. A review of the phytochemistry and pharmacology of *Phyllanthus urinaria* L. **Frontiers in Pharmacology** 9: 1109.
- Guo, Q., Zhang, Q.Q., Chen, J.Q., Zhang, W., Qiu, H.C., Zhang, Z.J., Liu, B.M. and Xu, F.G.

2017. Liver metabolomics study reveals protective function of *Phyllanthus urinaria* against CC₁₄-induced liver injury. **Chinese Journal of Natural Medicines** 15(7): 525-533.
- Jamshidizadeh, S., Biuki, N.A., Yousefzadi, M. and Aramideh, A. 2019. Response of Pacific white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) on exposure to aflatoxin in feed. **Aquaculture Research** 50(7): 1973-1984.
- Jantan, I., Ilankovan, M., Yuandani, and Mohamad, H.F. 2014. Correlation between the major components of *Phyllanthus amarus* and *Phyllanthus urinaria* and their inhibitory effects on phagocytic activity of human neutrophils. **BMC Complementary and Alternative Medicine** 14: 429.
- Khongsen, M., Niyomdech, A., Harnnarong, W. and Sukchan, P. 2013. A Review of a property and advantage: *Phyllanthus* spp. **Princess of Naradhiwas University Journal** 5(4): 153-163. (in Thai)
- Lee, Y.K., Chew, P.F., Soh, B.S. and Tham, L.Y. 2003. Enhancing phagocytic activity of hemocytes and disease resistance in the prawn *Penaeus merguensis* by feeding *Spirulina platensis*. **Journal of Applied Phycology** 15(4): 279-287.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randell, R.J. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. **The Journal of Biological Chemistry** 193(1): 265-275.
- Nemcsok, J. and Boross, L. 1982. Comparative study on the sensitivity of different fish species to metal pollution. **Acta biologica Academiae Scientiarum Hungaricae** 33(1): 23-27.
- Niu, J., Li, C.H., Liu, Y.J., Tian, L.X., Chen, X., Huang, Z. and Lin, H.Z. 2012. Dietary values of astaxanthin and canthaxanthin in *Penaeus monodon* in the presence and absence of cholesterol supplementation: effect on growth, nutrient digestibility and tissue carotenoid composition. **British Journal of Nutrition** 108(1): 80-89.
- Pacheco, M. and Santos, M.A. 2002. Biotransformation, ecotoxic and histopathological effects of environmental contaminants in European eel, *Anguilla anguilla* (L). **Ecotoxicology and Environmental Safety** 53(3): 331-347.
- Poompatchee, 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.
- Reed, L.J. and Muench, H. 1938. A simple method of estimating fifty percent endpoints. **American Journal of Hygiene** 27(3): 493-497.
- Rengpipat, S., Rukpratanporn, S., Piyatiratitivorakul, S. and Menasaveta, P. 2000. Immunity enhancement in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) by a probiont bacterium (*Bacillus* S11). **Aquaculture** 191(4): 271-288.
- Santos, A.R., Filho, V.C., Yunes, R.A. and Calixto, J.B. 1995. Analysis of the mechanisms underlying the antinociceptive effect of the extracts of plants from the genus *Phyllanthus*. **General Pharmacology** 26(7): 1499-1506.

- Shen, B., Yu, J., Wang, S., Chu, E.S.H., Wong, V.W.S., Zhou, X., Lin, G., Sung, J.J.Y. and Chan, H.L.Y. 2008. *Phyllanthus urinaria* ameliorates the severity of nutritional steatohepatitis both in vitro and in vivo. **Hepatology** 47(1): 473-483.
- Sritunyalucksana, K., Gangnonnigw, W., Archakunakorn, S., Fegan, D. and Flegel, T.W. 2005. Bacterial clearance rate and a new differential hemocyte staining method to assess immunostimulant activity in shrimp. **Diseases of Aquatic Organisms** 63(1): 89-94.
- Thawonsuwan, J. and Kongkumnerd, J. 2018. Efficiency of turmeric (*Curcuma longa* Linn.) extract on prevention of the EMS caused by *Vibrio parahaemolyticus* in white shrimp (*Penaeus vannamei* Boone, 1931), pp. 320-333. **In Proceeding of the Annual Conference on Fisheries 2018**. Department of Fisheries, Bangkok.
- Tran, L., Nunan, L., Redman, R.M., Mohney, L.L., Pantoja, C.R., Fitzsimmons, K. and Lightner, D.V. 2013. Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. **Diseases of Aquatic Organisms** 105(1): 45-55.
- Vanichkul, K., Areechon, N., Kongkathip, N., Srisapoome, P. and Chuchird, N. 2010. Immunological and bactericidal effects of turmeric (*Curcuma longa* Linn.) extract in Pacific white shrimps (*Litopenaeus vannamei* Boone). **Kasetsart Journal (Natural Science)** 44(5): 850-858.
- Vogt, G. and Quinitio, 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.
- 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. **Journal of Laboratory and Clinical Medicine** 126(4): 350-352.
- Wang, Y., Liang, J.P., Duan, Y.F., Niu, J., Wang, J. and Huang, Z. 2017. Effects of dietary *Rhodiola rosea* on growth, body composition and antioxidant capacity of white shrimp *Litopenaeus vannamei* under normal conditions and combined stress of low-salinity and nitrite. **Aquaculture Nutrition** 23(3): 548-559.
- Wu, C.C., Chang, Y.P., Wang, J.J., Liu, C.H., Wong, S.L., Jiang, C.M. and Hsieh, S.L. 2015. Dietary administration of *Gynura bicolor* (Roxb. Willd.) DC water extract enhances immune response and survival rate against *Vibrio alginolyticus* and white spot syndrome virus in white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Fish and Shellfish Immunology** 42(1): 25-33.
- Wu, Y.S., Lee, M.C., Huang, C.T., Kung, T.C., Huang, C.Y. and Nan, F.H. 2017. Effects of traditional medical herbs “minor bupleurum decoction” on the non-specific immune responses of white shrimp (*Litopenaeus*

- vannamei*). **Fish and Shellfish Immunology** 64(1): 218-225.
- Zhang, J., Liu, Y.J., Tian, L.X., Yang, H.J., Liang, G.Y., Yue, Y.R. and Xu, D.H. 2013. Effects of dietary astaxanthin on growth, antioxidant capacity and gene expression in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture Nutrition** 19(6): 917-927.
- Zhou, Q.C., Wang, Y.L., Wang, H.L. and Tan, B.P. 2013. Dietary threonine requirements of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture** 392-395: 142-147.

ผลการทดแทนบ๊วยสดด้วยบ๊วยดองเก็บต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อุเมะชู

Effect of Fresh Plum Substitution with Pickled Plum on the Properties of Umeshu Product

สกุลคุณ มากคุณ¹ ยูพรัตน์ โพธิเศษ² และ สุมนา เหลืองจิติกัญญา^{3*}

Sakunkhun Makkhun¹, Yuparat Potisate² and Sumana Leangthitikanjana^{3*}

Received: 23 July 2020, Revised: 24 September 2020, Accepted: 9 October 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้บ๊วยดองเก็บทดแทนบ๊วยสดในการทำผลิตภัณฑ์อุเมะชู โดยการนำบ๊วยดองเก็บแช่ในน้ำสะอาดก่อนนำไปใช้เป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปผลิตอุเมะชูโดยใช้อัตราส่วนบ๊วยสดต่อบ๊วยดองเก็บที่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 (w/w) ผสมบ๊วยกับแอลกอฮอล์ 40 เปอร์เซ็นต์ บ่มเป็นเวลา 180 วัน ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์อุเมะชูในระหว่างการบ่ม พบว่า เมื่อระยะเวลาการบ่มนานขึ้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง และค่าความสว่าง L^* ค่าสีแดง a^* และค่าสีเหลือง b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบ่มเป็นเวลา 0 วัน และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale พบว่าสูตรของอุเมะชูจากบ๊วยสดต่อบ๊วยดองเก็บ ที่อัตราส่วน 75:25 และ 50:50 มีคะแนนความชอบในด้านกลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวมสูงสุด ซึ่งมีค่าคะแนนไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ผลิตภัณฑ์อุเมะชูที่ผลิตจากบ๊วยดองเก็บที่ผ่านการแช่ในน้ำก่อนเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง มีค่าคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวม สูงกว่าการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

คำสำคัญ: อุเมะชู, บ๊วย, เหล้าบ๊วย, บ๊วยดอง

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

¹ Division of Food Science and Technology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand.

² สาขาวิชาความปลอดภัยทางอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

² Division of Food Safety, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand.

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

³ Division of Biotechnology, School of Agriculture and Natural Resources, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sumana.le@up.ac.th

ABSTRACT

This study aimed to replace fresh plum with salted pickled plum in umeshu product. Pickled plum was desalted by soaking in water for 24 and 48 h. Desalted pickled and fresh plum were mixed with 40% alcohol to produce umeshu at a ratio of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 (w/w). The physicochemical properties of umeshu was determined during 180 days of the incubation time. The total soluble solid and total acid of umeshu of all treatments were increased, while the pH was decreased with increasing incubation time. L^* a^* b^* of all treatments were increased. The sensory evaluation was carried out by using 9-point hedonic scale with 30 panelists. The result showed that treatment with a ratio of 75:25 and 50:50 had the highest liking score for odor, flavor, transparency and overall liking. Moreover, umeshu from desalted pickled plum with 48 h soaking time had higher score in color, odor, flavor, transparency and overall liking than 24 h soaking time.

Key words: umeshu, plum, plum liqueur, pickled plum

บทนำ

บ๊วย (*Prunus mume*) เป็นไม้ผลเมืองหนาวมีถิ่นกำเนิดทางตอนใต้ของประเทศจีน และพบการปลูกแพร่กระจายในญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน และเวียดนาม (Fang *et al.*, 2006) สำหรับในประเทศไทยนั้นได้มีการนำต้นพันธุ์บ๊วยมาจากไต้หวัน และญี่ปุ่นเข้ามาปลูกในพื้นที่บริเวณภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย โดยทางโครงการหลวงได้ทำการคัดเลือกบ๊วยพันธุ์ดีและมีการส่งเสริมการปลูกในพื้นที่สูงเนื่องจากบ๊วยเป็นไม้ผลที่ปลูกง่ายและไม่ต้องดูแลรักษามากจึงเหมาะสำหรับชาวเขา บ๊วยเป็นผลไม้ที่มีสรรพคุณหลายอย่าง เช่น ช่วยส่งเสริมระบบการย่อยอาหาร ช่วยลดอาการกระหายน้ำ ลดการเสียเหงื่อในร่างกาย ช่วยให้การไหลเวียนของเลือดดีขึ้น ป้องกันโรคกระดูกพรุน มีสารต้านอนุมูลอิสระ ฯลฯ (Utsunomiya *et al.*, 2002; Kono *et al.*, 2011; Mitani *et al.*, 2013) โดยส่วนของผลบ๊วยนั้น นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อการบริโภค เช่น บ๊วยเค็ม บ๊วยแช่อิ่ม น้ำบ๊วย น้ำจิ้มบ๊วย ซอสบ๊วย เป็นต้น (Topp *et al.*, 2007)

จากที่มีการปลูกบ๊วยในไทยมาเป็นเวลานาน และมีการปลูกเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีผลผลิตออกมาเพิ่มขึ้นในแต่ละปี เพื่อรองรับความต้องการของตลาดที่ยังมีอีกมาก ปัจจุบันนอกเหนือจากการส่งผลผลิตเข้าสู่โครงการหลวงเพื่อการแปรรูปแล้ว ยังมีภาคเอกชนที่มีโรงงานอยู่ใกล้กับแหล่งปลูกในจังหวัดเชียงราย รับซื้อผลผลิตบ๊วยสดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์บ๊วยดองเค็มและบ๊วยกึ่งแห้ง เพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศ แต่มักพบปัญหาผลิตภัณฑ์บ๊วยดองเค็มบางส่วนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการส่งออก หรือสินค้าตกเกรด เช่น ไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด หรือมีรูปร่างบิดงอไม่กลม เป็นต้น ทำให้ถูกคัดแยกออกมาเพื่อกำจัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับบ๊วยดองเค็มที่ตกเกณฑ์โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ได้แก่ อุเมะชู หรือเหล้าบ๊วยที่ผลิตจากบ๊วยดองเค็มที่ไม่ผ่านเกณฑ์การส่งออก

บ๊วยดองเค็มได้จากการนำบ๊วยแก่จัดมาล้างในน้ำสะอาดและแช่น้ำค้างคืนไว้เพื่อกำจัดรสขมจากผลบ๊วย จากนั้นนำบ๊วยมาเรียงใส่ในภาชนะ เดิมเกลือ

ปิดฝาภาชนะให้สนิท คองไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วเติมใบช็อคแดงซึ่งผ่านการคั่นน้ำออกและหมักเกลือไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ คองต่ออีกประมาณ 1 เดือน นำบ๊วยมาตากแดด 4-5 แดด จะได้บ๊วยคองมีลักษณะนิ่ม สีออกแดง และมีรสชาติเค็มเปรี้ยว (Topp *et al.*, 2007) ดังนั้นหากจะนำบ๊วยคองมาแปรรูปหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ จึงควรนำบ๊วยคองเค็มมาผ่านการแช่น้ำก่อน เพื่อให้เกิดกระบวนการแพร่ (diffusion) ของเกลือภายในผลบ๊วยคองที่มีความเข้มข้นสูงออกมายังน้ำ ซึ่งจะช่วยลดความเค็มเปรี้ยวของรสชาติบ๊วยคองได้

อุเมะชู หรือเหล้าบ๊วย เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ได้รับความนิยมในประเทศญี่ปุ่น และเกาหลี เพราะมีกลิ่นหอมรสหวานดื่มง่าย อุเมะชูเป็นการนำบ๊วยมาหมักในโซจูหรือเหล้าขาว โดยใช้ผลบ๊วยที่สุก ไม่ควรใช้ผลดิบเพราะมีความเป็นพิษเล็กน้อยและมีรสเปรี้ยวมาก นอกจากเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์แล้วเมื่อดื่มในปริมาณที่พอเหมาะอุเมะชูยังมีประโยชน์ดีๆ อีกหลายอย่าง เช่น ช่วยไม่ให้ร่างกายอ่อนเพลีย ช่วยลดอาการท้องเสีย และช่วยกระตุ้นความอยากอาหารได้ (Christensen, 2016) จากที่กล่าวมางานวิจัยนี้จึงสนใจจะศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุเมะชูที่ผลิตจากบ๊วยคองเค็ม เพื่อเปรียบเทียบกับอุเมะชูที่ผลิตจากผลบ๊วยสดที่ปลูกในประเทศไทย เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์บ๊วยคองที่ถูกคัดทิ้งเนื่องจากไม่ผ่านมาตรฐานการส่งออก และเป็นการลดสิ่งเหลือใช้จากการผลิตให้ได้มากที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนของบ๊วยคองเค็มที่เหมาะสมสำหรับการหมักอุเมะชู

นำผลบ๊วยสด จากดอยปางขอน จ.เชียงราย และบ๊วยคองเค็ม ที่ทำการคองเป็นเวลา 6 เดือน จาก

บริษัท ชวี เจริญ พุคส์ จำกัด ขนส่งโดยรถยนต์มายังห้องปฏิบัติการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา การวิจัยจะมีการเปรียบเทียบวิธีการลดปริมาณเกลือในบ๊วยคองเค็ม โดยการนำผลบ๊วยสดและบ๊วยคองเค็มมาแช่น้ำ โดยใช้อัตราส่วนบ๊วยค่อน้ำ เท่ากับ 1:2 (w/v) แช่ในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง จากนั้นนำผลบ๊วยมาซับให้แห้ง ตัดแต่งเอาหัวของผลบ๊วยออก และจิ้มบ๊วยด้วยไม้ปลายแหลมประมาณ 2-3 รูต่อผล เพื่อให้ส่วนผสมซึมเข้าสู่ผลบ๊วยได้ดีขึ้น จากนั้นนำผลบ๊วยสดหรือบ๊วยคองเค็มใส่ลงในขวดโหลแก้วขนาด 5 ลิตร ที่ล้างจนสะอาดและฆ่าเชื้อแล้ว โดยศึกษาสัดส่วนผลบ๊วยสดต่อบ๊วยคองเค็ม ในอัตราส่วน ดังนี้ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 (w/w) การบรรจุผลบ๊วยในโหลแก้วจะวางบ๊วยเรียงในขวดโหลทีละชั้นโดยเรียงสลับกับน้ำตาลกรวดปริมาณ 800 กรัม (ตราวังขนาย, บริษัท วังขนาย จำกัด, กรุงเทพฯ, ไทย) เป็นชั้นๆ จากนั้นเติมแอลกอฮอล์ 40 เปอร์เซ็นต์ (เหยี่ยวเงิน, บริษัท ยูไนเต็ด ไทย ดิสทริบิวเตอร์ จำกัด, กรุงเทพฯ, ไทย) ปริมาตร 1800 มิลลิลิตร ลงในขวดโหลแก้วจนท่วมผลบ๊วย ปิดผนึกขวดโหลนำไปบ่มในที่มืด เป็นเวลา 180 วัน จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์อุเมะชูที่ทำจากบ๊วยคองเค็มเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากผลบ๊วยสด

2. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของอุเมะชูที่ผลิตจากบ๊วยคองเค็มในอัตราส่วนต่างๆ

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของอุเมะชูที่ผลิตจากบ๊วยคองเค็มและบ๊วยสดในอัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับอุเมะชูที่ผลิตจากผลบ๊วยสด ดังนี้ ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี วัดสีด้วยเครื่องวัดสี (Chroma meter CR-100, Konica Minolta, Inc., Tokyo, Japan) และรายงานผล

เป็นค่า Hunter scale ซึ่งประกอบด้วยค่า L^* (ค่าความสว่าง) a^* (สีเขียว-สีแดง) b^* (สีน้ำเงิน-สีเหลือง) และวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่า pH โดยนำอูเมชูในแต่ละสูตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ไปวัดค่า pH โดยใช้ pH meter (SevenGo, Mettler-Toledo, Greifensee, Switzerland) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ เทียบกับกรดซิตริก (ตามวิธีของ AOAC, 2000), ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง Hand refractometer (PAL-3, Atako, Tokyo, Japan) และปริมาณแอลกอฮอล์ ทำการตรวจวัด โดยใช้เครื่อง ebulliometer (Dujardin-Salleron, Paris, France) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยทำการทดลอง 2 ครั้ง (duplication) ครั้งละ 5 อัตราส่วนๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 1 ขวดโหล วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Version 22, IBM Corp., New York, USA)

3. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 9-point hedonic scale ในด้านสี ความใส กลิ่นรสชาติ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์อูเมชูที่ผลิตจากบ๊วยดองเค็มร่วมกับผลบ๊วยสด เปรียบเทียบกับอูเมชูที่ผลิตจากผลบ๊วยสด โดยให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน ใช้ผู้ทดสอบ 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (RCBD) โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง (duplication) ครั้งละ 5 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำๆ ละ 1 ขวดโหล วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Version 22, IBM Corp., New York, USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการผลิตอูเมชูจากบ๊วยสดและบ๊วยดองที่แช่น้ำก่อนเป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนบ๊วยสด:บ๊วยดองเค็มที่ระดับต่างๆ ได้แก่ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 บ่มเป็นระยะเวลา 180 วัน จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพพบว่า ค่าสีของผลิตภัณฑ์อูเมชูที่อัตราส่วน 100:0 (บ๊วยสด:บ๊วยดองเค็ม) ที่ใช้บ๊วยดองที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง มีค่าความสว่าง L^* มากที่สุด คือ 33.09 ± 0.22 และ 33.09 ± 0.27 ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกอัตราส่วน ($p > 0.05$) และเมื่อใช้ระยะเวลาในการบ่มอูเมชูนานขึ้นจะมีผลทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบ่มนาน 0 วัน สอดคล้องกับ Surayot (2010) ที่ได้เปรียบเทียบคุณภาพเครื่องดื่มน้ำหมักจากการหมักน้ำเชื่อมที่ได้จากการย่อยข้าวกล้องงอก พบว่า ค่าสี L^* ของน้ำหมักข้าวกล้องงอกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มนานขึ้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนของน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์จากกระบวนการหมัก (Ogunjobi and Oguwolu, 2010) สำหรับค่าความเป็นสีแดง a^* พบว่า การแช่บ๊วยดองในน้ำนาน 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้ในการผลิตอูเมชูในอัตราส่วน 0:100 ให้ค่าสี a^* สูงสุดเท่ากับ 0.97 ± 0.19 และค่าความเป็นสีเหลือง b^* พบว่าอยู่ในช่วง 1.61-3.32 และไม่พบความแตกต่างทางสถิติในทุกอัตราส่วน ($p > 0.05$) (Table 1) และจากการทดลองยังพบว่าในวันที่ 0, 30 และ 60 ในสูตรที่ 1 (100:0) ที่ใช้ระยะเวลาในการแช่บ๊วยดองในน้ำ 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง มีค่า a^* เข้าใกล้ค่าความเป็นสีเขียว และเมื่อใช้ระยะเวลาในการบ่มอูเมชูนานขึ้นจนถึงวันที่ 180 มีผลทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นเข้าใกล้ค่าความสีแดง ซึ่งไปตามทฤษฎีแกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) และการบ่มที่นานขึ้นมีผลทำให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นเข้าใกล้ค่าความ

เป็นสีเหลือง ซึ่งทฤษฎีแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ในส่วนของวันที่ 180 มีค่าสีเหลือง-น้ำเงินที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้แอลกอฮอล์ 40% จัดเป็นตัวทำละลายที่ชนิดหนึ่ง ดังนั้นเมื่อบ่มบ๊วยคองที่มีสี

ตามธรรมชาติซึ่งเป็นสีน้ำตาลแดงในแอลกอฮอล์เป็นเวลานานขึ้น และการใช้ปริมาณบ๊วยคองในสัดส่วนที่มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่า a^* และ b^* มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากสีของบ๊วยละลายออกมาในตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น

Table 1 Physical analysis results of umeshu produced from different ratio of fresh plum and pickled plum after 180 days of incubation

Soaking time (h)	Ratio of Fresh plum: pickled plum	Color		
		L^* ^{*NS}	a^*	b^* ^{*NS}
24	100:0	33.09±0.22	0.59±0.30 ^d	1.61±0.57
	75:25	32.83±0.27	0.66±0.06 ^d	2.23±0.51
	50:50	32.94±0.31	0.80±0.09 ^c	2.88±0.37
	25:75	33.07±0.32	0.83±0.09 ^{bc}	2.90±0.63
	0:100	32.82±0.36	0.97±0.19 ^a	2.33±0.56
48	100:0	33.09±0.27	0.69±0.08 ^d	1.65±0.74
	75:25	32.95±0.46	0.90±0.14 ^{abc}	2.85±0.46
	50:50	32.70±0.42	0.93±0.08 ^{ab}	3.13±0.30
	25:75	32.89±0.55	0.95±0.14 ^{ab}	3.32±0.22
	0:100	32.95±0.37	0.93±0.11 ^{ab}	3.23±0.58

Different letters in the same column showed significant differences ($p < 0.05$).

*NS = non-significant difference ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์อุเมซุ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์อุเมซุ จะลดลงเรื่อยๆ จากวันแรกที่เริ่มทำการบ่ม โดยวันที่ 0 ของการบ่มค่า pH อยู่ในช่วง 3.61-4.06 และเมื่อบ่มเป็นเวลานาน 180 วัน ค่า pH ลดลง อยู่ในช่วง 2.93-3.21 (Table 2) ส่วนค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ ในวันที่ 0 และ 180 วัน ของการบ่ม มีค่าอยู่ในช่วง 0.03-0.36% และ 0.50-1.95% ตามลำดับ (ตารางที่ 2) จะเห็นว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการบ่มอุเมซุนานขึ้นจนถึงวันที่ 180 ทำให้ค่า pH ลดลง และค่า

ความเป็นกรดสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าบ๊วยคองที่แช่น้ำนานขึ้น จะมีค่าความเป็นกรดลดลงและค่า pH สูงขึ้น เนื่องจากปริมาณเกลือที่มีอยู่ในบ๊วยคองถูกละลายออกมาในตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Srisukong *et al.* (2006) ที่ได้ศึกษาเรื่องการผลิตไวน์บ๊วยผสมน้ำสับปะรด น้ำองุ่น และน้ำสละในอัตราส่วนต่างๆ จำนวน 6 สูตร พบว่าภายหลังการบ่มไวน์ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 11 วัน ค่า pH เริ่มลดลงเรื่อยๆ จากวันแรก อยู่ในช่วง 3.75-4.17 ในขณะที่

ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บ
รักษานานขึ้น ทั้งนี้ค่าปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผล

ทำให้ค่า pH ลดลง เนื่องจากกรดมีคุณสมบัติในการ
รักษาสภาพความคงตัวของชีวภาพของไวน์

Table 2 Chemical analysis results of umeshu produced from different ratios of fresh plum and pickled plum after 180 days of incubation

Soaking time (h)	Ratio of Fresh plum: pickled plum	pH	Acidity (%)	°Brix	%Alcohol ^{*NS}
24	100:0	3.21±0.01 ^a	0.55±0.03 ^f	29.77±0.62 ^{cd}	28.67±1.15
	75:25	3.03±0.01 ^d	0.90±0.08 ^c	30.33±0.50 ^{ab}	29.33±1.15
	50:50	2.94±0.02 ^{fg}	1.09±0.04 ^d	30.72±0.61 ^a	28.00±0.00
	25:75	2.93±0.02 ^g	1.45±0.05 ^c	30.33±0.43 ^{ab}	28.00±0.00
	0:100	2.98±0.02 ^e	1.95±0.13 ^a	30.17±0.43 ^{bc}	30.00±2.00
48	100:0	3.17±0.03 ^b	0.50±0.00 ^f	30.17±0.43 ^{bc}	28.00±0.00
	75:25	3.08±0.03 ^c	0.80±0.02 ^e	29.89±0.22 ^{bcd}	26.67±1.15
	50:50	2.98±0.02 ^e	1.05±0.01 ^d	29.67±0.43 ^d	27.33±1.15
	25:75	2.96±0.00 ^{ef}	1.39±0.03 ^c	29.61±0.41 ^d	28.67±1.15
	0:100	3.05±0.02 ^d	1.76±0.05 ^b	29.11±0.22 ^e	28.00±0.00

Different letters in the same column showed significant differences ($p < 0.05$).

*NS = non-significant difference ($p > 0.05$)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของ
ผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 29.11-30.72 °Brix โดยการแช่
บ๊วยคองในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาผลิต
ร่วมกับการใช้บ๊วยสด:บ๊วยคอง ในอัตราส่วน 50:50
มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มากที่สุด
เท่ากับ 30.72±0.61 °Brix (Table 2) ในขณะที่การแช่
นานาน 48 ชั่วโมง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
ทั้งหมดน้อยกว่าการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง เนื่องจากการ
แช่น้ำจะทำให้ปริมาณเกลือในผลบ๊วยคองละลาย
ออกมาในน้ำผ่านกระบวนการ diffusion ซึ่งการแช่
เป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่
ละลายได้ทั้งหมดละลายออกมามากกว่าการแช่น้ำ
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อนำบ๊วยคองที่ผ่านการแช่น้ำ

มาบ่ม บ๊วยที่แช่น้ำ 48 ชั่วโมง จึงมีปริมาณของแข็งที่
ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ
การแช่น้ำ 24 ชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของ
Chaikulsaareewath and Singhapol (2016) ที่พบว่า
การผลิตไวน์สับประรดผสมเกรทที่มีปริมาณของแข็ง
ที่ละลายได้ทั้งหมดเมื่อใช้เวลาในการบ่มมากขึ้น
ปริมาณแอลกอฮอล์ค่อยๆ สูงขึ้น พร้อมๆ กับปริมาณ
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง เนื่องจากใน
สับประรดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีน้ำตาล มี
ปริมาณไนโตรเจนที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้ และ
สารอาหารที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและการบ่ม
ของยีสต์ ในขณะที่อุเมะชูจากบ๊วยคองเต็มใช้
แอลกอฮอล์ 40% ในการบ่ม ดังนั้นเชื้อไม่สามารถ

เจริญเติบโตได้ จึงไม่มีการใช้สารอาหารโดยเฉพาะน้ำตาล ทำให้ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และปริมาณแอลกอฮอล์จะลดลง

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์อุเมะซู ที่ทำการบ่มนาน 180 วัน พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ของแต่ละสูตร อยู่ในช่วง 26.67-30.00% ซึ่งมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ เนื่องจากการบ่มใช้เหล้าขาว ปริมาตร 1,800 มิลลิลิตร และอัตราส่วนของน้ำตาลกรวดที่ใช้ในการบ่ม ปริมาณ 800 กรัม เท่ากันทุกสูตร จึงมีผลทำให้ได้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันไปด้วย (Table 2) สอดคล้องกับการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไวน์มะม่วง (Chaikulsareewath and Wongprayoon, 2005)

โดยไวน์ที่บ่มได้จากกล่ำเชื้อทั้ง 3 อัตราส่วน มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดในวันที่ 22 ของการบ่มใกล้เคียงกัน เนื่องจากการบ่มไวน์เป็นกระบวนการหมักแอลกอฮอล์โดยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาของเอนไซม์ในการเปลี่ยนสารตั้งต้น เช่น น้ำตาลกลูโคส ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจนให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยผ่าน Embden-Meyerhor-Panas pathway แล้วได้แอลกอฮอล์เป็นผลิตภัณฑ์หลัก (Thadsranoi *et al.*, 1999) ดังนั้นการใช้น้ำตาลในการบ่มมีปริมาณเท่ากัน ในทั้ง 3 อัตราส่วน จึงมีผลให้บ่มแล้วได้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันไปด้วย



Figure 1 Umeshu produced from different ratio of fresh plum and pickled plum after storage at 0 day (A) and 180 days (B)

จากผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์อุเมะซูที่ผลิตจากบ๊วยสดและบ๊วยดองในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อบ่มเป็นเวลา 180 วัน (Figure 1) พบว่า ลักษณะที่ปรากฏของอุเมะซูทุกสูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าลักษณะที่ปรากฏอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.30-6.87) คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.23-6.67) คะแนนเฉลี่ยความชอบด้านกลิ่นอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5.53-

7.00) ในขณะที่คะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวม พบว่า อุเมะซูที่ผลิตจากบ๊วยสดที่แช่น้ำนาน 48 ชั่วโมง เพียงอย่างเดียว (อัตราส่วน 100:0) มีคะแนนความชอบสูงสุด เท่ากับ 7.00 ± 1.53 , 7.40 ± 1.47 , 7.50 ± 1.22 และ 7.00 ± 1.53 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้บ๊วยดองที่แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และใช้ในอัตราส่วน 50:50 (บ๊วยสด:บ๊วยดอง) ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.60 ± 1.19 , 6.03 ± 1.40 , 5.13 ± 1.83 , 6.47 ± 2.01 และ

5.40±1.71 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสูตรที่ได้คะแนนความชอบรวมจากผู้บริโภคมาก ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอุเมะชูที่ผลิตจากบ๊วยสด:บ๊วยดองที่

อัตราส่วน 75:25 และอุเมะชูที่ผลิตจากบ๊วยสดเพียงอย่างเดียว (Table 3)

Table 3 Summary table of sensory evaluation by 9-point hedonic scale

Soaking time (h)	Ratio of Fresh plum: pickled plum	Appearance ^{*NS}	Color	Odor	Taste	Clarity	Over all liking
24	100:0	6.73±1.31	6.37±1.50 ^{ab}	5.57±1.72 ^b	5.27±2.04 ^b	7.37±1.27 ^a	5.87±1.69 ^b
	75:25	6.83±1.08	6.77±0.94 ^a	5.87±1.55 ^b	5.13±2.09 ^b	6.87±1.63 ^b	5.73±1.38 ^b
	50:50	6.87±1.13	6.60±1.19 ^{ab}	6.03±1.40 ^b	5.13±1.83 ^b	6.47±2.01 ^b	5.40±1.71 ^b
	25:75	6.60±1.19	6.23±1.38 ^b	6.10±1.42 ^b	4.70±1.74 ^b	6.57±2.11 ^b	5.20±1.37 ^{bc}
	0:100	6.63±1.35	6.40±1.16 ^{ab}	5.90±1.47 ^b	4.13±2.02 ^c	6.40±2.18 ^b	4.70±1.66 ^c
48	100:0	6.67±1.64	6.47±1.63 ^{ab}	7.00±1.53 ^a	7.40±1.47 ^a	7.50±1.22 ^a	7.47±1.27 ^a
	75:25	6.83±1.23	6.73±1.34 ^{ab}	5.53±1.74 ^b	4.97±1.67 ^b	6.87±1.48 ^a	5.46±1.77 ^b
	50:50	6.60±1.30	6.63±1.16 ^a	5.93±1.53 ^b	4.80±2.02 ^b	6.50±1.59 ^b	5.33±1.56 ^b
	25:75	6.43±1.61	6.43±1.25 ^{ab}	5.67±1.30 ^b	5.00±1.78 ^b	6.40±1.77 ^b	5.43±1.71 ^b
	0:100	6.30±1.36	6.33±1.32 ^{ab}	5.90±1.30 ^b	4.87±1.90 ^{bc}	7.47±1.59 ^a	5.27±1.48 ^{bc}

Different letters in the same column showed significant differences ($p < 0.05$).

^{*NS} = non-significant difference ($p > 0.05$)

ส อ ค ล ี อ ง กั บ ก า ร ท ค ล อ ง ข อ ง Rerkattanawarapohn (1988) ที่ศึกษาการผลิตไวน์ส้ม โดยแปรอัตราส่วนของน้ำส้มต่อน้ำเป็น 100:0, 75:25, 50:50 และ 25:75 จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการบ่มไวน์ส้ม คือ 50:50 จะได้ไวน์ที่มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และการทดลองของ Hankitichai (1999) ศึกษาปริมาณแอลกอฮอล์ในไวน์ส้มแชก ซึ่งการทดลองนี้ได้ทำการแปรอัตราส่วนน้ำส้มแชกต่อน้ำที่เหมาะสมในการบ่มไวน์ส้มแชก 4

ระดับ คือ 100:0, 75:25, 50:50 และ 25:75 พบว่าอัตราส่วนน้ำส้มแชกต่อน้ำที่เหมาะสมสำหรับการบ่มไวน์ส้มแชกได้แก่ 50:50 ทำให้ได้ไวน์ส้มแชกที่มีกลิ่นรสดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสูงสุด ซึ่งมีกลิ่นรสและปริมาณแอลกอฮอล์ที่ผู้บริโภคมอบรับสูงสุด เท่ากับร้อยละ 3.45 โดยใช้เวลาในการหมัก 6 วัน

สรุป

การผลิตอุเมะชูจากบ๊วยดองเข้มข้น สามารถทำได้โดยการแช่บ๊วยดองในน้ำเป็นระยะเวลา 24

ข้าวโม่ ก่อนนำบ๊วยคองไปใช้ในการผลิตอุเมะชู และใช้อัตราส่วนบ๊วยสด:บ๊วยคอง เท่ากับ 75:25 หรือ 50:50 โดยผลิตภัณฑ์ได้คะแนนความชอบของผู้บริโภคทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งเป็นระดับความชอบที่ใกล้เคียงที่สุดกับชุดควบคุมที่ผลิตจากบ๊วยสดเพียงอย่างเดียว ที่มีคะแนนความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงมาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา ประจำปี 2561 รหัสโครงการ RD61007

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. 17th Ed. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Chaikulsareewath, A. and Singhapol, S. 2016. Wine production from pineapple mixed with carrot. **Agricultural Science Journal** 47(2)(Suppl.): 165-169. (in Thai)
- Chaikulsareewath, A. and Wongprayoon, P. 2005. Research and development of mango wine. **Journal of Food Technology, Siam University** 2(1): 28-35. (in Thai)
- Christensen, M. 2016. A Systematic Review of Ume Health Benefits. Master of Arts in Holistic Health Studies Research Papers, The St. Catherine University. Minnesota.
- Fang, J., Twito, T., Zhang, Z. and Chao, C.T. 2006. Genetic relationships among fruiting-mei (*Prunus mume* Sieb et Zucc.) cultivars evaluated with AFLP and SNP markers. **Genome** 49(10): 125-1264.
- Hankitichai, K. 1999. The study on alcohol content in *Garcinia atroviridis* wine. Bachelor of Science Special Problem, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Kono, R., Okuno, Y., Inada, K., Tokuda, A., Hashizume, H., Yoshida, M., Nakamura, M. and Utsunomuya, H. 2011. A *Prunus mume* extract stimulated the proliferation and differentiation of osteoblastic MC3T3-E1 cells. **Bioscience Biotechnology Biochemistry** 75: 1907-1911.
- Mitani, T., Horinishi, A., Kishida, K., Kawabata, T., Yano, F., Mimura, H., Inaba, N., Yamanishi, H., Oe, T., Negoro, K., Mori, H., Miyake, Y., Hosoda, A., Tanaka, Y., Mori, M. and Ozaki, Y. 2013. Phenolics profile of mume, Japanese apricot (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) fruit. **Bioscience Biotechnology Biochemistry** 77(8): 1623-1627.
- Ogunjobi, M.A.K. and Oguwolu, S.O. 2010. Development and physicochemical evaluation of wine produced from cashew apple powder. **Journal of Food Technology** 8(1): 18-23.
- Rerkrattanawarapohn, P. 1988. Wine from Orange. Bachelor of Science Special Problem, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)

- Srisukong, A., Onvimol, N. and Hanphakpoom, S. 2006. The producing of beet root wine. **SDU Research Journal Humanities and Social Science** 2(3): 23-33. (in Thai)
- Surayot, U. 2010. Processing of Fermented Germinated Purple Rice Wort. Master of Science Thesis, Chiang Mai University. (in Thai)
- Thadsrano, P., Thanomklang, P. and Pitak, U. 1999. Production of Passion Wine. Bachelor of Science Special Problem, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Topp, B.L., Noller, J. and Russell, D.M. 2007. **A Report for the Rural Industries Development of *Prunus mume*, a New Tree Crop for Australia.** Research and Development Corporation, Australia.
- Utsunomiya, H., Takekoshi, S., Gato, N., Utatsu, H., Motley, D.E., Eguchi, K., Fitzgerald, G.T., Mifune, M., Frank, D.G. and Eguchi, S. 2002. Fruit-juice concentrate of Asian plum inhibits growth signals of vascular smooth muscle cells induced by angiotensin II. **Life Sciences** 72(6): 659-667.

ประสิทธิภาพของวิธีการสกัดดีเอ็นเอในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก An Efficiency of DNA Extraction Methods for Green Microalgae

วัชร กัลยาลัง^{1,2} พิริยา ภูัญญาวิวัฒน์¹ ชัยวรกุล ไชยปัญญา¹ และ วิภา หงษ์ตระกูล^{1,3}
Watcharee Kunyalung^{1,2}, Piriya Putanyawiwat¹, Chaivarakun Chaipanya¹
and Vipa Hongtrakul^{1,3*}

Received: 10 June 2020, Revised: 21 July 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการศึกษาสาหร่ายในระดับชีวโมเลกุลได้รับความสนใจและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งงานวิจัยทางชีวโมเลกุลนี้ต้องการดีเอ็นเอทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ วิธีการสกัดดีเอ็นเอจากสาหร่ายที่ใช้ในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อจำกัดแตกต่างกันไป เช่น ใช้เวลานาน มีค่าใช้จ่ายสูง และไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับสาหร่ายทุกชนิด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการสกัดดีเอ็นเอต่างๆ เมื่อประยุกต์ใช้กับสาหร่ายขนาดเล็ก โดยทดลองสกัดดีเอ็นเอจากสาหร่ายสีเขียวทั้งสิ้น 5 สกุล รวม 30 ตัวอย่างด้วยวิธี SDS (Sodium dodecyl sulfate), CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide), DTAB (Dodecyltrimethylammonium bromide), Triton x-100 และ Chelex -100 ตรวจวัดปริมาณและความบริสุทธิ์ของดีเอ็นเอที่สกัดได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และใช้เป็นต้นดีเอ็นเอแม่แบบสำหรับเพิ่มจำนวนยีน 18s *rDNA* พบว่าการสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี SDS ให้ปริมาณดีเอ็นเอมากที่สุดและดีเอ็นเอที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์สูงสุด รองลงมาคือ การสกัดโดยวิธี CTAB การสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี SDS, CTAB และ DTAB ให้ปริมาณและคุณภาพของดีเอ็นเอเพียงพอในการนำไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยวิธีพีซีอาร์บริเวณยีน 18s *rDNA* ดีเอ็นเอของสาหร่ายที่สกัดได้จากวิธี SDS, CTAB และ DTAB จำนวน 24, 16 และ 5 ตัวอย่างตามลำดับ ยังสามารถนำไปตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ *MseI* ต่อไปได้ ส่วนการสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี Triton x-100 และวิธี Chelex -100 ไม่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้สกัดดีเอ็นเอจากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก ฉะนั้นวิธี SDS เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในวิธีทั้งหมดที่นำมาใช้สกัดดีเอ็นเอจากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กในการศึกษาครั้งนี้

คำสำคัญ: การสกัดดีเอ็นเอ, สาหร่ายขนาดเล็ก, ประสิทธิภาพ, ดีเอ็นเอ

¹ ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Genetics, Faculty of Science, Kasetsart University, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand.

² ศูนย์ความเป็นเลิศด้านสาหร่าย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

² TISTR Algal Excellent Center, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Khlong Ha, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand.

³ ศูนย์วิทยาการขั้นสูงด้านทรัพยากรธรรมชาติเขตร้อน, NRU-KU, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

³ Center for Advanced Studies in Tropical Natural Resources, NRU-KU, Kasetsart University, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand.

* Corresponding author, e-mail: fscivph@ku.ac.th

ABSTRACT

Nowadays, the molecular study in microalgae is getting more attention and has been continuously reported. Further study in the molecular research work requires both quantitative and qualitative of extracted DNA. There are several methods for DNA extraction applied for microalgae. Each method has different limitations, such as time consuming and high cost. Additionally, some cannot be well applied for all microalgal species. Therefore, this research aimed to study an efficiency of various DNA extraction methods applied to microalgae. DNA samples were extracted from 5 genera of class Chlorophyceae with a total of 30 samples of microalgae using SDS (Sodium dodecyl sulfate), CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide), DTAB (Dodecyltrimethylammonium bromide), Triton x-100 and Chelex-100 methods. The quality and quantity of DNA was determined by absorbance measurement using spectrophotometer and used as DNA template for DNA quality evaluation using 18s-*rDNA* gene amplification. The results showed that DNA extraction by SDS method gave the highest amount and the highest purity of extracted DNA, followed by CTAB extraction method. The SDS, CTAB and DTAB method provided a sufficient quantity and quality of extracted DNA, which can be further used as sample for 18s *rDNA* gene production via PCR (polymerase chain reaction) technique. Extracted DNA of microalgae by SDS, CTAB and DTAB method from 24, 16 and 5 samples respectively can be further cut by restriction enzyme *MseI*. As the DNA extraction using the Triton x-100 and Chelex-100 methods is not appropriate to apply for DNA extraction from green microalgae, the SDS method is the most efficient method for green microalgal DNA extraction used in this study.

Key words: DNA extraction, microalgae, efficiency, DNA

INTRODUCTION

Microalgae are important photosynthesizing organisms on Earth. They are a primary producer in food chain and have been utilized as source of food for human and animal (Martin and Alexander, 2018). They are considered as an important biomass for industrial and medical perspectives (Michael, 2018). Microalgae have also been used for biorefinery and feedstock for biofuel production (Philip *et al.*, 2011). Currently, various molecular studies have been reported for microalgae including DNA barcoding (Beom-Ho *et al.*, 2014), microsatellite library construction (John *et al.*, 2010) and whole genome sequencing (Crysten and Sabeeha, 2019). In molecular research work, a good quality and quantity of DNA are a prerequisite for further process in the study. There are several standard methods for DNA extraction such as SDS (Sodium dodecyl sulfate) method (Marmur, 1961; Takashi *et al.*, 2012), CTAB (cetyltrimethylammonium bromide) method (Doyle and Doyle, 1990),

high salt low pH method (Guillemaut and Drouard, 1992), Triton x-100 method (Tomasz *et al.*, 2017), Chelex -100 method (Utkarsha *et al.*, 2018), salt method (Aljanabi and Martinez, 1997) and NaOH method (Hill-Ambroz *et al.*, 2002). These protocols provide different quality and quantity of extracted DNA. In addition, all those protocols show different result of DNA extraction, which were vary according to microalgal species. Variety of DNA extraction methods have been used in various of algae, for example, using CTAB method for brown algae (Phillips *et al.*, 2001) and using SDS method for seaweed and green algae such as *Chlamydomonas reinhardtii* (Su and Gibor, 1988; Newman *et al.*, 1990). Previously researches of algal DNA extraction reported that lysis buffer in different DNA extraction method should be taken into account and concerned due to the variation of intracellular and secondary compounds on algal cell wall (Doyle and Doyle, 1990). Cell wall of some algae comprises of algaenans, while other contains

dinospirins and glycoprotein (Doyle and Doyle, 1990; Lodhi *et al.*, 1994), which are difficult to lyse. This difficulty of algal DNA extraction is well-known and continually reported. (Lucy *et al.*, 2012; Tear *et al.*, 2013; Maneeruttanarungroj and Incharoensakdi, 2016) Furthermore, algae always develop unique cell wall composition adapted to their inhabiting area, such as mucilage sheaths containing a compounds that tolerant to cell lysis (Barsanti *et al.*, 2001; Popper *et al.*, 2014). Due to those reasons, optimization of DNA extraction method for variety uses in algae are challenging.

One of the common uses for DNA extraction is Doyle and Doyle method (Doyle and Doyle, 1987), which comprises of CTAB, a cell lysis solution that will complex with protein and polysaccharide and result in elimination of those compounds on cell wall (Semagn *et al.*, 2006). In addition, chelating resin Chelex -100 method (Walsh *et al.*, 1991) is also widely used in extraction of *Chlamydomonas* because it is simple, rapid and low cost. Moreover, Chelex -100 has been proven that it is good extraction method for PCR (Polymerase Chain Reaction) amplification efficacy (Walsh *et al.*, 1991; Ward, 1992; Cao *et al.*, 2009). This method has been used to extract *E. coli* bacteria by boiling in just one step which is sufficient to obtain high quality DNA. However, this protocol is unable to use with all organisms (Kwon *et al.*, 2010) and still needs additional steps. To choose the right DNA extraction methods, species characteristics as component in cell wall and on cell surface must be well considered. The majority cell wall components in algae are lipid, pectin,

cellulose and secondary metabolites (Zoe *et al.*, 2014). The hardest of DNA extraction of *Chlorella vulgaris* was reported resulting from hardness of cell wall and small cell size (Friedl, 1995). Success in development the extraction method was also reported using DTAB (dodecyltrimethylammonium bromide) co-assisted with cell wall digestion method by MiniBeadBeater (Biospec Products, Bartlesville, OK, USA), followed by chloroform extraction and lastly ethanol precipitation (Marvin and Karen, 2004). In conclusion, there is the difficulty of DNA extraction in eukaryotic microalgae as a result from different cell wall structure. Moreover, the contaminants in the extracted DNA can inhibit the action of enzymes, rendering the DNA useless for downstream applications.

Therefore, the purpose of this study is to examine an efficiency of various DNA extraction methods including SDS (Sodium dodecyl sulfate), CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide), DTAB (Dodecyltrimethylammonium bromide), Triton x-100 and Chelex-100 methods for DNA extraction of 30 green microalgal samples.

MATERIALS AND METHODS

Microalgal samples used in this study

A total of 30 algal samples from 5 genera of class Chlorophyceae (Fig. 1) was used in this study. The samples composed of 6 isolates of genus *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Coelastrum*, *Haematococcus* and *Scenedesmus*. All algal samples are provided by Algae Excellent Center, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) (Table 1).

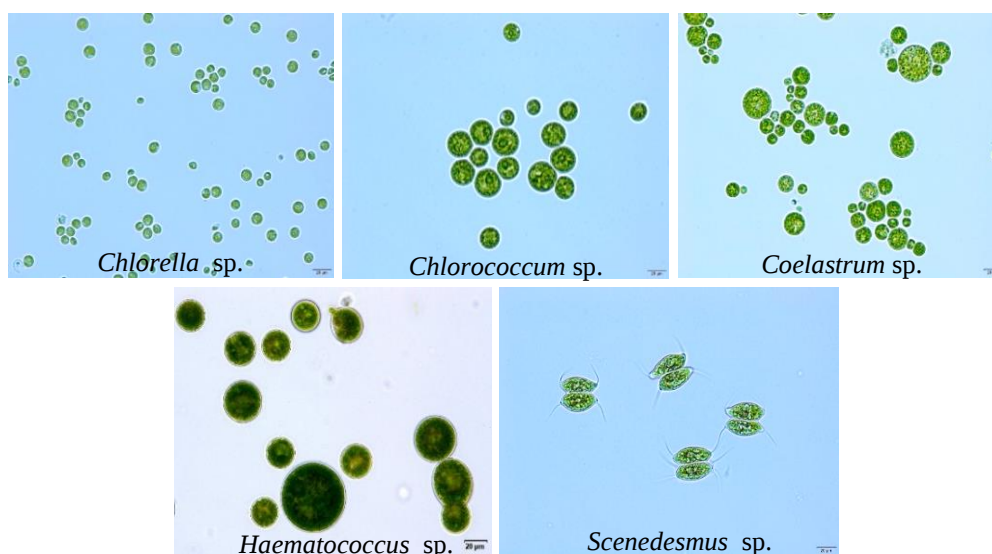


Figure 1 Five genera of microalgae used for DNA extraction

Microalgae culture

Microalgae were purified using streak plate method on BG-11 agar with 300 µg/ml Ampicillin (Mokhzanni *et al.*, 2016). The isolated algal colony was picked up and cultured in BG-11 medium (Stanier *et al.*, 1971). The cultures were incubated on rotary shaker at 120 rpm at 28°C with continuous 60 µE m⁻² s⁻¹ LED light for 21 days. The cultured algae were centrifuged at 12,000 rpm for 10 minutes in 2 ml microfuge tube. Microalgal cells were collected and washed twice using distilled water. Cells were stored at -40°C for 24 hours before DNA extraction in the next step.

Genomic DNA extraction

Microalgal cells (100 mg) were added into 2 ml microfuge tube. Extraction buffer (100 nM Tris-HCl pH 8.0, 100 nM EDTA pH 8.0, 1.5 M NaCl) amounting to 300 microliters (µl) was added for resuspension. Cell suspension was ground in cold mortar and pestle (-40°C) for 10 minutes, followed by addition of 300 µl extraction buffer and mixed well for 30 seconds. Five microfuge tubes, containing ground algal cells in extraction buffer, were prepared for comparison of 5 DNA extraction methods.

Table 1 Microalgal samples used in this study

Sample number	Isolate	Scientific name	Sample location
1	TISTR 8262	<i>Chlorella</i> sp.	Bangkok
2	TISTR 8263	<i>Chlorella</i> sp.	Bangkok
3	TISTR 8264	<i>Chlorella</i> sp.	Pathum Thani
4	TISTR 8411	<i>Chlorella</i> sp.	Nakhon Pathom
5	TISTR 8432	<i>Chlorella</i> sp.	Pathum Thani
6	TISTR 8580	<i>Chlorella vulgaris</i>	Nonthaburi
7	TISTR 8412	<i>Chlorococcum humicola</i>	Bangkok
8	TISTR 8461	<i>Chlorococcum humicola</i>	Nonthaburi
9	TISTR 8973	<i>Chlorococcum humicola</i>	Nakhon Pathom
10	TISTR 8481	<i>Chlorococcum infusionum</i>	Nonthaburi
11	TISTR 8268	<i>Chlorococcum</i> sp.	Nonthaburi
12	TISTR 8509	<i>Chlorococcum</i> sp.	Nakhon Pathom
13	TISTR 8604	<i>Coelastrum astroideum</i>	Bangkok
14	TISTR 8477	<i>Coelastrum microporum</i>	Nonthaburi
15	TISTR 8566	<i>Coelastrum morus</i>	Nakhon Ratchasima
16	TISTR 8501	<i>Coelastrum reticulatum</i>	Nakhon Pathom

Table 1 (Continued)

Sample number	Isolate	Scientific name	Sample location
17	TISTR 8452	<i>Coelastrum</i> sp.	Bangkok
18	TISTR 8725	<i>Coelastrum sphearicum</i>	Pathum Thani
19	TISTR 8647	<i>Haematococcus lacustris</i>	Japan
20	TISTR 8467	<i>Haematococcus</i> sp.	Nonthaburi
21	TISTR 8478	<i>Haematococcus</i> sp.	Nonthaburi
22	TISTR 8611	<i>Haematococcus</i> sp.	Nonthaburi
23	TISTR 8805	<i>Haematococcus</i> sp.	Nakhon Ratchasima
24	TISTR 8809	<i>Haematococcus</i> sp.	Nakhon Ratchasima
25	TISTR 8457	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Bangkok
26	TISTR 8433	<i>Scenedesmus acutiformis</i>	Pathum Thani
27	TISTR 8540	<i>Scenedesmus acutus</i>	Bangkok
28	TISTR 8444	<i>Scenedesmus armatus</i>	Bangkok
29	TISTR 8498	<i>Scenedesmus praetervisus</i>	Nakhon Pathom
30	TISTR 8440	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Bangkok

TISTR = Thailand Institute of Scientific and Technological Research

Three hundred µl solution of 20% SDS (Method 1) (Doyle and Doyle, 1987), 10% CTAB (Method 2) (Marvin and Karen, 2004), 10% DTAB (Method 3) (Marvin and Karen, 2004), 10 % Triton x-100 (Method 4) (Tomasz *et al.*, 2017) and 10% Chelex -100 (Chelating Ion Exchange Resin) (Method 5) (Walsh *et al.*, 1991) was added in each microfuge tube, containing ground algal cells in extraction buffer, then mixed well for 30 seconds and incubated at 65°C for 5 minutes. The mixture was centrifuged at 12,000 rpm for 10 minutes. Then, the supernatant was transferred to a new microfuge tube and 1 volume of phenol: chloroform: isoamyl alcohol (25:24:1) which equals the transferred supernatant was added. The mixture was mixed well and centrifuged at 12,000 rpm for 10 minutes. The supernatant was transferred to a new microfuge tube and 1 volume of cold 90% ethanol was added to precipitate DNA. The tube was centrifuged at 12,000 rpm for 10 minutes. The supernatant was then discarded. One ml of 70% ethanol was added to wash the DNA pellet and the tube was centrifuged for at 12,000 rpm 10 minutes. The ethanol was then discarded. The tube was dried for 10 min in the laminar flow and 30 µl of 1xTE (10 mM Tris-1 mM EDTA) buffer was added to dissolve DNA.

DNA quality evaluation using 18s *rDNA* gene amplification and digestion by *MseI* restriction enzyme

Genomic DNAs of 30 algal samples were used as DNA template for DNA quality evaluation using 18s *rDNA* gene amplification. The 18s *rDNA* gene region was amplified via PCR using 18s forward primer (5'-GTCAGAGGTGAAATTCTTGGATTTA-3') / reverse primer (5'-AGGGCAGGGACGTAATCAACG-3') and *Taq* DNA polymerase (Apsalagen, Bangkok, Thailand), following the reaction: (1) 94°C for 5 min, (2) 94 °C for 30 sec, (3) 53 °C for 45 sec, (4) 72 °C for 40 sec, 35 cycles of (2)-(4) and 72 °C for 2 min. For the isolated DNA quality evaluation, 1 µg of genomic DNA of all 30 algal samples were completely digested by *MseI* restriction enzyme at 37°C for 60 min. PCR and digestion products were electrophoresed in 1% (w/v) agarose gel.

RESULTS AND DISCUSSION

DNA quantity and quality evaluation by spectrophotometry and gel electrophoresis

Five DNA extraction methods including SDS (Sodium dodecyl sulfate), CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide), DTAB (Dodecyltrimethylammonium bromide), Triton x-100 and Chelex-100 methods were adapted to extract genomic DNA of 30 samples from five algal genera, including 6 isolates of genus *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Coelastrum*, *Haematococcus* and *Scenedesmus*. Genomic

DNA quality and quantity evaluation was performed using spectrophotometry at OD₂₆₀ and OD₂₈₀ nm and gel electrophoresis. The concentration of DNA and the ratio of absorbance, A, at 260 and 280 nm were calculated in all 30 samples (Table 2). The ratio of absorbance within 1.8-2.0 can be considered as a good quality DNA sample (Wang *et al.*, 2011).

Based on the ratio of A_{260/280} of the genomic DNA sample, method 1 (SDS) gave the highest DNA quality, followed by method 2 (CTAB). The ratio of A_{260/280} of 30 DNA samples obtained from SDS method varied from 1.78 to 2.05, with an average of 1.93 and only 6 out of 30 algal samples showed less value than 1.8-2.0. The ratio of A_{260/280} of 30 DNA samples obtained from CTAB method varied from 1.65 to 1.99, with an average of 1.83 and 12 out of 30 algal samples showed smaller

value than 1.8-2.0 (Table 2). The ratio of A_{260/280} of all 30 samples obtained from method 3 (DTAB), 4 (Triton x-100) 5 (Chelex -100) was smaller value than a range of 1.8-2.0, indicating poor quality DNA samples (Table 2). The result from the ratio of A_{260/280} was consistent with the result from gel electrophoresis. Figure 2 indicated examples of very poor quality degraded DNAs, shown as smear DNA bands (lane 4 and 5), of *Coelastrum reticulatum* (TISTR 8501) obtained from Triton x-100 and Chelex-100 methods. DNAs of these 2 methods cannot be further used in the next part of the experiment on PCR amplification of 18s *rDNA* region and *MseI* restriction enzyme digestion. That the SDS method gave the best result in DNA quality and quantity is due to a principal of this method that using a high concentration of SDS for cell lysis.

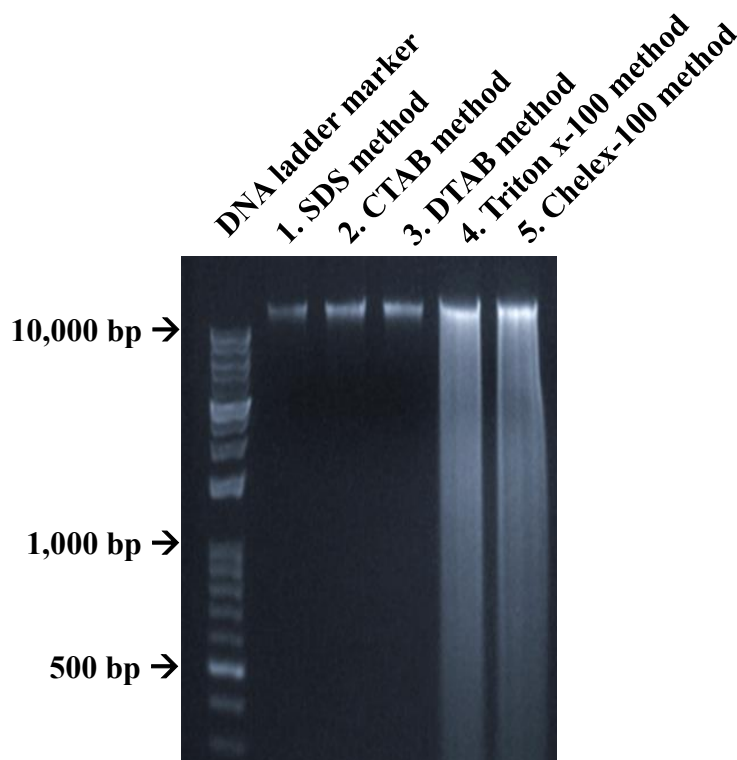


Figure 2 Agarose gel electrophoresis of *Coelastrum reticulatum* (TISTR 8501) genomic DNAs isolated using SDS, CTAB, DTAB, Triton x-100 and Chelex-100 methods.

The results from the ratio of A_{260/280} of all 30 algal DNAs, extracted using DTAB, Triton x-100 and Chelex-100 methods, were lower than 1.8 (Table 2),

indicating poor quality DNA samples. This result indicated that the contaminants in DNAs affected the calculation of DNA quantity in these samples. DNAs of 30

algal samples obtained from SDS and CTAB methods were in good quality based on the ratio of $A_{260/280}$ and gel electrophoresis. The concentration of DNA of 30 algal samples, obtained from SDS method varied from 250.0 to 1,059.0 ng/ μ l, with an average of 435.8 ng/ μ l, while the concentration of DNAs obtained from CTAB method varied from 190.0 to 740.0 ng/ μ l, with an average of 448.7 ng/ μ l (Table 2). The low quality of the extracted DNA can inhibit the action of enzymes and cause a series problem for downstream molecular applications, for example library construction and marker development (Sirakov, 2016).

The presence of contaminants in the DNA solution may result in degradation of DNA on long term storage and inhibition of the polymerase chain reaction. In order to remove impurities, additional steps should be employed. Improvement of DNA quality has been reported using ammonium acetate to

precipitate proteins and a sodium acetate-isopropanol mixture to pellet out DNA before being washed with ethanol (Utkarsha *et al.*, 2018). The degraded DNA obtained from Triton x-100 and Chelex-100 methods might be come from the cell wall breaking process is too harsh. The method should be improved by decreasing the grinding time and the concentration of Triton x-100 and Chelex-100 and adding EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) for preventing DNA degradation (Shivji *et al.*, 1992). A lysis buffer mixture, for example SDS together with Chelex-100, can also be added to increase the capacity to inhibit polyphenols and polysaccharide. These secondary metabolite compounds can interrupt not only polymerase activity, but also the reaction of DNA digestion (Doyle and Doyle, 1990.; Lodhi *et al.*, 1994). Normally, the genomic DNA, contaminated with polysaccharide, always causes a thickening pellet after precipitation with alcohol.

Table 2 Quantity and quality of genomic DNA extracted from five methods.

Sample	Method 1 (SDS)				Method 2 (CTAB)				Method 3 (DTAB)				Method 4 (Triton x-100)				Method 5 (Chelex - 100)	
	Quantity (ng/ μ l)	A _{260/280}	18s	MseI	Quantity (ng/ μ l)	A _{260/280}	18s	MseI	Quantity (ng/ μ l)	A _{260/280}	18s	MseI	Quantity (ng/ μ l)	A _{260/280}	18s	MseI	Quantity (ng/ μ l)	A _{260/280}
1	312	1.81	+	+	422	1.69	+	-	609	1.23	+	-	780	1.33	+	-	690	1.56
2	334	1.92	+	+	345	1.77	+	-	490	1.34	+	-	650	1.23	+	-	770	1.61
3	500	1.98	+	+	533	1.95	+	+	780	1.25	+	+	800	0.98	+	-	680	1.78
4	456	1.99	+	+	677	1.81	+	-	445	1.56	+	-	608	1.35	+	-	898	1.54
5	359	1.95	+	+	576	1.78	+	-	354	1.55	+	-	590	1.12	+	-	685	1.55
6	290	1.87	+	-	350	1.67	+	+	633	1.79	+	+	589	0.94	+	+	783	1.60
7	422	1.88	+	+	558	1.81	+	-	450	1.76	+	+	787	1.33	+	+	560	1.68
8	335	1.96	+	+	520	1.88	+	+	340	1.75	+	+	675	1.10	+	+	670	1.67
9	899	2.02	+	+	609	1.92	+	-	452	1.24	+	-	902	1.03	+	-	854	1.71
10	559	2.00	+	-	360	1.78	+	+	980	1.18	+	+	1,005	1.29	+	-	1,025	1.56
11	355	1.89	+	+	450	1.87	+	+	656	1.15	+	-	604	1.14	+	-	507	1.66
12	320	1.98	+	+	568	1.98	+	-	465	1.12	+	-	599	0.84	+	-	675	1.67
13	312	1.79	+	-	443	1.79	+	-	335	1.79	+	+	550	1.26	+	+	775	1.69
14	250	1.97	+	+	190	1.69	+	+	380	1.16	+	+	469	1.22	+	-	760	1.73
15	299	1.96	+	+	365	1.65	+	-	450	1.11	+	-	554	1.17	+	-	674	1.65
16	1,059	1.99	+	+	740	1.98	+	+	645	1.18	+	+	756	1.25	+	-	801	1.72
17	423	1.78	+	+	346	1.90	+	-	544	1.22	+	-	443	1.05	+	-	599	1.77
18	298	1.90	+	-	309	1.92	+	+	354	1.24	+	+	409	1.28	+	+	552	1.79
19	309	2.04	+	+	400	1.99	+	+	509	1.22	+	-	688	1.23	+	-	754	1.65
20	445	1.84	+	+	467	1.66	+	-	514	1.15	+	-	597	1.11	+	-	610	1.66
21	397	1.88	+	+	367	1.75	+	+	435	1.16	+	+	498	1.16	+	-	554	1.69
22	599	1.99	+	-	458	1.76	+	-	466	1.18	+	-	670	1.07	+	-	790	1.71
23	633	2.05	+	-	490	1.83	+	+	399	1.19	+	+	567	1.09	+	-	800	1.69
24	403	1.92	+	+	455	1.83	+	-	505	1.17	+	-	680	0.99	+	-	818	1.62
25	434	1.95	+	+	399	1.85	+	-	400	1.25	+	-	560	1.17	+	-	432	1.65
26	386	1.88	+	+	345	1.93	+	+	408	1.23	+	+	630	1.14	+	-	556	1.67
27	443	1.84	+	+	409	1.99	+	+	508	1.22	+	+	798	1.20	+	-	803	1.60
28	388	1.97	+	+	400	1.94	+	+	489	1.20	+	+	530	1.22	+	-	460	1.64
29	400	2.02	+	+	406	1.85	+	+	398	1.29	+	+	607	1.02	+	-	597	1.72
30	455	1.93	+	+	503	1.68	+	+	515	1.31	+	+	620	1.21	+	-	743	1.78
Average/R	435.80	1.93	+=30	+=24	448.67	1.83	+=30	+=16	496.93	1.31	+=30	+=5	640.5	1.15	+=30	+=5	695.83	1.67
ange	250-1,059	1.78-2.05	- = 0	- = 6	190-740	1.65-1.99	- = 0	- = 14	335-980	1.11-1.79	- = 0	- = 25	409-1,005	0.84-1.35	- = 0	- = 25	432-1,025	1.54-1.79

Sample 1-6 = *Chlorella* sp. Sample 7-12 = *Chlorococcum* sp. Sample 13-18 = *Coelastrum* sp. Sample 19-24 = *Haematococcus* sp.Sample 25-30 = *Scenedesmus* sp.A_{260/280} = Absorbance ratio at 260 and 280 nm

+ = DNA can be used in PCR to amplify 18s rDNA gene region/ can be digested with MseI restriction enzyme

- = DNA can not be digested with MseI restriction enzyme

DNA quality evaluation by 18s *rDNA* gene amplification and digestion with *MseI* restriction enzyme

Genomic DNAs of 30 algal samples that were isolated using SDS, CTAB and DTAB methods were further used as DNA template in PCR for 18s *rDNA* gene amplification. The result showed that the 18s *rDNA* region can be amplified from all 30 algal DNAs, isolated using all 3 methods. Figure 3A was an example of gel electrophoresis of PCR products obtained from 18s *rDNA* gene amplification of *Chlorococcum infusionum* (TISTR 8481) DNAs, isolated using 3 methods. PCR is an efficient technique to amplify DNA from a small amount of DNA template and DNA with some degree of contaminants. This can be seen by the amplification of 30 samples of low-quality algal DNAs obtained from DTAB extraction method.

Genomic DNAs of 30 algal samples, extracted using SDS, CTAB and DTAB methods were digested by *MseI* restriction enzyme. The result indicates that 24 of 30, 16 of 30 and 5 of 30 DNA

samples, isolated using SDS, CTAB and DTAB methods, respectively can be digested by *MseI* restriction enzyme (Table 2). The result confirmed that SDS method is the best DNA extraction method for microalgae. However, this method cannot apply to all algae species. Different cell wall structures and components among algal species result in contaminants after the extraction process and may interrupt *MseI* activity (Lodhi *et al.*, 1994; Sangwan *et al.*, 2000; Pirttila *et al.*, 2001; Muhammad *et al.*, 2012; Sevindik *et al.*, 2016). DNAs obtained from SDS method of *Chlorella vulgaris* and *Coelastrum sphearicum* cannot be digested by *MseI*, while DNAs obtained from CTAB and DTAB methods can be cut into small fragments. DNAs obtained from only CTAB method of *Chlorococcus infusionum* and *Haematococcus* sp., sample number 23 (Table 1), can be cut by *MseI*, as well as DNAs obtained from only DTAB method of *Coelastrum astroideum*. Figure 3B showed an example of gel electrophoresis of *MseI* digestion products of *Chlorococcum infusionum* (TISTR 8481) DNAs, extracted using the 3 methods.

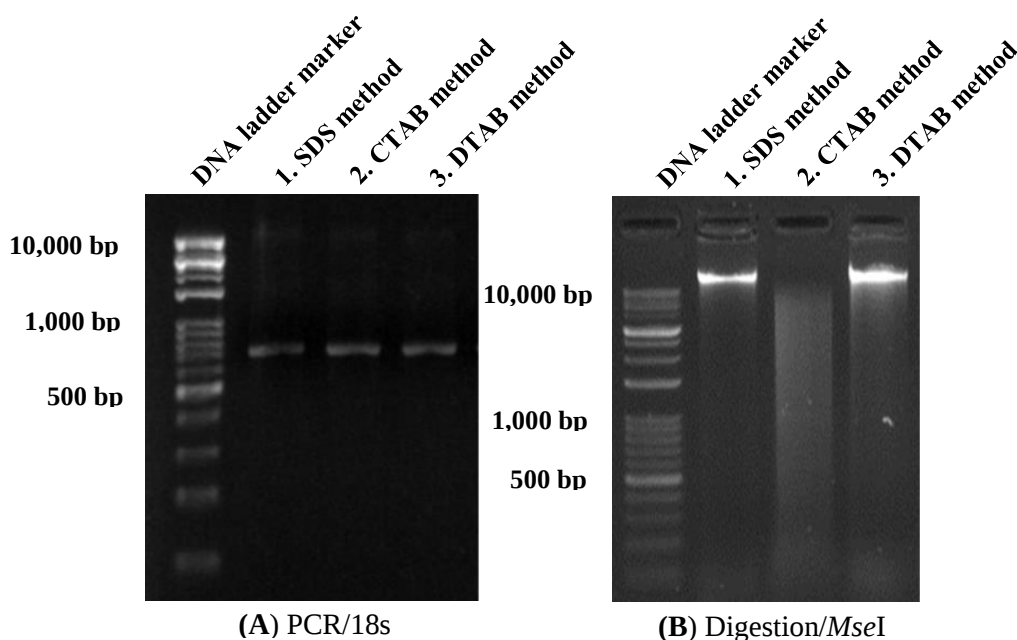


Figure 3 Agarose gel electrophoresis of (A) PCR products at 18s *rDNA* region and (B) digestion products by *MseI* restriction enzyme of *Chlorococcum infusionum* (TISTR 8481) genomic DNA, isolated using SDS, CTAB and DTAB methods.

CONCLUSION

Among 5 DNA isolation methods including SDS, CTAB, DTAB, Triton x-100 and Chelex-100 methods, the SDS method results to the highest quality and quantity of DNA, followed by the CTAB method. These two methods show the advantages of being simple, rapid, inexpensive and requiring a small amount of algal tissue. The isolated DNA appears sufficiently pure and enough quantity for further application in molecular such as restriction endonuclease digestion and amplification using the polymerase chain reaction. The SDS method shows the general applicability for isolation of DNA from diverse species of microalgae studied. Having considered the results mentioned above, the SDS method is recommended for green microalgal DNA extraction used in this study.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Kasetsart University Research and Development Institute (KURDI) and the Advanced Studies in Tropical Natural Resources, National Research University - Kasetsart University, Higher Education Research Promotion and National Research University Project of Thailand, Office of the Higher Education Commission.

REFERENCES

- Aljanabi, S.M. and Martinez, I. 1997. Universal and rapid salt-extraction of high-quality genomic DNA for PCR-based techniques. **Nucleic Acids Research** 25: 4692-4693.
- Barsanti, L., Vismara, R., Passarelli, V. and Gualtieri, P. 2001. Paramylon (β -1,3-glucan) content in wild type and WZSL mutant of *Euglena gracilis*. Effects of growth conditions. **Journal of Applied Phycology** 13: 59-65.
- Beom-Ho, J., Chang, S.L., Hae-Ryong, S., Hyung-Gwan, L. and Hee-Mock, O. 2014. Development of Novel Microsatellite Markers for Strain-Specific Identification of *Chlorella vulgaris*. **Journal of Microbiology and Biotechnology** 24(9): 1189-1195.
- Cao, M., Fu, Y., Guo, Y. and Pan, J. 2009. Chlamydomonas (*Chlorophyceae*) colony PCR. **Protoplasma** 235: 107-110.
- Crysten, E.B.H. and Sabeeha, S.M. 2019. Comparative and Functional Algal Genomics. **Annual Review of Plant Biology** 70: 605-638.
- Doyle, J.J. and Doyle, J.L. 1987. A Rapid DNA Isolation Procedure for Small Quantities of Fresh Leaf Tissue. **Phytochemical bulletin** 19: 11-15.
- Doyle, J.J. and Doyle, J.L. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. **Focus** 12: 13-5.
- Friedl, T. 1995. Inferring taxonomic positions and testing genus level assignments in coccoid green lichen algae: a phylogenetic analysis of 18S ribosomal RNA sequences from *Dictyochloropsis reticulata* and from members of the genus *Myrmecia* (Chlorophyta, Trebouxiophyceae cl. nov.). **Journal of Phycology** 31: 632-639.
- Guillemaut, P. and Drouard, L.M. 1992. Isolation of plant DNA: a fast, inexpensive and reliable method. **Plant Molecular Biology Reporter** 10: 60-65.
- Hill-Ambroz, K.L., Brown-Guedira, G.L. and Fellers, J.P. 2002. Modified rapid DNA extraction protocol for high throughput microsatellite analysis in wheat. **Crop Science** 42(6): 2088-2091.
- John, D.H., Karolina, F., Chien, L., Louise, A.L. and Kenneth, G.K. 2010. An assessment of proposed DNA barcodes in freshwater green algae. **Cryptogamie Algologie** 31(4): 529-555.
- Kwon, H., Su, H.S., Jong, S.L., Sung, R.M., Suk, M.K., Jang, R.L., Dongsu, C. and Won, J.J. 2010. Rapid and simple method for DNA extraction from

- plant and algal species suitable for PCR amplification using a chelating resin Chelex 100. **Plant Biotechnology Report** 4: 49-52.
- Lodhi, M.A., Ye, G.N., Weeden, N.F. and Reisch, B.I. 1994. A Simple and efficient method for DNA extractions from grapevine cultivars and vitis species. **Plant Molecular Biology Reporter** 12(1): 6-13.
- Lucy, E.E., Russell, D. and Cesar, R.M. 2012. Evaluation of DNA extraction methods for freshwater eukaryotic microalgae. **Water Research** 46(16): 5355-5364.
- Maneeruttanarungroj, C. and Incharoensakdi, A. 2016. Rapid method for DNA isolation from a tough cell wall green alga *Tetraspora* sp. CU2551. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 32: 99.
- Marmur, J. 1961. A procedure for the isolation of deoxyribonucleic acid from micro-organism. **Journal of Molecular Biology** 3: 208-218.
- Martin, P.C. and Alexander, M. 2018. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. **Frontiers in Nutrition** 5: 1-10.
- Marvin, W.F. and Karen, P.F. 2004. A simple and rapid technique for the isolation of DNA from microalgae. **Journal of Phycology** 40: 223-225.
- Michael, A.B. 2018. Chapter 9 - Microalgae in medicine and human health: A historical perspective, pp 195-210. **In Microalgae in Health and Disease Prevention**. Academic Press, Australia.
- Mokhzanni, M., Nor, J.S., Mohd, S.M., Normawaty, M.N. and Raha, A.R. 2016. Decontamination of *Chlorella* sp. culture using antibiotics and antifungal cocktail treatment. **ARP Journal of Engineering and Applied Sciences** 11(1): 104-109.
- Muhammad, A.A., Iqar, A.K., Hafiza, M.N.C., Ishtiaq, A.R., Ahmad, S.K. and Asif, A.K. 2012. Extraction of DNA suitable for PCR applications from mature leaves of *Mangifera indica* L. **Journal of Biomedicine and Biotechnology** 13(4): 239-243.
- Newman, S.M., Boynton, J.E., Gillham, N.W., Randolph-Anderson, B.L, Johnson, A.M. and Harris, E.H. 1990. Transformation of chloroplast ribosomal, RNA genes in *Chlamydomonas*: molecular and genetic characterization of integration events. **Genetics** 126: 875-888.
- Philip, T.P., Lieve, L. and Andy, A. 2011. Making Biofuel from Microalgae. **American Scientist** 93: 474.
- Phillips, N., Smith, C.M. and Morden, C.W. 2001. An effective DNA extraction protocol for brown algae. **Phycological Research** 49(2): 97-102.
- Pirttila, M.A., Hirsikorpi, M., Kamarainen, T., Jaakola, L. and Hohtola, A. 2001. DNA isolation methods for medicinal and aromatic plants. **Plant Molecular Biology Reporter** 19(3): 273.
- Popper, Z.A., Ralet, M.C. and Domozych, D.S. 2014. Plant and algal cell walls: diversity and diversity and functionality. **Annals of Botany** 114(6): 1043-1048.
- Sangwan, R.S., Yadav, U. and Sangwan, N. S. 2000. Isolation of genomic DNA from defatted oil seed residue of opium poppy (*Papaver somniferum*). **Plant Molecular Biology Reporter** 18: 265-270.
- Semagn, K., Bjornstad, A. and Ndjiondjop, M.N. 2006. An overview of molecular marker methods for plants. **African Journal of Biotechnology** 5(25): 2540-2568.
- Sevindik, E., Coskun, F., Murathan, Z.T., Paksoy, M. Y. and Uzun, V. 2016. Comparative analysis of the genomic DNA isolation methods on *Inula* sp., (Asteraceae). **Notulae Scientia Biologicae** 8(4): 444-450.
- Shivji, M.S., Rogers, S.O. and Stanhope, M.J. 1992. Rapid isolation of high molecular weight DNA from marine macroalgae.

- Marine Ecology Progress Series** 84: 197-203.
- Sirakov, I.N. 2016. Nucleic Acid Isolation and Downstream Applications, 1-26. In Larramendy, M.L. and Soloneski, S., eds. **Nucleic Acids - From Basic Aspects to Laboratory Tools**. InTech DTP, Croatia.
- Stanier, R.Y., Kunisawa, R., Mandel, M. and Cohen-Bazire, G. 1971. Purification and properties of unicellular blue-green algae (Order Chroococcales). **Bacteriological Reviews** 35: 171-205.
- Su, X. and Gibor, A. 1988. A method for RNA isolation from marine macroalgae. **Anal Biochem** 174:650-657.
- Takashi, M., Tadashi, K., Masahiro, N. and Norishige, Y. 2012. Effective DNA extraction method for fragment analysis using capillary sequencer of the kelp, *Saccharina* sp. **Journal of Applied Phycology** 25(1): 337-347.
- Tear, C.J.Y., Lim, C., Wu, J. and Zhao, H. 2013. Accumulated lipids rather than the rigid cell walls impede the extraction of genetic materials for effective colony PCRs in *Chlorella vulgaris*. **Microbial Cell Factories** 12(1): 106.
- Utkarsha, A., Singh, M.K. and Soumya, I. 2018. Method for improving the quality of genomic DNA obtained from minute quantities of tissue and blood samples using Chelex 100 resin. **Biological Procedures Online** 20: 12. <https://doi.org/10.1186/s12575-018-0077-6>. Jun.2018.
- Walsh, P.S., Metzger, D.A. and Higuchi, R. 1991. Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. **Biotechniques** 10: 506-513.
- Wang, T.Y., Wang, L., Zhang, J.H. and Dong, W.H. 2011. A simplified universal genomic DNA extraction protocol suitable for PCR. **Genetics and Molecular Research** 10(1): 519-525.
- Ward, A.C. 1992. Rapid analysis of yeast transformants using colony PCR. **Biotechniques** 13: 350.
- Zoe, A.P., Marie, C.R. and David, S.D. 2014. Plant and algal cell walls: diversity and functionality. **Annals of Botany** 114: 1043-1048.

ผลของอายุการเก็บเกี่ยว ต่อปริมาณสารโพแทสเซียม สารทุติยภูมิ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของหญ้าหนวดแมว

Effect of Harvest Maturity on Potassium Value Secondary Metabolites and Antioxidant Activity of *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq.

นรินทร์ ท้าวแก่นจันทร์^{1*} กอบลาภ อารีศรีสม¹ ภาวิณี อารีศรีสม¹ และ ศักดิ์ชัย เสถียรพิระกุล²

Narin Taokaenchan^{1*} Koblab Areesrisom¹ Pawinee Areesrisom¹ and Sakchai Sateinperakul²

Received: 24 April 2020, Revised: 11 June 2020, Accepted: 22 June 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอายุการเก็บเกี่ยว 4 ระยะ (30 60 90 และ 120 วันหลังการปลูก) ต่อปริมาณสารโพแทสเซียม ปริมาณสารทุติยภูมิ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของหญ้าหนวดแมว โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าระยะการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญต่อปัจจัยที่ทำการศึกษา โดยปริมาณสารโพแทสเซียมที่สูงที่สุด (5.02 กรัมต่อ 100 กรัมพืชแห้ง) เมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ 30 วัน ปริมาณของกรดแอสคอร์บิก และ กรดโรสมารินิก (1.47 และ 26.24 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมพืชแห้ง) มีค่าสูงที่สุด เมื่อเก็บเกี่ยวที่ 60 วัน ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยดีพีพีเอช (50.48 มิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมน้ำหนักสมุนไพรแห้ง และ IC_{50} เท่ากับ 0.68 มิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร) มีค่ามากที่สุดเมื่อเก็บเกี่ยวที่ 120 วันหลังการปลูก ดังนั้นจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เพื่อให้ต้นหญ้าหนวดแมวมีปริมาณสารสำคัญมากที่สุดควรทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะ 120 วันหลังการปลูก

คำสำคัญ: สารต้านอนุมูลอิสระ, หญ้าหนวดแมว, สารประกอบฟีนอลิกรวม, อายุการเก็บเกี่ยว

¹ สาขาวิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เลขที่ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Department of Medicinal Plant Science, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, 63 Moo 4, Nongharn, Sansai, Chiangmai 50290, Thailand.

² สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เลขที่ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² Department of Chemistry, Faculty of Science, Maejo University 63 Moo 4, Nongharn, Sansai, Chiangmai 50290, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): narin_t15@hotmail.com

ABSTRACT

This research investigated the effects of four stages of harvest maturity (30, 60, 90 and 120 days after planting) on potassium, secondary metabolites, and antioxidant activity of *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. The experiment was arranged in a complete randomized design (CRD). Results showed that there were significant different harvesting maturities. The highest potassium content (5.02 g/100 g DW) was harvesting time at 30 days. The caffeic acid and rosmarinic acid (1.47 and 26.24 mg/kg DW) were highest with harvesting time at 60 days. In addition, the phenolic content and DPPH radical scavenging capacity (50.48 mgGAE/100 g DW and IC₅₀ being equal to 0.68 mg/mL) were found highest at harvesting time in 120 days after planting. Therefore, based on the findings, harvesting time at 120 days is recommended to farmers for optimum constituents of *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. production.

Key words: antioxidant, *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq., total phenolic content, harvest maturity

บทนำ

สมุนไพรของไทยเป็นพืชท้องถิ่นที่อยู่กับคนไทยมาช้านาน และถูกนำมาใช้เป็นยารักษาผู้คนในท้องถิ่นของประเทศไทยจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถหาได้ง่าย และสามารถเจริญเติบโตได้ดีได้ในทุกที่ จึงนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในสมัยอดีต และกลับมาเป็นที่นิยมอีกครั้งปัจจุบันสมุนไพรสามารถนำมาแปรรูปเป็นยาได้หลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะแก่การนำไปใช้ ไม่ว่าจะเป็น ยา น้ำ ยาลูกกลอน ยาแคปซูล ยาหม่อง เป็นต้น

หญ้าหนวดแมว (*Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq.) เป็นพืชสมุนไพรอีกชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้เป็นยาสมุนไพร ถูกขึ้นในบัญชียาหลักแห่งชาติในปี พ.ศ. 2559 (National drug information, 2016) หญ้าหนวดแมวเป็นพืชล้มลุก สูง 30-60 เซนติเมตร ลำต้น และกิ่งก้านเป็นสี่เหลี่ยม ใบเดี่ยว แตกออกเรียงตรงข้ามกัน กลีบดอกมีสีขาวหรือม่วง (The Botanical Garden Organization Ministry of Natural Resource and Environment, 2013) มีสรรพคุณในการรักษาโรคนี้ ขั้วปัสสาวะ (Almatar

et al., 2014) และรักษาโรคเบาหวาน (Khatun *et al.*, 2011) ในหญ้าหนวดแมวมีสาร โพลีฟีนอล (European Medicines Agency, 2010) จึงทำให้สามารถช่วยขับปัสสาวะได้ นอกเหนือจากนี้ยังพบสารกลุ่มโพลีฟีนอล ได้แก่ กรดคาเฟอิก (Caffeic Acid) และกรดโรสมารินิก (Rosmarinic Acid) มีคุณสมบัติต้านไวรัส ต้านมะเร็ง ต้านการอักเสบ และยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Scheckel *et al.*, 2008; Hossan, *et al.*, 2014) เป็นต้น หญ้าหนวดแมวจึงเป็นวัตถุดิบสมุนไพรที่ผลิตสารที่มีคุณสมบัติในการกำจัดน้ำ ขับปัสสาวะ และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจัยที่ทำให้พืชมีการผลิตสารสำคัญต่างๆ และสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มทุติยภูมิ (Second Metabolites) มีหลายปัจจัย เช่น ธาตุอาหาร สภาพการเจริญเติบโต สายพันธุ์ หรือระยะเวลาการเก็บเกี่ยว ต่อปริมาณ โพลีฟีนอล กรดคาเฟอิก กรดโรสมารินิก และสารต้านอนุมูลอิสระ

ในหญ้าหนวดแมวมีน้อย ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อปริมาณโพแทสเซียม กรดแกลโฟฟอิก กรดโรสมารินิก และสารต้านอนุมูลอิสระ ในหญ้าหนวดแมว ซึ่งคาดว่าจะประโยชน์สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลต่อเกษตรกรผู้ปลูกหญ้าหนวดแมว และผู้ผลิตแปรรูปผลิตภัณฑ์จากหญ้าหนวดแมว รวมทั้งผู้บริโภคอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองที่สาขาวิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2561 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง ได้แก่ การเก็บเกี่ยวที่ 30 60 90 และ 120 วันหลังปลูก โดยนำกิ่งต้นหญ้าหนวดแมวที่ผ่านการปักชำอายุ 1 เดือน จากศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ปลูกลงในกระถางขนาด 15 นิ้ว ในวัสดุปลูก ดิน ต่อแกลบ อัตราส่วน 1:1 ในโรงเรือนที่คลุมด้วยตาข่ายพรางแสงสีดำ 50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นให้ปุ๋ยมูลไก่ (3.24 % N, 4.71 % P และ 3.12 % K) 125 กรัมต่อต้น ดูแลรักษาต้นหญ้าหนวดแมวโดยให้น้ำ และจัดการศัตรูพืชอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นทำการเก็บเกี่ยวต้นหญ้าหนวดแมว เมื่อต้นมีอายุ 30 60 90 และ 120 หลังปลูก โดยเก็บเกี่ยวเฉพาะส่วนใบ หลังจากนั้นล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2. การเตรียมสารสกัดหญ้าหนวดแมว

การเตรียมสารสกัดหญ้าหนวดแมว ได้ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Babbar *et al.* (2014) ซึ่งมี

ขั้นตอนดังต่อไปนี้ สุ่มตัวอย่างหญ้าหนวดแมวที่ผ่านการอบแห้ง ช้ำละ 50 กรัม บดเป็นผงละเอียด และชั่งตัวอย่างมา 3.0 กรัม เติมนีเมทานอล (AR Grade, Lab Scan) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แช่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำสารละลายที่สกัดได้มากรอง และนำไปประเหยจนแห้ง ละลายสารสกัดหยาดด้วยเมทานอลปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่สกัดได้ไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดิฟิฟิเอช ต่อไป

3. การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม

การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม ดัดแปลงมาจากวิธีการทดสอบ AOAC (2012) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ชั่งตัวอย่างหญ้าหนวดแมวแห้งที่บดเป็นผงละเอียด 0.25 กรัม เติมนีเมทานอลปริมาตร 30 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายตัวอย่างไปทำการย่อยบนเครื่องทำความร้อน (Hot Plate) ในตู้ดูดควัน จนสารละลายตัวอย่างมีสีใส หลังจากนั้นทำการปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ปราศจากไอออน นำสารละลายที่เตรียมได้กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่องอินดักทีฟ ดับเบิลพลาสมา - ออปติคอล อิมิสชัน สเปกโตรมิเตอร์ (ICP-OES, รุ่น 4300 DV, Perkin Elmer) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมเทียบกับสารมาตรฐานโพแทสเซียม (ICP standard, Sigma) ในช่วงความเข้มข้น 1 - 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในตัวอย่างหญ้าหนวดแมวแห้ง ในหน่วย กรัมต่อ 100 กรัม (g/100 g DW)

4. การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอล ใช้สารละลายโฟลีน (Folin-Ciocalteu's Reagent, AR grade, Merck) คัดแปลงจากงานวิจัยของ Namjooyan *et al.* (2010) ปิเปตต์สารละลายสารสกัดหญ้าหนวดแมวที่สกัดจากข้างต้นมา 0.1 มิลลิลิตร เติมลงในหลอดทดลองผสมกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นร้อยละ 2.0 ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร และสารละลายโฟลีน 0.1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายที่เตรียมได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น Genesys 10S, Thermo Scientific) คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Standard grade, Merck) รายงานผลปริมาณสารประกอบฟีนอลที่มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสมุนไพรแห้ง (mg GAE/g DW)

5. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดแคฟเฟอิก และ กรดโรสมารินิก

วิเคราะห์หาปริมาณกรดแคฟเฟอิก และกรดโรสมารินิก ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ซึ่งคัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Wang *et al.* (2004) โดยชั่งตัวอย่างหญ้าหนวดแมวแห้งที่บดเป็นผงละเอียด มา 0.1 กรัม และเติมสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 15 นาที กรองสารละลายตัวอย่างที่ได้ ทำการสกัดตัวอย่างซ้ำอีกสองครั้ง นำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้มาเจือจางให้ครบปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 30

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ไปฉีดวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (รุ่น LC1100, Agilent) ปริมาตร 10

ไมโครลิตร โดยใช้คอลัมน์ C-18 Hypersil-ODS (4.0 × 250 มิลลิเมตร, 5 ไมครอน) ในการแยกสาร ตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจวัดชนิดโฟโตไดโอดอาร์เรย์ (Photodiode Array) ที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร และระบบตัวพา (Mobile Phase) ในการชะคือสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ และสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในเมทานอล ในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 ด้วยอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตร ต่อนาที คำนวณหาปริมาณกรดแคฟเฟอิก และกรดโรสมารินิก เทียบกับสารละลายมาตรฐาน แคฟเฟอิก (Standard grade, sigma) และกรดโรสมารินิก (Standard grade, sigma) ในช่วงความเข้มข้น 1 - 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณแคฟเฟอิก และกรดโรสมารินิกในตัวอย่างหญ้าหนวดแมวแห้ง ในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg DW)

6. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช คัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al.* (2002) โดยปิเปตต์สารละลายดีพีพีเอช (AR grade, Sigma) เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายสารสกัดหญ้าหนวดแมวที่ความเข้มข้น 10 - 40 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น Genesys 10S, Thermo Scientific) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของสารตัวอย่างมาคำนวณค่าร้อยละการยับยั้ง (% Inhibition) เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงกับหลอดควบคุม ดังสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = \left(\frac{A_{\text{ctrl}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{ctrl}}} \right) 100$$

โดยที่

A_{ctrl} = ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

รายงานค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่สามารถยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระที่ร้อยละ 50 (IC_{50}) ซึ่งคำนวณได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยับยั้ง กับความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่าง

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์โดยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ปริมาณโพแทสเซียม

จากผลการทดสอบปริมาณของโพแทสเซียมในหญ้าหนวดแมว พบว่าโพแทสเซียมมีปริมาณอยู่ในช่วง 3 - 5 กรัมต่อ 100 กรัม พืชแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 1 ปริมาณของโพแทสเซียมต่อระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยหญ้าหนวดแมวที่ทำการเก็บเกี่ยวที่ 30 วัน มีปริมาณของโพแทสเซียมสูงที่สุดเท่ากับ 5.02 กรัมต่อ 100 กรัม พืชแห้ง เมื่อระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นปริมาณของโพแทสเซียม

ที่ตรวจพบในหญ้าหนวดแมวมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องจากโพแทสเซียมที่มีอยู่ในปุ๋ยมูลไก่จะถูกดูดซับผ่านรากและเคลื่อนย้ายมาอยู่ในส่วนของใบ จึงทำให้ระยะการเก็บเกี่ยวในช่วงแรก (30 วัน) มีปริมาณของโพแทสเซียมสูง เมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น (60 - 120 วัน) ปริมาณของโพแทสเซียมถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการเมแทบอลิซึม ต่างๆ จึงเป็นเหตุให้ปริมาณของโพแทสเซียมในใบมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น (Pettigrew, 2008; Zorb *et al.*, 2014) และปริมาณสารโพแทสเซียมที่ตรวจพบในทุกระยะเวลาการเก็บเกี่ยว มีปริมาณสูงกว่าในหญ้าหนวดแมวทั่วไปที่มีการรายงาน คือเท่ากับ 3 กรัมต่อ 100 กรัม พืชแห้ง (European Medicines Agency, 2010) อาจเนื่องจากต้นหญ้าหนวดแมวที่ปลูกในการวิจัยครั้งนี้ได้รับปุ๋ยมูลไก่ซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และมีปริมาณของธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าปุ๋ยคอกโดยทั่วไป (Phuranapong and Nilawong, 2014) จึงอาจมีส่วนช่วยทำให้ปริมาณของโพแทสเซียมในหญ้าหนวดแมวสูงเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในผลการทดลองที่ได้ เป็นต้น

ตารางที่ 1 ผลของระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันต่อปริมาณโพแทสเซียมในหญ้าหนวดแมว

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว(วัน)	โพแทสเซียม (g/100 g DW)
30	5.02 ± 0.03 ^a
60	3.41 ± 0.01 ^d
90	4.31 ± 0.01 ^b
120	4.20 ± 0.02 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในใบหญ้าหนวดแมวที่ผ่านการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีปริมาณอยู่ในช่วง 20 - 51 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสดสมุนไพรแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมต่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยว โดยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 120 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงที่สุด เท่ากับ 50.48 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักสดสมุนไพรแห้ง เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Logeshbabu *et al.* (2017) พบว่าหญ้าหนวดแมวที่ได้จากการปลูกในงานวิจัยนี้

มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากกว่าประมาณถึง สองเท่า ทั้งนี้ในการที่พืชสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารกลุ่มทุติยภูมิ มีหลากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นสายพันธุ์ สภาพสิ่งแวดล้อม รวมทั้งระยะเวลาการเก็บเกี่ยว (Ali, 2014) จากการวิจัยนี้พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นจะช่วยส่งเสริมให้ต้นหญ้าหนวดแมวสร้างสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oloyede *et al.* (2013) พบว่าปริมาณสารฟีนอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ใน *Amaranthus cruentus* มีค่าสูงที่สุดเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น หรืองานวิจัยของ Gai *et al.* (2017) พบว่าเมื่อระยะเวลาการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น ปริมาณสารฟีนอล และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ใน *Perilla frutescens* L. เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2 ปริมาณสารทุติยภูมิ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของหญ้าหนวดแมวที่ระยะการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

ระยะเวลาเก็บเกี่ยว (วัน)	สารประกอบฟีนอลิกรวม (mgGAE/100g DW)	ปริมาณ (mg/kg DW)		ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช IC ₅₀ (mg/mL)
		กรดแกลฟเฟอิก	กรดโรสมารินิก	
30	20.57 ± 0.40 ^d	1.24 ± 0.006 ^b	12.68 ± 0.02 ^c	0.84±0.02 ^b
60	38.03 ± 1.32 ^c	1.47 ± 0.004 ^a	26.24 ± 0.06 ^a	0.85±0.10 ^b
90	46.73 ± 1.62 ^b	1.14 ± 0.004 ^c	10.82 ± 0.06 ^d	0.69±0.06 ^a
120	50.48 ± 1.74 ^a	1.45 ± 0.016 ^a	23.93 ± 0.19 ^b	0.68±0.03 ^a

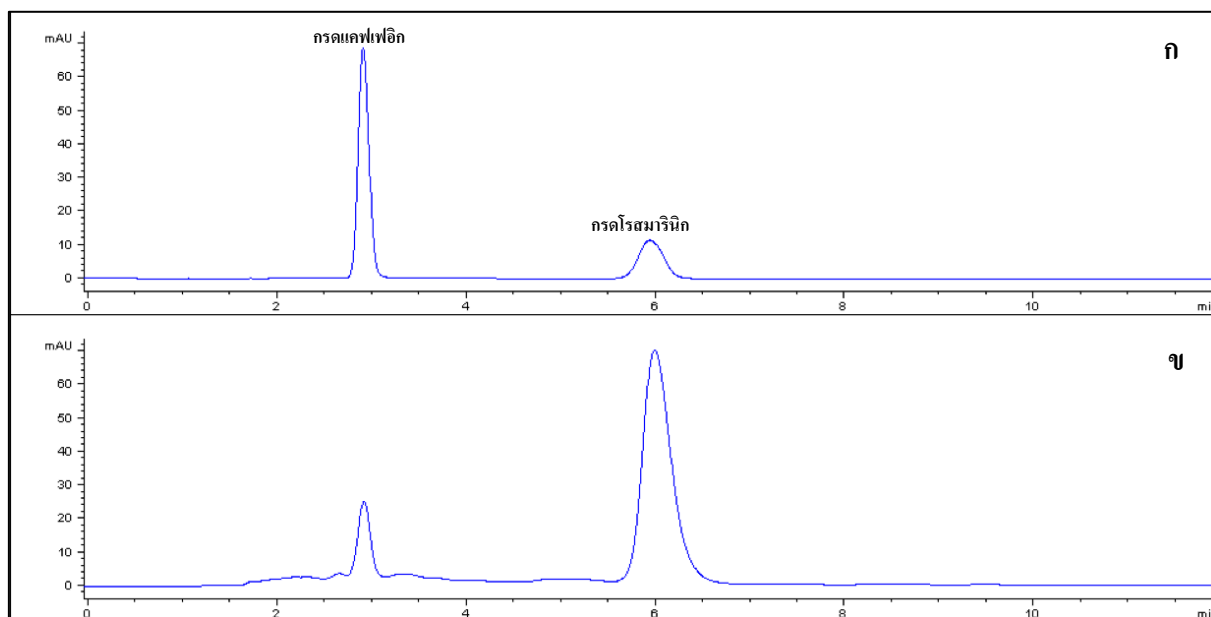
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3. ปริมาณกรดแกลูเฟอิก และกรดโรสมารินิก

ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดแกลูเฟอิก และกรดโรสมารินิกโดยใช้เทคนิคทางลิควิดโครมาโทกราฟี โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) จากผลการวิเคราะห์พบว่าสารมาตรฐานกรดแกลูเฟอิก และกรดโรสมารินิก มีค่าเวลาของการแยก (Retention Time) เท่ากับ 2.9 และ 5.8 นาที ดังแสดงในภาพที่ 1 และในสารสกัดตัวอย่างหญ้าหนวดแมวที่พบกรดแกลูเฟอิก และกรดโรสมารินิก ตรงกันกับสารมาตรฐานทั้งสอง

ปริมาณกรดแกลูเฟอิกในหญ้าหนวดแมว ที่ทำการเก็บเกี่ยว 30 - 120 วัน มีปริมาณอยู่ในช่วง 1.14 - 1.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมพืชแห้ง และในส่วนของกรดโรสมารินิกที่ตรวจพบในหญ้าหนวดแมว มีปริมาณอยู่ในช่วง 10.82 - 26.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

พืชแห้ง ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าต้นหญ้าหนวดแมวที่ทำการเก็บเกี่ยวที่ 60 และ 120 วัน มีปริมาณของกรดแกลูเฟอิกไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณมากที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวอื่นๆ โดยปริมาณกรดแกลูเฟอิกที่ตรวจพบมีปริมาณเท่ากับ 1.47 และ 1.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมพืชแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่กรดโรสมารินิกนั้น เมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 60 วัน มีปริมาณของกรดโรสมารินิกสูงที่สุด เท่ากับ 26.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมพืชแห้ง และรองลงมาเมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลา 120 วัน โดยมีปริมาณกรดโรสมารินิกเท่ากับ 23.93 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมพืชแห้ง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 1 โครมาโทแกรม (ก) สารมาตรฐานกรดแกลูเฟอิก และกรดโรสมารินิก ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และ (ข) สารสกัดตัวอย่างหญ้าหนวดแมว

4.ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

สำหรับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอชในหญ้าหนวดแมวที่วิเคราะห์ได้ พบว่าค่าความเข้มข้น

ของสารละลายตัวอย่างที่สามารถยับยั้งสารต้านอนุมูลอิสระที่ร้อยละ 50 (IC_{50}) อยู่ในช่วง 0.68 - 0.84 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยฤทธิ์

ด้านอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอชมีความสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม คือเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอชก็จะเพิ่มขึ้นตาม โดยที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 120 วันมีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอชสูงที่สุด เท่ากับ 0.68 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

สรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อปริมาณโพลีฟีนอล กรดแอสคอร์บิก กรดโรสมารินิก และฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระ ของหญ้าหนวดแมว จากผลการทดลองพบว่าต้นหญ้าหนวดแมวที่ทำการเก็บเกี่ยว 30 วัน มีปริมาณสารโพลีฟีนอลมากที่สุด ส่วนปริมาณกรดแอสคอร์บิก และกรดโรสมารินิก พบในปริมาณที่สูงเมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ 60 วัน ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีฟิฟิเอช จะพบในปริมาณสูงเมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่ 120 วัน

จากข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้พอสรุปได้เบื้องต้นว่า เพื่อให้การเก็บเกี่ยว มีความเหมาะสมในด้านปริมาณสารสำคัญ เกษตรกรควรทำการเก็บเกี่ยวที่ระยะ 120 วัน เพื่อที่สามารถผลิตวัตถุดิบหญ้าหนวดแมวที่มีคุณภาพมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนเงินทุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2561 (MJU.1-61-077) และสาขาวิทยาการสมุนไพร คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Ali, M.B. 2014. Secondary metabolites and environmental stress in plants: biosynthesis regulation and function, pp. 55-85. In Ahmad, P. and Wani, M.R., eds. **Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment**. Springer, Berlin.
- Almatar, M., Ekal, E. and Rahmat, Z. 2014. A glance on medical applications of *Orthosiphon stamineus* and Some of its oxidative compounds. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research** 24(2): 83-88.
- AOAC. 2012. **Official methods of the association of official analytical chemists**. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
- Babbar, N., Oberoi, H.S., Sandhu, S.K. and Bhargav, V.K. 2014. Influence of different solvents in extraction of phenolic compounds from vegetable residues and their evaluation as natural sources of antioxidants. **Journal of Food Science and Technology** 51(10): 2568-2575.
- European Medicines Agency. 2010. **Assessment report on *Orthosiphon stamineus* Benth., folium**. Available Source: https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final-assessment-report-orthosiphon-stamineus-benth-folium_en.pdf, April 23, 2020.
- Gai, F., Peiretti, P.G., Karamac, M. and Amarowicz, R. 2017. Changes in the total polyphenolic

- content and antioxidant capacities of perilla (*perilla frutescens* L.) plant extracts during the growth cycle. **Journal of Food Quality** 2017(2): 1-8. DOI:10.1155/2017/7214747.
- Hossan, M.S., Rahman, S., Bashar, A., Jahan, R., Al-Nahain, A. and Rahmatullah, M. 2014. Rosmarinic acid: A review of its anticancer action. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences** 3(9): 57-70.
- Khatun, A., Harun-Or-Rashid, M. and Rahmatullah, M. 2011. Scientific validation of eight medicinal plants used in traditional medicinal systems of Malaysia: A review. **American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture** 5(1): 67-75.
- Logeshbabu, M., Dhamotharan, R. and Janarthanam, B. 2017. In vitro antioxidant activity, total phenol and total flavonoid content of *Orthosiphon aristatus* (Blume). Miq. **International Journal of Current Research and Development** 5(1): 29-35.
- Namjooyan, F., Azemi, M.E. and Rahmanian, V.R. 2010. Investigation of antioxidant activity and total phenolic content of various fractions of aerial parts of *Pimpinella Barbata* (DC.) BOISS. **Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products** 5(1): 1-5.
- National drug information. 2016. **Herbal medicine list**. Available Source: http://ndi.fda.moph.go.th/drug_national, April 23, 2020.
- Oloyede, F.M., Oloyede, F.A. and Obuotor. E.M. 2013. Effect of plant maturity on the antioxidant profile of *Amaranthus cruentus* L. and *Celosia Argentea* L. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences** 2(2): 18-21.
- Pettigrew, W.T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. **Physiologia Plantarum** 133(4): 670-681.
- Phuranapong, N. and Nilawong, W. 2014. **Plant nutrition release in the soils using different organic fertilizers**. Available Source: http://webpac.library.mju.ac.th:8080/mm/fulltext/research/2558/Nongluk_Phuranapong_2557/fulltext.pdf, July 2, 2021. (in Thai)
- Scheckel, K.A., Degner, S.C. and Romagnolo, D.F. 2008. Rosmarinic acid antagonizes activator protein-1-dependent activation of cyclooxygenase-2 expression in human cancer and nonmalignant cell lines. **Journal of Nutrition** 138(1): 2098-2105.
- Singh, R.P., Murthy, K.N.C. and Jayaprakasha, G.K. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 50(1): 81-86.
- The Botanical Garden Organization Ministry of Natural Resource and Environment. 2013. **Orthosiphon aristatus (Blume) Miq.** Available Source: http://www.qsbg.org/database/botanic_book%20full%20option/search_detail.asp?botanic_id=2524, April 23, 2020.
- Wang, H., Provan, G.J. and Helliwell, K. 2004. Determination of rosmarinic acid and caffeic

acid in aromatic herbs by HPLC. **Food Chemistry** 87(2): 307-311.

perspectives. **Journal of Plant Physiology** 171(9): 656-669.

Zorb, C., Senbayram, M. and Peiter, E. 2014.

Potassium in agriculture - Status and

ผลของวัสดุปลูกและแสงที่มีต่อการเจริญของกระบองเพชร

Effect of Planting Materials and Light Exposure on the Growth of Cactus

ธิดาวดี ดิษฐพาน นูรฮิdayah บาร์ตาเย สุวรรณ ปาธารัตน์ และ วารangkha Riansut*

Tidawadee Ditthapan, Nurhidayah Barataya, Suwannee Patarat and Warangkha Riansut*

Received: 16 December 2019, Revised: 13 June 2020, Accepted: 29 June 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูกและแสงที่มีต่อการเจริญของกระบองเพชร วางแผนการทดลองแบบ 6×2 แฟกทอเรียลชนิดสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งมีปัจจัยในการปลูก คือ วัสดุปลูก 6 ประเภท คือ หินภูเขาไฟ ดินสำเร็จรูป หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว และดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ และแสง 2 รูปแบบ คือ แสงจากธรรมชาติ และแสงจากหลอดไฟ เก็บข้อมูลการเจริญของกระบองเพชร ได้แก่ ร้อยละการรอด ความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ผลการศึกษาพบว่า อิทธิพลของวัสดุปลูกต่อร้อยละการรอดของกระบองเพชรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แต่อิทธิพลของวัสดุปลูกต่อความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อิทธิพลของแสงต่อร้อยละการรอดและความยาวรากของกระบองเพชรมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แต่อิทธิพลของแสงต่อความสูงของลำต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อ ร้อยละการรอด ความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชร วัสดุปลูกที่เหมาะสมกับการปลูกกระบองเพชร คือ ดินสำเร็จรูป หรือดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว หรือดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ และแสงที่เหมาะสม คือ การได้รับจากธรรมชาติ

คำสำคัญ: กระบองเพชร, วัสดุปลูก, แสง, การเจริญ

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210
Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung Campus, Ban Prao, Papayom, Phattalung 93210, Thailand.

* ผู้ติดต่อประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): warang27@gmail.com Tel: 08 8790 8476

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effect of planting materials and light exposure on the growth of cactus. The experiments were conducted by 6×2 Factorial in Completely Randomized Design with three replications. Six types of planting materials were used in the study: volcanic rock, cactus soil, volcanic rock mixed with coconut husk, volcanic rock mixed with husk, cactus soil mixed with coconut husk, and cactus soil mixed with husk. Two types of light exposure were studied: natural light and light from a lamp. Growth data was collected, including the survival percentage, root length, stem height, and stem diameter. The results showed a statistically significant effect of planting materials on the percentage of cactus survival, but there was no statistically significant effect on the root length, stem height, and diameter of the cactus stem. There was a statistically significant effect of light exposure on the survival percentage and root length of cactus but there was no statistically significant effect on the stem height and diameter of the cactus stem. There was no interaction effect between planting materials and light exposure on survival percentage, root length, stem height, and diameter of the cactus stem. The types of planting materials suitable for cactus cultivation were cactus soil or cactus soil mixed with coconut husk or cactus soil mixed with husk, and the appropriate light exposure was natural light.

Key words: cactus, planting materials, light exposure, growth

บทนำ

แคคตัสหรือกระบองเพชรเป็นพืชในกลุ่มของไม้อวบน้ำ อยู่ในวงศ์ Cactaceae (Chobsa-ard *et al.*, 2018) สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นตั้งแต่ต้นยุคเทอร์เชียรี (Tertiary Period) ซึ่งเชื่อว่าในยุคนี้กระบองเพชรจะมีลำต้นแบบมีกิ่งและใบปกคลุมทั่วต้น ต่อมาสภาพอากาศของโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้พืชหลายชนิดล้มตาย แต่กระบองเพชรมีวิวัฒนาการของลำต้นจึงยังคงอยู่รอดได้ ส่วนรากมีการพัฒนาให้สามารถดูดเก็บน้ำจากอากาศได้ รวมถึงการลดรูปจากใบกลายเป็นหนามเพื่อลดการคายน้ำ และเก็บกักน้ำในลำต้นจึงทำให้ลำต้นมีลักษณะอวบน้ำ (Puechaset, 2016)

การขยายพันธุ์ของกระบองเพชรสามารถทำได้ 3 วิธี คือ การเพาะเมล็ด การตัดแยก และการต่อ

ยอด โดยวิธีการเพาะเมล็ดจะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และทำให้มีต้นใหม่ในปริมาณมาก แต่ปัจจุบันนิยมใช้วิธีการต่อยอด โดยเฉพาะการต่อยอดกระบองเพชรพันธุ์ที่มีสีต้นสวยงาม (Meechana, 1999) ประโยชน์ของกระบองเพชร คือ ใช้ปลูกเป็นไม้ดอกไม้ประดับ เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกและดูแลง่าย มักปลูกในกระถางขนาดเล็ก และนำไปประดับตามห้องทำงาน ห้องนอน ห้องรับแขก สามารถวางได้ทั้งบนโต๊ะทำงาน ขอบหน้าต่าง และบริเวณพื้นที่ขนาดเล็ก ดอกของกระบองเพชรบางชนิดใช้ประกอบอาหารได้ ส่วนผลของกระบองเพชรบางชนิดมีขนาดใหญ่ เนื้อผลมีรสหวาน นิยมรับประทาน เช่น แก้วมังกร (FondPlants, 2018)

กระบองเพชรสายพันธุ์ที่น่าสนใจครั้งนี้คือ สายพันธุ์แมมมิลลาเรีย นิโวซ่า (*Mammillaria*

nivosa Link ex Pfeiff.) หรือแมมเข็มทอง หรือแมมหนามทอง มีจุดเด่นอยู่ที่พืชนั้นมีสีเขียวเข้มจนเกือบดำ หรืออมม่วง ตัดกับหนามยาวสีเหลืองทองระหว่างเนินคุ่มหนามจะมีปูชนขาวๆ ขึ้นฟูกระจายเกือบทั้งต้น เป็นตำแหน่งที่จะเกิดดอกและติดผล (Sarapancactus, 2019a) จากรายงานของ Digital Agriculture Database System (2018) ได้เสนอวิธีการปลูกกระบองเพชรว่าควรปลูกในดินร่วนปนทราย ใช้น้ำค่อนข้างน้อย และควรได้รับแสงแดดจัด Meechana (1999) เสนอว่าการปลูกกระบองเพชรควรใช้วัสดุปลูกที่อุดมสมบูรณ์หรือเป็นดินผสมที่มีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ มีน้ำไหลผ่านสะดวก ไม่อุ้มน้ำ รักษาความชื้นได้ดี ถึงแม้ว่ากระบองเพชรจะเป็นพืชที่ทนต่อความแห้งแล้งและไม่ต้องการการดูแลรักษามากนัก แต่ถ้าขาดน้ำก็จะทำให้ไม่เจริญสำหรับช่วงเวลาที่เหมาะสมแก่การได้รับแสงควรเป็นช่วงเช้าหรือช่วงบ่ายที่แดดไม่ร้อนเกินไป ขณะที่ Sarapancactus (2019b) กล่าวว่าควรปลูกกระบองเพชรโดยให้ได้รับแสงแดดนานมากกว่า 6-8 ชั่วโมง เนื่องจากกระบองเพชรส่วนใหญ่ชอบแสงแดดนานๆ มากกว่าแสงแดดจัด แต่ระยะเวลาสั้นควรเน้นแสงแดดมากๆ ไว้ก่อน แล้วค่อยพร่างแสงลง เพราะการมาเพิ่มแสงทีหลังทำได้ยากกว่า กระบองเพชรชอบแสงแดดช่วงเช้ามากกว่าแสงแดดช่วงบ่าย การให้กระบองเพชรได้รับแสงทั้งวันมักจะดีกว่า แต่ถ้าเลือกได้เพียงครั้งเดียว ควรเลือกแสงแดดช่วงเช้า โรงเรือนสำหรับปลูกเลี้ยงแบบเปิดหรือปิดอบหรือไม่อบ ควรดูตามความต้องการของสายพันธุ์ที่ปลูกเลี้ยงเป็นหลัก รองจากสถานที่เหมาะสม คือ การดูแลเอาใจใส่ หมั่นคอยสังเกตปัญหา

ด้วยเหตุผลของความขัดแย้งในวัสดุปลูกหรือรูปแบบของแสงที่ควรใช้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาว่าวัสดุปลูกประเภทใดและแสงรูปแบบใดที่จะมีผลต่อการเจริญของกระบองเพชร กล่าวคือ วัสดุ

ปลูกและแสงรูปแบบใดที่สามารถเพิ่มร้อยละการรอด ความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชร โดยวัสดุปลูกที่นำมาศึกษา ได้แก่ หินภูเขาไฟ ดินสำเร็จรูป หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว และดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ และรูปแบบการให้แสงที่ศึกษา ได้แก่ แสงจากธรรมชาติและแสงจากหลอดไฟ ซึ่งจากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่พบการศึกษาเปรียบเทียบทั้งวัสดุปลูกและรูปแบบการให้แสงดังกล่าว ผู้วิจัยมีความคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลจากการศึกษาครั้งนี้จะสามารถนำไปต่อยอดเพื่อผลิตกระบองเพชรในเชิงการค้าให้ได้กระบองเพชรที่มีคุณภาพดี ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาผลของวัสดุปลูกและแสงที่มีผลต่อการเจริญของกระบองเพชร ดำเนินการศึกษาที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตั้งแต่วันที่ 6 กันยายนถึง 5 ธันวาคม พ.ศ. 2562 วางแผนการทดลองแบบ 6×2 แฟกทอเรียลชนิดสุ่มสมบูรณ์ (6×2 Factorial in Completely Randomized Design) จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งมีปัจจัยในการปลูกดังนี้

ปัจจัยที่ 1 วัสดุปลูก 6 ประเภท ได้แก่ หินภูเขาไฟ ดินสำเร็จรูป หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว และดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ

ปัจจัยที่ 2 แสง 2 รูปแบบ ได้แก่ แสงจากธรรมชาติ และแสงจากหลอดไฟ

1. การเตรียมเมล็ด

1.1 เตรียมเมล็ดกระบองเพชร สายพันธุ์แมมมิลลาเรีย นิโวซ่า (*Mammillaria nivosa* Link ex Pfeiff.) จำนวน 360 เมล็ด

1.2 แบ่งเมล็ดกระบองเพชรออกเป็นชุดๆ ละ 10 เมล็ด จำนวน 36 ชุด ใส่ในถุงพลาสติกใส ขนาด 2×5 เซนติเมตร พร้อมทั้งติดหมายเลข 1-36 ไว้ที่ถุงพลาสติกใส เพื่อใช้ในการสุ่มหน่วยทดลองให้ได้รับปัจจัยในการปลูกต่อไป

2. การเตรียมอุปกรณ์เพาะ

2.1 เตรียมถาดเพาะลักษณะเป็นหลุม ขนาด ถาดกว้าง $\times$ ยาว เท่ากับ 13×28 เซนติเมตร และมีความลึกของหลุมแต่ละหลุมเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร จำนวน 2 ใบ ถาดเพาะแต่ละใบมีจำนวน 18 หลุม ปลูกกระบองเพชรด้วยวัสดุปลูก 6 ประเภท ประเภทละ 3 ซ้ำ ถาดเพาะใบที่ 1 ใช้ปลูกโดยได้รับแสงจากธรรมชาติ และใบที่ 2 ใช้ปลูกโดยได้รับแสงจากหลอดไฟ

2.2 เตรียมวัสดุปลูก 6 ประเภท ได้แก่ หินภูเขาไฟ ปริมาณ 15 กรัม/หลุม ดินสำเร็จรูป ปริมาณ 15 กรัม/หลุม หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว ปริมาณ อย่างละ 7.5 กรัม/หลุม หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ ปริมาณอย่างละ 7.5 กรัม/หลุม ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว ปริมาณอย่างละ 7.5 กรัม/หลุม และดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ ปริมาณอย่างละ 7.5 กรัม/หลุม

2.3 เตรียมสถานที่เพื่อให้เมล็ดกระบองเพชร ได้รับแสงแตกต่างกัน 2 รูปแบบ ได้แก่

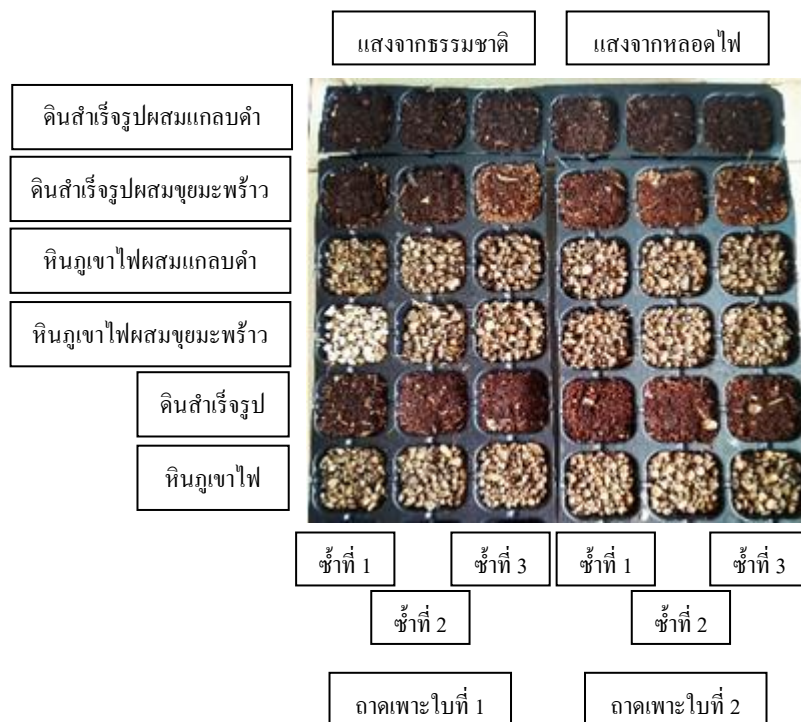
- แสงจากธรรมชาติ โดยการวางถาดเพาะใบที่ 1 ไว้ใกล้หน้าต่างเพื่อให้ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ 8 ชั่วโมง คือ เวลา 08.00-16.00 น. เมื่อครบ 8 ชั่วโมง นำไปวางไว้ในตู้ทึบแสง

- แสงจากหลอดไฟ โดยการวางถาดเพาะใบที่ 2 ไว้ที่โต๊ะที่มีหลอดไฟ ขนาด 220 วัตต์ จำนวน 1 หลอด เพื่อให้ได้รับแสงจากหลอดไฟ 8 ชั่วโมง คือ เวลา 08.00-16.00 น. เมื่อครบ 8 ชั่วโมง นำไปวางไว้ในตู้ทึบแสง

2.4 เตรียมกะละมังขนาดกว้าง $\times$ ยาว $\times$ สูง เท่ากับ $35 \times 50 \times 20$ เซนติเมตร สำหรับใส่น้ำปริมาณ 1.5 ลิตร เพื่อแช่ถาดเพาะที่ไต่ดินแต่ละประเภท เรียบร้อยแล้ว ให้ดินมีความชุ่มชื้น

2.5 เตรียมถุงพลาสติกใสขนาดกว้าง $\times$ ยาว เท่ากับ 20×30 เซนติเมตร สำหรับใช้คลุมถาดเพาะ เพื่อเก็บรักษาความชื้นในดิน

ถาดเพาะ จำนวน 2 ใบ 36 หลุม สำหรับการปลูกกระบองเพชรโดยใช้วัสดุปลูก 6 ประเภท และแสง 2 รูปแบบ จำนวน 3 ซ้ำ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ถาดเพาะ จำนวน 2 ใบ 36 หลุม สำหรับการปลูกกระบองเพชร

3. วิธีการปลูกและการดูแล

3.1 นำถาดเพาะที่ได้ดินเรียบร้อยแล้วมาแช่น้ำในกะละมังจนดินมีลักษณะชุ่มน้ำ

3.2 สุ่มเมล็ดกระบองเพชรที่จัดไว้เป็นชุดในถุงพลาสติกใส จำนวน 36 ชุด ชุดละ 10 เมล็ด ซึ่งมีหมายเลข 1-36 ติดไว้ที่ถุงพลาสติกใส ลงปลูกในถาดเพาะตามภาพที่ 1 เพื่อให้ได้รับปัจจัยในการปลูก คือ วัสดุปลูก (หินภูเขาไฟ ดินสำเร็จรูป หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว และดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ) และแสง (แสงจากธรรมชาติและแสงจากหลอดไฟ) อย่างสม่ำเสมอ จำนวน 3 ซ้ำ (Pongpornsup, 2016) หลังจากทำการสุ่มลงเมล็ดกระบองเพชรแล้ว เคลี่ยเมล็ดให้ทั่วหลุม และกดเมล็ดให้จมลงไปเล็กน้อย

3.3 นำถุงพลาสติกใสมาคลุมถาดเพาะแต่ละถาดตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง (ถอดออกเฉพาะเวลารดน้ำ) เพื่อเก็บรักษาความชื้นในดิน

3.4 นำถาดเพาะถาดที่ 1 วางให้โดนแสงจากธรรมชาติ (แสงจากดวงอาทิตย์) ตั้งแต่เวลา 08.00-16.00 น. และถาดที่ 2 วางให้โดนแสงจากหลอดไฟ ตั้งแต่เวลา 08.00-16.00 น.

3.5 รดน้ำสัปดาห์ละ 2 วัน วันละ 2 ครั้ง คือเวลา 08.00 และ 16.00 น.

4. การเก็บข้อมูล

ดำเนินการเก็บข้อมูลการเจริญของต้นอ่อนกระบองเพชรในวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2562 หลังจากทำการทดลองทั้งสิ้น 91 วัน (ตั้งแต่วันที่ 6 กันยายน ถึง 5 ธันวาคม พ.ศ. 2562) ได้แก่ ร้อยละการรอดจำนวนได้จากสมการที่ (1) และวัดความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) โดยนิยามต้นอ่อนกระบองเพชรที่รอด หมายถึง ต้นอ่อนที่เติบโตพ้นวัสดุปลูก

$$\text{ร้อยละการรอด} = \frac{\text{จำนวนต้นอ่อนกระบองเพชรที่รอด}}{10} \times 10 \quad (1)$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 นำข้อมูลการเจริญ ได้แก่ ร้อยละการรอด ความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) แบบแฟกทอเรียล ชนิดสุ่มสมบูรณ์ที่มี 2 ปัจจัย โดยพิจารณาการมีนัยสำคัญของปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่ วัสดุปลูก และแสง และพิจารณาการมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วมของปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัย ซึ่งมีสมมุติฐานของการวิจัยดังนี้

- วัสดุปลูกอย่างน้อย 2 ประเภท ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละการรอด ความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น กระบองเพชรแตกต่างกัน

- แสงทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละการรอด ความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น กระบองเพชรแตกต่างกัน

- มีอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อค่าเฉลี่ยของร้อยละการรอด ความยาวราก ความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น กระบองเพชร

5.2 จากข้อ 5.1 ถ้าพบว่ามีความนัยสำคัญ จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons Test) ด้วยการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน (Duncan's Multiple Range Test) หากพบว่า อิทธิพลร่วมมีความแตกต่างทางสถิติ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณเฉพาะอิทธิพลร่วมเท่านั้น แต่ถ้าอิทธิพลร่วมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณของปัจจัยหลักที่มีความแตกต่างทางสถิติ

5.3 นำความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมาตรวจสอบข้อสมมุติ (Assumption) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้แก่ ตรวจสอบการแจกแจงปกติด้วยการทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมีร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) และตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนด้วยการทดสอบของเลวีนาภายใต้การใช้มัธยฐาน (Levene's Test Based on Median)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ร้อยละการรอด

ตารางที่ 1 จำนวนต้นอ่อนกระบองเพชรที่รอดจากการปลูกทั้งหมด 10 เมล็ด/หลุม (ร้อยละการรอด)

วัสดุปลูก	แสง					
	แสงจากธรรมชาติ			แสงจากหลอดไฟ		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
หินภูเขาไฟ	2 (20)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
ดินสำเร็จรูป	5 (50)	6 (60)	4 (40)	1 (10)	1 (10)	2 (20)
หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว	1 (10)	1 (10)	0 (0)	0 (0)	1 (10)	0 (0)
หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ	0 (0)	0 (0)	3 (30)	0 (0)	0 (0)	1 (10)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วัสดุปลูก	แสง					
	แสงจากธรรมชาติ			แสงจากหลอดไฟ		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว	2 (20)	5 (50)	1 (10)	2 (20)	0 (0)	4 (40)
ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ	4 (40)	2 (20)	1 (10)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

ตารางที่ 2 ค่าสถิติเบื้องต้นของร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ปัจจัย		ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	F	p-value
วัสดุปลูก	หินภูเขาไฟ	3.33	8.165		
	ดินสำเร็จรูป	31.67	21.370		
	หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว	5.00	5.477	5.419	0.002**
	หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ	6.67	12.111		
	ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว	23.33	18.619		
	ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ	11.67	16.021		
แสง	แสงจากธรรมชาติ	20.56	19.844		
	แสงจากหลอดไฟ	6.67	10.847	12.019	0.002**
อิทธิพลร่วม				1.819	0.147

** แทนการมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบพหุคูณของร้อยละการรอด ด้วยการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน จำแนกตามปัจจัยวัสดุปลูก

วัสดุปลูก (ค่าเฉลี่ย ร้อยละการรอด)	ดินสำเร็จรูป (31.67)	หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว (5.00)	หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ (6.67)	ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว (23.33)	ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ (11.67)
หินภูเขาไฟ (3.33)	28.34**	1.67	3.34	20.00	8.34
ดินสำเร็จรูป (31.67)		26.67**	25.00**	8.34	20.00
หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว (5.00)			1.67	18.33	6.67
หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ (6.67)				16.66	5.00
ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว (23.33)					11.66

** แทนการมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

ผลการศึกษาพบว่า ดินสำเร็จรูป ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว และดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละการรอดสูงกว่าดินประเภทอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยมีร้อยละการรอดเฉลี่ยเท่ากับ 31.67, 23.33 และ 11.67 ตามลำดับ และแสงจากธรรมชาติส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละการรอดสูงกว่าแสงจากหลอดไฟอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยมีร้อยละการรอดเฉลี่ยเท่ากับ 20.56 แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อร้อยละการรอด

เมื่อนำความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรมาตรวจสอบข้อสมมุติ ได้ผลการตรวจสอบดังนี้

- ความคลาดเคลื่อนของร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรเมื่อใช้วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (หินภูเขาไฟ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.816$, $p\text{-value} = 0.518$, ดินสำเร็จรูป: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.431$, $p\text{-value} = 0.992$, หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.590$, $p\text{-value} = 0.878$, หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.686$, $p\text{-value} = 0.734$, ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.482$, $p\text{-value} = 0.974$, ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.816$, $p\text{-value} = 0.518$, Levene Statistic = 1.891, $p\text{-value} = 0.126$)

- ความคลาดเคลื่อนของร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรที่ได้รับแสงทั้ง 2 รูปแบบ มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (แสงจากธรรมชาติ: Kolmogorov-

Smirnov $Z = 0.891$, $p\text{-value} = 0.405$, แสงจากหลอดไฟ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.179$, $p\text{-value} = 0.124$, Levene Statistic = 4.348, $p\text{-value} = 0.045$)

จากผลการตรวจสอบข้อสมมุติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ความคลาดเคลื่อนของร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรเมื่อใช้วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภทและได้รับแสงทั้ง 2 รูปแบบ มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ทำให้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ

จากผลการศึกษาร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรที่เกิดขึ้น พบว่า ดินสำเร็จรูป และดินสำเร็จรูปผสมวัสดุปลูกอื่นๆ เช่น ขุยมะพร้าวหรือแกลบดำ ทำให้อัตราการรอดสูงกว่าการใช้หินภูเขาไฟ โดยมีร้อยละการรอดเฉลี่ยเท่ากับ 31.67, 23.33 และ 11.67 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Meechana (1999) ที่พบว่า ควรปลูกกระบองเพชรโดยใช้วัสดุปลูกที่อุดมสมบูรณ์หรือเป็นดินผสมที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ มีน้ำไหลผ่านสะดวก ไม่อุ้มน้ำ รักษาความชื้นได้ดี และแสงจากธรรมชาติส่งผลให้อัตราการรอดสูงกว่าแสงจากหลอดไฟ โดยมีร้อยละการรอดเฉลี่ยเท่ากับ 20.56 สอดคล้องกับการศึกษาของ Meechana (1999), Digital Agriculture Database System (2018) และ Sarapanactus (2019b) ที่พบว่า การปลูกกระบองเพชรควรจะได้รับแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่ง Meechana (1999) และ Sarapanactus (2019b) เสนอว่าควรได้รับแสงอาทิตย์นานมากกว่า 6-8 ชั่วโมง แต่ถ้าทำไม่ได้ อาจเป็นแสงช่วงเช้าหรือช่วงบ่าย อย่างไรก็ตาม แสงแดดช่วงเช้าจะเหมาะสมกับการเจริญของกระบองเพชรมากกว่าแสงแดดช่วงบ่าย เนื่องจากเป็นแดดที่ไม่ร้อนเกินไป

2. ความยาวราก

ตารางที่ 4 ความยาวรากของกระบองเพชรเฉลี่ยต่อต้น (มิลลิเมตร)

วัสดุปลูก	แสง					
	แสงจากธรรมชาติ			แสงจากหลอดไฟ		
	ชำที่ 1	ชำที่ 2	ชำที่ 3	ชำที่ 1	ชำที่ 2	ชำที่ 3
หินภูเขาไฟ	5	0	0	0	0	0
ดินสำเร็จรูป	2.8	5.5	4.75	4	1	3
หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว	6	5	0	0	2	0
หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ	0	0	3	0	0	2
ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว	2.5	4.5	5	2	0	3
ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ	4.25	5	4	0	0	0

ตารางที่ 5 ค่าสถิติเบื้องต้นของความยาวรากของกระบองเพชรและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

	ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	F	p-value
		(มิลลิเมตร)	(มิลลิเมตร)		
วัสดุปลูก	หินภูเขาไฟ	0.83	2.041	2.507	0.058
	ดินสำเร็จรูป	3.51	1.600		
	หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว	2.17	2.714		
	หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ	0.83	1.329		
	ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว	2.83	1.807		
	ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ	2.21	2.441		
แสง	แสงจากธรรมชาติ	3.18	2.220	16.423	0.000**
	แสงจากหลอดไฟ	0.94	1.349		
อิทธิพลร่วม				1.048	0.413

** แทนการมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

ผลการศึกษาพบว่า แสงจากธรรมชาติส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความยาวรากสูงกว่าแสงจากหลอดไฟอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยมีความยาวรากเท่ากับ 3.18 มิลลิเมตร แต่วัสดุปลูกไม่มีอิทธิพลต่อความยาวราก และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อความยาวราก

เมื่อนำความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความยาวรากของกระบองเพชรมาตรวจสอบข้อสมมุติ ได้ผลการตรวจสอบดังนี้

- ความคลาดเคลื่อนของความยาวรากของกระบองเพชรเมื่อใช้วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท มีการ

แจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (หิโนฎเฎไฟ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.816$, $p\text{-value} = 0.518$, ดินสำเริจรูป : Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.654$, $p\text{-value} = 0.786$, หิโนฎเฎไฟผสมขุฎมะพริ้ว: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.567$, $p\text{-value} = 0.905$, หิโนฎเฎไฟผสมแกลบดำ : Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.833$, $p\text{-value} = 0.417$, ดินสำเริจรูปผสมขุฎมะพริ้ว: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.451$, $p\text{-value} = 0.987$, ดินสำเริจรูปผสมแกลบดำ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.816$, $p\text{-value} = 0.518$, Levene Statistic = 1.353, $p\text{-value} = 0.270$)

- ความคลาดเคลื่อนของความยาวรากของกระบองเพชรที่ได้รับแสงทั้ง 2 รูปแบบ มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (แสงจากรัษรณชาติ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.476$, $p\text{-value} = 0.977$, แสงจากรัษรณไฟ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.707$, $p\text{-value} = 0.699$, Levene Statistic = 6.829, $p\text{-value} = 0.013$)

จากผลการตรวจสอบข้อสมมุติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ความคลาดเคลื่อนของความยาวรากของกระบองเพชรเมื่อใช้วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภทและได้รับแสงทั้ง 2 รูปแบบ มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ทำให้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ

จากผลการศึกษาความยาวรากของกระบองเพชรที่เกิดขึ้น พบว่า แสงจากรัษรณชาติทำให้ความยาวรากสูงกว่าแสงจากรัษรณไฟ โดยมีความยาวรากเท่ากับ 3.18 มิลลิเมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Meechana (1999), Digital Agriculture Database System (2018) และ Sarapanactus (2019b) ที่พบว่า การปลูกกระบองเพชรโดยให้ได้รับแสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้กระบองเพชรเจริญดีกว่าการปลูกโดยไม่ได้รับแสงอาทิตย์หรือได้รับแสงประเภทอื่นๆ

3. ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 6 ความสูงของลำต้นกระบองเพชรเฉลี่ยต่อต้น (มิลลิเมตร)

วัสดุปลูก	แสง					
	แสงจากรัษรณชาติ			แสงจากรัษรณไฟ		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
หิโนฎเฎไฟ	4	0	0	0	0	0
ดินสำเริจรูป	3.8	2.67	3	3	4	2.5
หิโนฎเฎไฟผสมขุฎมะพริ้ว	4	3	0	0	3	0
หิโนฎเฎไฟผสมแกลบดำ	0	0	2.33	0	0	3
ดินสำเริจรูปผสมขุฎมะพริ้ว	2.5	2.4	2	3	0	3.25
ดินสำเริจรูปผสมแกลบดำ	3.5	2.5	3	0	0	0

ตารางที่ 7 ค่าสถิติเบื้องต้นของความสูงของลำต้นกระบองเพชรและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

	ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	F	p-value
		(มิลลิเมตร)	(มิลลิเมตร)		
วัสดุปลูก	หินภูเขาไฟ	0.67	1.633	2.713	0.044
	ดินสำเร็จรูป	3.16	0.607		
	หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว	1.67	1.862		
	หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ	0.89	1.392		
	ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว	2.19	1.162		
	ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ	1.50	1.673		
แสง	แสงจากธรรมชาติ	2.15	1.481	4.355	0.048
	แสงจากหลอดไฟ	1.21	1.582		
อิทธิพลร่วม				1.200	0.339

ผลการศึกษาพบว่า วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท และแสงทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นไม่แตกต่างกัน รวมถึงไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อความสูงของลำต้น

เมื่อนำความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงของลำต้นกระบองเพชรมาตรวจสอบข้อสมมุติ ได้ผลการตรวจสอบดังนี้

- ความคลาดเคลื่อนของความสูงของลำต้นกระบองเพชรเมื่อใช้วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (หินภูเขาไฟ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.816$, $p\text{-value} = 0.518$, ดินสำเร็จรูป: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.658$, $p\text{-value} = 0.780$, หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.540$, $p\text{-value} = 0.933$, หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.928$, $p\text{-value} = 0.355$, ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.566$, $p\text{-value} = 0.906$, ดินสำเร็จรูป

ผสมแกลบดำ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.816$, $p\text{-value} = 0.518$, Levene Statistic = 1.668, $p\text{-value} = 0.173$)

- ความคลาดเคลื่อนของความสูงของลำต้นกระบองเพชรที่ได้รับแสงทั้ง 2 รูปแบบ มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (แสงจากธรรมชาติ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.517$, $p\text{-value} = 0.952$, แสงจากหลอดไฟ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.943$, $p\text{-value} = 0.336$, Levene Statistic = 0.229, $p\text{-value} = 0.635$)

จากผลการตรวจสอบข้อสมมุติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ความคลาดเคลื่อนของความสูงของลำต้นกระบองเพชรเมื่อใช้วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภทและได้รับแสงทั้ง 2 รูปแบบ มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ทำให้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ

จากผลการศึกษาความสูงของลำต้นกระบองเพชรที่เกิดขึ้น พบว่า วัสดุปลูกและแสงที่

แตกต่างกันไม่ทำให้ความสูงของลำต้นแตกต่างกัน
ขัดแย้งกับการศึกษาของ Meechana (1999), Digital
Agriculture Database System (2018) และ
Sarapancactus (2019b) ที่พบว่าควรรปลูก
กระบองเพชรในดินร่วนปนทราย หรือใช้วัสดุปลูกที่
อุดมสมบูรณ์ หรือเป็นดินผสมที่มีธาตุอาหารที่อุดม
สมบูรณ์ มีน้ำไหลผ่านสะดวก ไม่อุ้มน้ำ รักษา
ความชื้นได้ดี โดยให้ได้รับแสงอาทิตย์ที่เพียงพอแก่
การเจริญของกระบองเพชร อาจเนื่องมาจากข้อจำกัด

ของระยะเวลาในการศึกษาการเจริญของ
กระบองเพชรครั้งนี้ จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่าง
ของความสูงของลำต้นกระบองเพชร ดังจะเห็นได้
จากร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรที่ยังคงมี
ร้อยละการรอดต่ำ ซึ่งหากเพิ่มระยะเวลาการศึกษา
อาจทำให้มีร้อยละการรอดเพิ่มขึ้น และอาจส่งผลให้
ความสูงของลำต้นกระบองเพชรมีความแตกต่างกัน

4. เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น

ตารางที่ 8 เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรเฉลี่ยต่อต้น (มิลลิเมตร)

วัสดุปลูก	แสง					
	แสงจากธรรมชาติ			แสงจากหลอดไฟ		
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
หินภูเขาไฟ	3.5	0	0	0	0	0
ดินสำเร็จรูป	2.75	2	1.5	2	2	1.5
หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว	2	2	0	0	2	0
หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ	0	0	2	0	0	2
ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว	1.5	1.4	2	2	0	2.25
ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ	2.25	2	2	0	0	0

ตารางที่ 9 ค่าสถิติเบื้องต้นของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

	ปัจจัย	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	F	p-value
		(มิลลิเมตร)	(มิลลิเมตร)		
วัสดุปลูก	หินภูเขาไฟ	0.58	1.429	1.722	0.168
	ดินสำเร็จรูป	1.96	0.459		
	หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว	1.00	1.095		
	หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ	0.67	1.033		
	ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว	1.53	0.815		
	ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ	1.04	1.145		
แสง	แสงจากธรรมชาติ	1.49	1.061	4.995	0.035
	แสงจากหลอดไฟ	0.76	0.994		
อิทธิพลร่วม				0.952	0.466

ผลการศึกษาพบว่า วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท และแสงทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นไม่แตกต่างกัน รวมถึงไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น

เมื่อนำความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรมาตรวจสอบข้อสมมุติ ได้ผลการตรวจสอบดังนี้

- ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรเมื่อใช้วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (หินภูเขาไฟ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.816$, $p\text{-value} = 0.518$, ดินสำเร็จรูป: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.453$, $p\text{-value} = 0.986$, หินภูเขาไฟผสมขุยมะพร้าว: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.590$, $p\text{-value} = 0.878$, หินภูเขาไฟผสมแกลบดำ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.998$, $p\text{-value} = 0.272$, ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.538$, $p\text{-value} = 0.935$, ดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.816$, $p\text{-value} = 0.518$, Levene Statistic = 1.421, $p\text{-value} = 0.245$)

- ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรที่ได้รับแสงทั้ง 2 รูปแบบ มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (แสงจากธรรมชาติ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.624$, $p\text{-value} = 0.831$, แสงจากหลอดไฟ: Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.784$, $p\text{-value} = 0.570$, Levene Statistic = 0.916, $p\text{-value} = 0.345$)

จากผลการตรวจสอบข้อสมมุติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรเมื่อใช้

วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภทและได้รับแสงทั้ง 2 รูปแบบ มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ทำให้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ

จากผลการศึกษาเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรที่เกิดขึ้น พบว่า วัสดุปลูกและแสงที่แตกต่างกันไม่ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นแตกต่างกัน ชัดแจ้งกับการศึกษาของ Meechana (1999), Digital Agriculture Database System (2018) และ Sarapanactus (2019b) ที่พบว่า ควรปลูกกระบองเพชรในดินร่วนปนทราย หรือใช้วัสดุปลูกที่อุดมสมบูรณ์ หรือเป็นดินผสมที่มีธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ มีน้ำไหลผ่านสะดวก ไม่อุ้มน้ำ รักษาความชื้นได้ดี โดยให้ได้รับแสงอาทิตย์ที่เพียงพอแก่การเจริญของกระบองเพชร อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของระยะเวลาในการศึกษาการเจริญของกระบองเพชรครั้งนี้ จึงทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชร ดังจะเห็นได้จากร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรที่ยังคงมีร้อยละการรอดต่ำ ซึ่งหากเพิ่มระยะเวลาการศึกษาอาจทำให้มีร้อยละการรอดเพิ่มขึ้น และอาจส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรมีความแตกต่างกัน

สรุป

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท และแสงทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละการรอดของเมล็ดกระบองเพชรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยดินสำเร็จรูป ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว และดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละการรอดสูงกว่าดินประเภทอื่นๆ มีร้อยละการรอดเฉลี่ยเท่ากับ 31.67, 23.33 และ 11.67 ตามลำดับ และแสงจากธรรมชาติส่งผลให้ค่าเฉลี่ย

ของร้อยละการรอดสูงกว่าแสงจากหลอดไฟ มีร้อยละการรอดเฉลี่ยเท่ากับ 20.56 แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อการรอด

2. แสงทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความยาวรากของกระบองเพชรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 โดยแสงจากธรรมชาติส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความยาวรากสูงกว่าแสงจากหลอดไฟ โดยมีความยาวรากเท่ากับ 3.18 มิลลิเมตร แต่วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท ไม่มีอิทธิพลต่อความยาวราก และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อความยาวราก

3. วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท และแสงทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความสูงของลำต้นกระบองเพชรไม่แตกต่างกัน และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อความสูงของลำต้น

4. วัสดุปลูกทั้ง 6 ประเภท และแสงทั้ง 2 รูปแบบ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระบองเพชรไม่แตกต่างกัน และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างวัสดุปลูกและแสงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น

5. วัสดุปลูกที่เหมาะสมกับการปลูกกระบองเพชรคือ ดินสำเร็จรูป หรือดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว หรือดินสำเร็จรูปผสมแกลบดำ และแสงที่เหมาะสมคือ การได้รับจากธรรมชาติ เนื่องจากจะทำให้กระบองเพชรมีร้อยละการรอดและความยาวรากสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

Chobsa-ard, W., Boonkorkaew, P. and Tanomchit, K. 2018. Effect of NAA on rooting of stem cutting of *Harrisia jusbertii* and *Harrisia jusbertii* × *Harrisia pomanensis*.

Agricultural Science Journal 49(1 special): 310-313. (in Thai)

Digital Agriculture Database System. 2018. *Mammillaria nivosa* Link ex Pfeiff. Available Source: <https://data.addrun.org/plant/archives/972-mammillaria-nivosa-link-ex-pfeiff>, September 17, 2019. (in Thai)

FondPlants. 2018. **The advantages of growing cactus**. Available Source: [https://fondplants.com/ความรู้ทั่วไป/ข้อดีของการปลูกกระบองเพชร_\(แคคตัส\)](https://fondplants.com/ความรู้ทั่วไป/ข้อดีของการปลูกกระบองเพชร_(แคคตัส)), September 17, 2019. (in Thai)

Meechana, S. 1999. Growth and development of stat cactus (*Astrophytum*). Bachelor of Science, Kasetsart University. (in Thai)

Pongpornsup, V. 2016. Design of Experiment. **For Quality Magazine** 23(218): 17-19. (in Thai)

Puechkaset. 2016. **Benefits and cactus cultivation**. Available Source: <https://puechkaset.com/กระบองเพชร/>, September 17, 2019. (in Thai)

Sarapancactus. 2019a. *Mammillaria nivosa*. Available Source: <https://www.facebook.com/482987511903006/posts/486469344888156/>, December 22, 2019. (in Thai)

Sarapancactus. 2019b. **The right place is all about raising cactus**. Available Source: https://www.facebook.com/sarapancactus/posts/1019909691544116?__tn__=K-R, December 22, 2019. (in Thai)

ปริมาณแคลเซียม คุณภาพทางเคมี กายภาพ และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดุกเสริมผงก้างปลาดุก

Calcium Content, Physicochemical Quality and Sensorial Acceptability of Catfish Crispy Snack Fortified with Catfish Bone Powder

วชิรญา เหลียวตระกูล^{1*} วิจิตรา เหลียวตระกูล¹ และ ยุพิน พุนดี²
 Vachiraya Liaotrakoon^{1*}, Wijitra Liaotrakoon¹ and Yupin Phoondee²

Received: 20 May 2020, Revised: 5 August 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของผงก้างปลาดุกต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาดุกเสริมแคลเซียม โดยใช้ปริมาณก้างปลาดุกผงร้อยละ 0 (ชุดควบคุม), 10, 20 และ 30 พบว่า เมื่อเสริมก้างปลาดุกผงปริมาณเพิ่มขึ้นในข้าวเกรียบปลา ทำให้ค่าความแข็งและปริมาณความชื้นลดลง ส่วนการพองตัวและปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น โดยข้าวเกรียบปลาที่ไม่ได้เสริมก้างปลาดุกผง มีแคลเซียม 58.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง และที่เสริมก้างปลาดุกผงร้อยละ 30 มีแคลเซียมสูงถึง 8,930.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง การเสริมปริมาณก้างปลาดุกผงร้อยละ 20 ได้คะแนนการยอมรับมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากนั้นนำข้าวเกรียบเสริมก้างปลาดุกผงร้อยละ 20 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเทียบกับชุดควบคุมพบว่า ข้าวเกรียบปลาชุดควบคุมมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตมากกว่าข้าวเกรียบปลาดุกเสริมแคลเซียมจากก้างปลาดุกผงร้อยละ 20 แต่ให้ปริมาณได้น้อยกว่า สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดุกเสริมก้างปลาดุกผงสามารถลดปริมาณของเหลือทิ้ง เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น และสำหรับผู้รักษาสุขภาพได้อีกด้วย

คำสำคัญ: ข้าวเกรียบปลา, ก้างปลา, แคลเซียม, ปลาดุก

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

¹ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand.

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

² Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): liao_vachiraya@hotmail.com Tel: 09 8906 0969

ABSTRACT

The objective of this research was to study the quantity of catfish bone powder on the physical, chemical and sensory qualities of catfish crispy snack fortified with calcium from catfish bone powder as 0 (control), 10, 20 and 30%. It was found that an increase in catfish bone powder led to a decrease in hardness and moisture content, while swelling and calcium content increased. The catfish crispy snack without catfish bone powder contained 58.50 mg of calcium/ kg of sample (dry weight) while the one with 30% of catfish bone powder had a high calcium content, up to 8,930 mg of calcium/ kg of sample (dry weight). The sample fortified with 20% catfish bone powder was rated the best by panelists ($p<0.05$). But, when the chemical composition of the catfish crispy snack added 20% catfish bone powder was analyzed and compared with the control, it was found that the control had higher protein, fat, fiber and carbohydrate while ash was lower. It can be concluded that catfish crispy snack with catfish bone powder supplement can reduce the amount of by-product, and provide nutritional value for consumers who like to stay healthy.

Key words: fish crispy snack, fish bone, calcium, catfish

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ (cracker product หรือ crispy snack) เป็นอาหารว่างประเภทขบเคี้ยว จัดเป็นอาหารว่าง (Snack food) ที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งหารับประทานได้ง่ายและราคาถูก ในการผลิตข้าวเกรียบนิยมใช้ปลาเป็นส่วนผสม นอกจากนี้อาจใช้วัตถุดิบอื่นๆ ที่ให้สี กลิ่นและรสเป็นส่วนผสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบน่ารับประทานยิ่งขึ้น จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดมานวดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ขึ้นรูปตามต้องการ แล้วนำไปนึ่งให้สุก หลังจากนั้นนำไปแช่เย็นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แข็งตัว หั่นเป็นชิ้นบางๆ นำไปตากแดดหรืออบให้แห้ง ทอดในน้ำมันร้อนจนพอง ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ มีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนประกอบ มีชื่อเรียกตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต (Lachmann, 1969; Suriya *et al.*, 2011) ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบโดยทั่วไปจะผลิตจากวัตถุดิบหลัก ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้ง

ถั่ว และแป้งสาลี (Nurul *et al.*, 2009) และมีการใส่ส่วนผสมอื่นๆ เช่น กุ้ง ปลา กระเทียม พริกไทย เกลือ และน้ำตาล (Saah *et al.*, 2015) จะเห็นได้ว่าสารอาหารและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลายังมีน้อย

แคลเซียมเป็นสารอาหารที่จำเป็นในชีวิตคือจะมีผลต่อการเสริมสร้างกระดูกทั้งเด็ก วัยรุ่น ผู้ใหญ่ ผู้สูงอายุ ทั้งผู้หญิงและผู้ชาย (Panyakhamlerd *et al.*, 1997) ปัจจุบันมีการนำก้างปลามาเสริมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ในงานวิจัยของ Laksana (2012) มีการนำก้างปลาผง กุ้งฝอยผง และปลากะตักผงมาใช้เป็นแหล่งแคลเซียมเพื่อผสมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาที่ใช้ทดแทนแป้งมันสำปะหลัง ได้ถึงที่ระดับร้อยละ 17.5 และ Mahnaz *et al.* (2017) ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาคูเสริมแคลเซียมจากก้างปลาพูน้าในปริมาณร้อยละ 24.56 และ 38.16 เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ และจะเห็นได้ว่าก้างปลาเป็น

ของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ดีจากธรรมชาติ (Hemung, 2013) โดยปริมาณแคลเซียมที่ได้รับเพียงพอ (800-1200 มิลลิกรัมต่อวัน) จะส่งผลกระทบต่อกระดูกสูงสุด โดยจะช่วยป้องกันการสูญเสียมวลกระดูกและโรคกระดูกพรุนได้ (Zhu and Prince, 2012) ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาผลของการเสริมแคลเซียมจากก้างปลาในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาต่อคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) และการพองตัว คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณแคลเซียมและปริมาณความชื้น และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส เนื่องจากก้างปลาเป็นแหล่งของแคลเซียมและเป็นส่วนที่เหลือทิ้ง และปลาคูเป็นปลาที่หาง่ายและราคาถูก ยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภค ช่วยส่งเสริมให้เกษตรกรไทยผู้เลี้ยงปลาให้มีรายได้เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาามีมูลค่าสูงขึ้น รวมทั้งเป็นการนำวัตถุดิบที่เหลือใช้และวัตถุดิบท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้อีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมก้างปลาคูผง

นำปลาคูอุย (*Clarias macrocephalus*) ที่ซื้อมาจากตลาดสดแกรนด์ อำเภอบุขพุทธรักษ์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาล้างทำความสะอาด และแล่เอาเนื้อไปทำข้าวเกรียบ ส่วนก้างปลาคู นำมาล้างให้สะอาดแล้วนำไปต้มให้เดือด นำไปอบด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 ชั่วโมง นำไปบดให้ละเอียดแล้วทำการร่อนขนาด 160 เมทและอบต่ออีก 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ทำการเก็บใส่ถุงพลาสติกที่ซีลปิดปากถุงสนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2. ศึกษาปริมาณก้างปลาคูผงที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลา

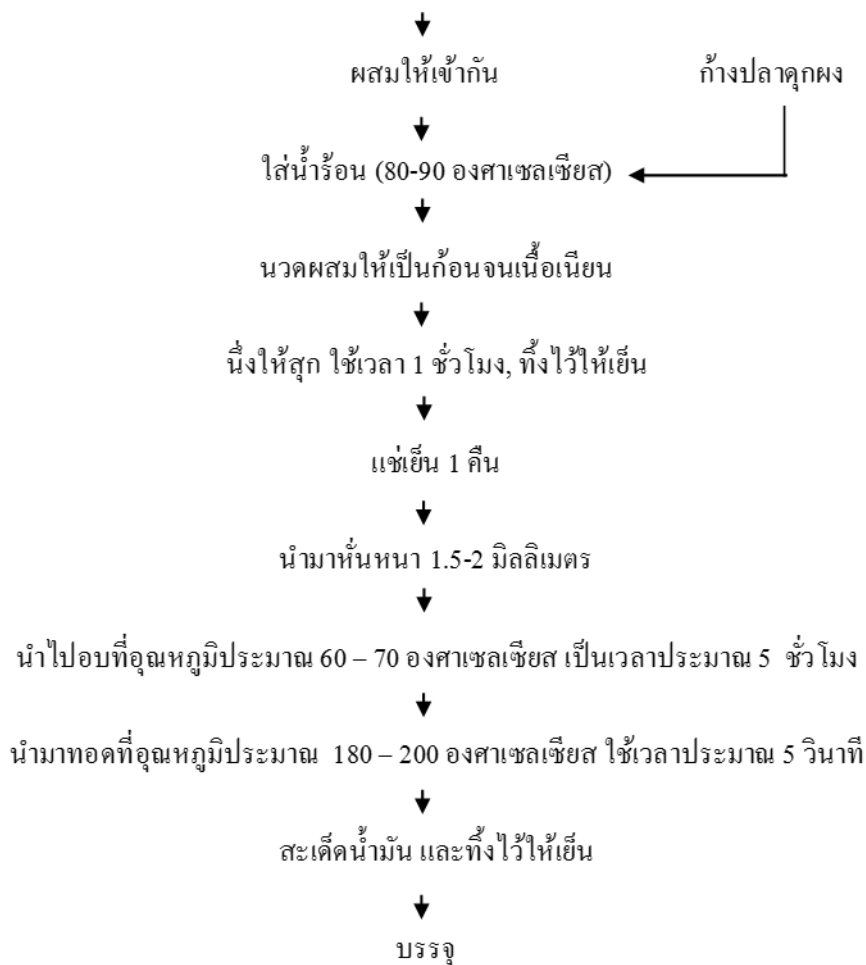
ใช้ก้างปลาคูผงร้อยละ 0 (สูตรควบคุม), 10, 20 และ 30 เทียบกับแป้งมัน 100 กรัม ซึ่งส่วนผสมตามสูตรในการทำข้าวเกรียบปลาคูดังแสดงใน ตารางที่ 1 จำนวนทั้งหมด 4 สูตร และทำการแปรรูปข้าวเกรียบตามภาพที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรในการทำข้าวเกรียบปลาคูเสริมก้างปลาคูผงในปริมาณที่ต่างกัน

ก้างปลาคูผง (ร้อยละ)	แป้งมัน (กรัม)	เนื้อปลาคู (กรัม)	ก้างปลาคูผง (กรัม)	กระเทียม (กรัม)	พริกไทย (กรัม)	ซอสถั่วเหลือง (กรัม)
0 (สูตรควบคุม)	500	100	0	20	15	30
10	500	100	50	20	15	30
20	500	100	100	20	15	30
30	500	100	150	20	15	30

หมายเหตุ: น้ำร้อนที่ใช้ในแต่ละสูตรปริมาณไม่เท่ากัน ใช้ในปริมาณที่ปั่นก้อนแป้งแต่ละสูตรได้

เนื้อปลาตาก แปะมันสำปะหลัง พริกไทย กระเทียม เกลือ และน้ำตาล



ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาตากเสริมก้างปลาทูผง

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ

นำข้าวเกรียบปลาตากเสริมแคลเซียมจาก ก้างปลาทูผงทั้ง 4 ชุดการทดลอง มาทอดด้วยน้ำมัน ปาล์ม ที่อุณหภูมิ 175-180 องศาเซลเซียส ประมาณ 5 วินาที สะเด็ดน้ำมัน และทำการตรวจสอบคุณภาพ ของผลิตภัณฑ์หลังทอดได้แก่

- วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) (Model 100 Analyzer, Perkin Elmer, Germany) โดยวิธี Flame technique

- การวิเคราะห์ค่าการพองตัวตัดแปลงจากวิธี ของ Nurul *et al.* (2010) โดยใส่เมล็ดงาลงในถ้วยแก้ว

ให้เต็มแล้วปาดให้เรียบเสมอกับขอบถ้วยแก้ว นำไปวัด ปริมาตรโดยใช้กระบอกตวง จากนั้นใส่แผ่นข้าว เกรียบก่อนทอดหรือหลังทอดลงในถ้วยตามด้วย เมล็ดงา ปาดปากถ้วยแก้วให้เรียบ แยกเอาแผ่นข้าว เกรียบออกแล้วนำเมล็ดงาไปวัดปริมาตรหาความต่าง ของปริมาตรเมล็ดงา จะได้ปริมาตรของข้าวเกรียบ คำนวณการพองตัวโดยนำปริมาตรของข้าวเกรียบ คำนวณการพองตัวโดยนำปริมาตรของข้าวเกรียบ หลังทอดหารด้วยปริมาตรของข้าวเกรียบก่อนทอด

- เนื้อสัมผัส (hardness) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ใช้หัววัดชนิด cylinder probe ระยะทางตัด 25 มิลลิเมตร ความเร็วของใบมีดขณะ ทดสอบ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที

- ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) โดยวิธี Kjeldahl โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม เติมน้ำเค็มละลาย 8 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร นำเข้าชุดย่อยโปรตีนจนกระทั่งสารละลายใสและปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้น

หยดอินดิเคเตอร์ลงไป 3-5 หยด ทำการกลั่นตัวอย่าง นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลจนสังเกตเป็นสีชมพูปรากฏขึ้น และคำนวณหาปริมาณโปรตีนดังนี้

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(V1 - V2) \times 0.1 \times 1.4007}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ $V1$ = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 $V2$ = ปริมาตรของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไตเตรท blank (มิลลิลิตร)

- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000) ด้วยวิธี Soxhlet เป็นการสกัดไขมันในตัวอย่างที่สกัดได้โดยตรงด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเธอร์ตามระยะเวลาที่กำหนดภายหลังการสกัด ทำการระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยการอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส และทำการชั่งน้ำหนักไขมันที่ได้

- ปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000) โดยวิธีการย่อยด้วยสารละลายกรดและด่าง นำส่วนที่เหลือจากการย่อยไปอบและเผา เพื่อหาส่วนที่หายไปหลังจากการเผา

- เถ้า (AOAC, 2000) โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ใส่ลงด้วยกระเบื้องเคลือบที่ผ่านการอบแห้ง จดน้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาในตะเกียงให้หมดควันจากนั้นไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาอบและปล่อยให้เย็นในโถแก้วดูความชื้น ชั่งน้ำหนักและอบซ้ำจนได้น้ำหนักที่แน่นอนและคงที่ ทำการคำนวณหาปริมาณเถ้า หน่วยเป็นร้อยละ โดยนำน้ำหนักที่หายไปหารด้วยน้ำหนักตัวอย่างคูณด้วย 100

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) อบตัวอย่างด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส นานประมาณ 3-5 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก

อบต่อจนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้น หน่วยเป็นร้อยละ โดยนำน้ำหนักที่หายไปหารด้วยน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้คูณด้วย 100

- คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000) หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้จาก 100 ลบด้วยผลผลรวมระหว่างปริมาณความชื้นปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเส้นใย และปริมาณเถ้า

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินค่าทางประสาทสัมผัสโดยวิธี 5 Point-Hedonic Scoring Test โดย 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 5 = ชอบมากที่สุด จำนวนผู้ทดสอบ 15 คน ผู้ที่ผ่านการฝึกฝนด้านการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสมาแล้ว ในด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบโดยรวม เพื่อทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาตุ๋นเสริมแคลเซียมจากก้างปลาดุกผงปริมาณที่เหมาะสมที่สุด และนำมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาที่ไม่ได้เสริมก้างปลาดุกผง

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

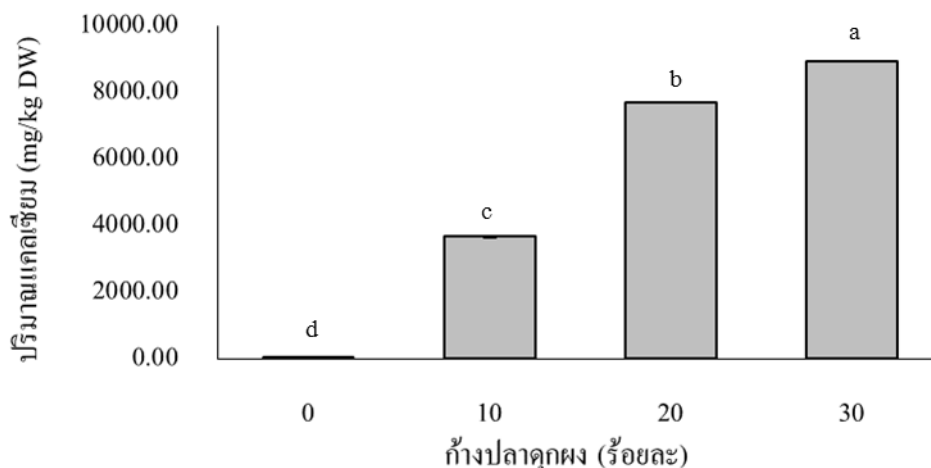
ของ ปริมาณแคลเซียม ค่าการพองตัว ปริมาณ ความชื้น และค่าเนื้อสัมผัส (hardness) และทำการ ใช้ การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยใช้ สถิติ Independent Sample (t-test) องค์ประกอบทาง เคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาตุ๋นเสริมแคลเซียม จากก้างปลาดุกผง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ปริมาณแคลเซียม และเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบ ปลาดุกเสริมก้างปลาดุกผง

เมื่อเพิ่มปริมาณก้างปลาดุกผงในข้าวเกรียบ ปลา ทำให้มีปริมาณแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ข้าว เกรียบปลาเสริมก้างปลาดุกผงเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2) พบว่า ข้าวเกรียบปลาที่ผสมก้างปลาดุกผงร้อยละ 30 มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด รองลงมาคือ ร้อยละ 20, ร้อยละ 10 และร้อยละ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ $8,930.00 \pm 0.01$, $7,700.00 \pm 0.01$, $3,653.00 \pm 0.01$ และ 58.50 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (mg/ kg DW) ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อเสริมก้างปลาดุกผงใน ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลา ปริมาณแคลเซียมที่ วิเคราะห์ได้ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Mahnaz *et al.* (2017) ที่เมื่อทำการเสริม ก้างปลาพูนามากขึ้นจะทำให้ปริมาณของแคลเซียม เพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่ก้างปลาดุกปริมาณที่มากขึ้นเรื่อยๆ

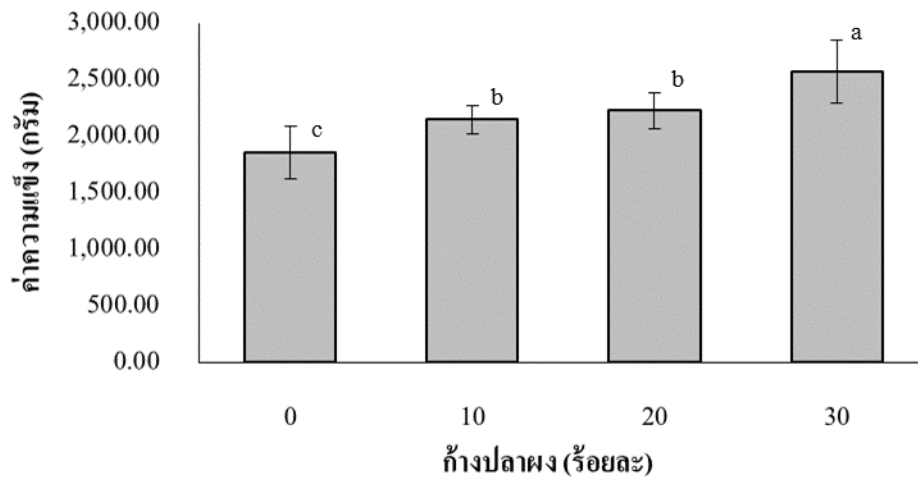
จะทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาแข็ง และกระด้างขึ้น จนไม่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งปริมาณ แคลเซียมที่ได้จากการวิจัยนี้มีปริมาณสูงกว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดกระเทียมพริกไทยดำ จากงานวิจัยของ Muninnopamas and Phalachai (2015) และผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบกุ้งเสริมเปลือกกุ้ง ของ Jaturapucharporn (2000) ซึ่งมีปริมาณแคลเซียม เท่ากับ 4,020.00 และ 542.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยปริมาณแคลเซียมที่เด็กอายุ 1-10 ขวบ ควรได้รับเท่ากับ 800-1,000 มิลลิกรัมต่อวัน วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ ควรได้รับเท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อวัน สตรีมีครรภ์และผู้ที่ไม่ให้นมบุตรควรได้รับอย่างน้อย 1,200 มิลลิกรัมต่อวัน และวัยสูงอายุควรได้รับ เท่ากับ 800-1,000 มิลลิกรัมต่อวัน (Panyakhamlerd *et al.*, 1997) ซึ่งแคลเซียมจะมีส่วนช่วยให้กระดูกและ ฟันแข็งแรง มีความสำคัญต่อกระบวนการแข็งตัวของ เม็ดเลือด ช่วยในการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) หลายชนิด การทำงานของระบบกล้ามเนื้อ การเดิน ตามปกติของหัวใจ การกระตุ้นให้เกิดการหลั่งของ ฮอร์โมน (hormone) ช่วยควบคุมระบบการเผาผลาญ (metabolism) หรือกระบวนการเผาผลาญพลังงาน ของร่างกาย สามารถทำให้ความดันโลหิตลดลง และ ช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคกระดูกพรุนได้ (Panyakhamlerd *et al.*, 1997)



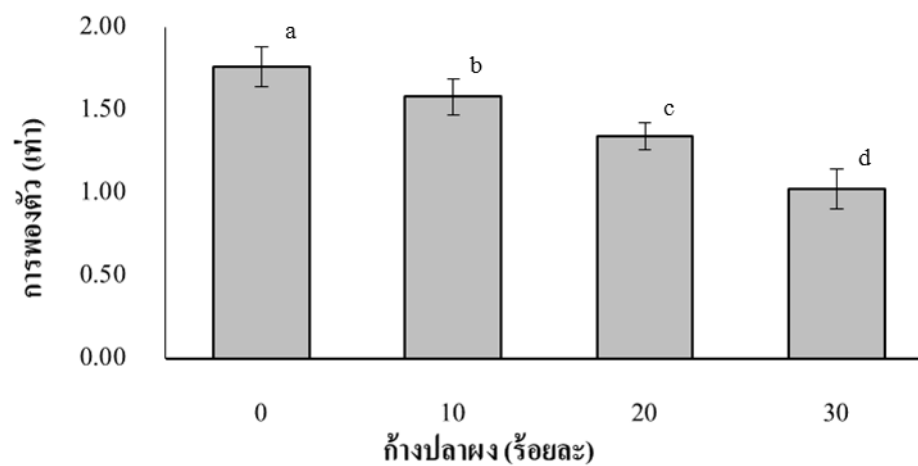
ภาพที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาตุ๋นเสริมก้างปลาตุ๋นในปริมาณที่แตกต่างกัน

เมื่อเพิ่มปริมาณก้างปลาตุ๋นในข้าวเกรียบปลา ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาเสริมก้างปลาตุ๋นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาเสริมก้างปลาตุ๋นแสดงดัง ภาพที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาเสริมก้างปลาตุ๋นร้อยละ 30 มีค่าความแข็ง (hardness) มากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รองลงมาคือ ร้อยละ 20, 10 และ 0 เท่ากับ $2,567.54 \pm 679.50$, $2,226.02 \pm 860.43$, $2,144.97 \pm 625.83$ และ $1,858.32 \pm 732.21$ กรัม ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มปริมาณก้างปลาตุ๋นทำให้ค่าความแข็งในลดลงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาที่ไม่ได้เสริมก้างปลาตุ๋น และจากการการศึกษการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาผสมก้างปลาตุ๋นในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาที่ไม่ได้เสริม

ก้างปลาตุ๋นมีการพองตัวมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รองลงมาคือ ร้อยละ 10, 20 และ 30 เท่ากับ 1.76 ± 0.42 , 1.58 ± 0.31 , 1.34 ± 0.58 และ 1.02 ± 0.62 เท่า ตามลำดับ (ภาพที่ 4) การใช้แป้งมันสำปะหลังปริมาณมากในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวที่ดี และส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์กรอบและเปราะง่าย (Tongdang *et al.*, 2008) ซึ่งในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาตุ๋นเมื่อทำการเสริมปริมาณก้างปลาตุ๋นมากขึ้น จะส่งผลต่อทำให้ความกรอบและการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ซึ่งเนื้อสัมผัสจะเปลี่ยนเป็นแข็งและร่วนแทน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huda *et al.* (2010) พบว่า เมื่อปริมาณเนื้อปลาในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเพิ่มขึ้น ทำให้การพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง



ภาพที่ 3 ค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาเสริมก้างปลาคูผงในปริมาณที่แตกต่างกันหลังทอด

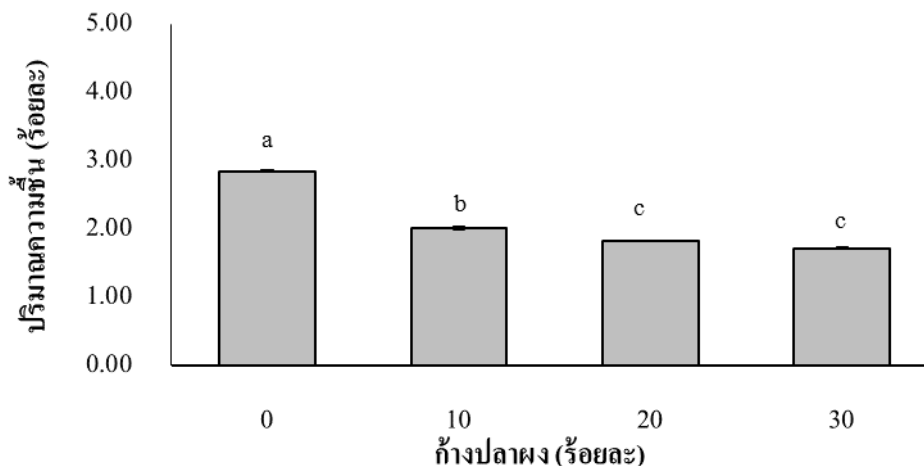


ภาพที่ 4 การพองตัวหลังทอดของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาเสริมก้างปลาคูผงในปริมาณที่แตกต่างกัน

ปริมาณความชื้นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาเสริมก้างปลาคูผงในปริมาณที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 5) พบว่าปริมาณความชื้นทั้ง 4 ชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยข้าวเกรียบปลาที่ไม่ได้เสริมก้างปลาคู (ผงร้อยละ 0) มีปริมาณความชื้นมากที่สุด รองลงมาคือร้อยละ 10, 20 และ 30 เท่ากับร้อยละ 2.84 ± 0.02 , 2.01 ± 0.03 , 1.82 ± 0.01 และ 1.71 ± 0.02 ตามลำดับ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบพร้อมบริโภคต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4.00 โดยน้ำหนักและปริมาณความชื้นของข้าวเกรียบดิบต้องไม่เกินร้อยละ 12 (Thai Community Product

Standards, 2011) ซึ่งผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแห้ง กรอบ พุ และเบา ถ้าความชื้นสูงจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่กรอบและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นของแผ่นข้าวเกรียบจะส่งผลต่ออัตราการพองตัว ถ้าปริมาณความชื้นมากอัตราการพองตัวก็จะต่ำ และข้าวเกรียบปลาเสริมก้างปลาคูผงมีปริมาณใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาจากงานวิจัยของ Sihamala (2002) มีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 2.60 เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาที่มีลักษณะแห้ง พุ และกรอบเบา ซึ่งหากผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงจะ

ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่กรอบ ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 5 ปริมาณความชื้นหลังทอดของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาเสริมก้างปลาคูผงในปริมาณที่แตกต่างกัน

2. การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาคูเสริมแคลเซียมจากก้างปลาคูผง

การศึกษาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาคูเสริมแคลเซียมจากปริมาณก้างปลาคูผงร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 พบว่าคะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบปลาที่ไม่ผสมก้างปลาคูผง (ร้อยละ 0) ได้คะแนนมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 รองลงมาคือร้อยละ 20, 10 และ 30 ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาที่ผสมก้างปลาคูผงร้อยละ 20 ได้คะแนนเฉลี่ยทางด้านสี กลิ่น ความกรอบ และความชอบรวม ไม่แตกต่างกับข้าวเกรียบปลาที่ไม่ผสมก้างปลาคูผง (ร้อยละ 0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ดังแสดงใน ตารางที่ 2) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่ผสมก้างปลาคูผงร้อยละ 20 มีสีเหลืองทอง มีกลิ่นหอมของเนื้อปลาและก้างปลาคู เนื้อสัมผัส

กรอบไม่แข็งและร่วนเกินไป ส่วนร้อยละ 30 มีจะมีลักษณะเนื้อแข็งไม่กรอบเนื่องจากมีความพองน้อย ซึ่งเมื่อทำการเพิ่มปริมาณก้างปลาคูจะส่งผลต่อกลิ่นรสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ ส่วนคุณลักษณะด้านสีของข้าวเกรียบปลาที่ผสมก้างปลาคูผงร้อยละ 0-30 นั้นผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (3.00-3.47 คะแนน) เนื่องจากสีของก้างปลาเป็นสีขาวขุ่นจึงมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยทางด้านสีน้อยไม่แตกต่างกัน และผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาคูเมื่อทำการเพิ่มปริมาณปลาคูผงลงไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่แข็งขึ้นจึงทำให้ความกรอบและการพองตัวของผลิตภัณฑ์ลดลงมีกลิ่นความมากขึ้น และทำให้รสชาติอ่อนลง ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาที่มีความกรอบและการพองตัวน้อยการยอมรับของผู้บริโภคก็จะน้อยตามไปด้วย (Nurul *et al.*, 2010)

ตารางที่ 2 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดที่ใส่ปริมาณก้างปลา
 ดูกองต่างกัน (N=15)

ก้างปลาผง (ร้อยละ)	คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส				
	สี ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	ความกรอบ	ความชอบรวม
0 (ชุดควบคุม)	3.13±1.06	3.70±0.96 ^a	3.60±0.99 ^a	3.73±0.80 ^a	3.87±0.92 ^a
10	3.00±0.76	2.73±0.94 ^b	2.80±1.06 ^b	3.33±1.01 ^{ab}	3.13±0.97 ^b
20	3.47±0.62	3.20±1.05 ^a	3.00±1.15 ^b	3.47±0.80 ^{ab}	3.40±0.8 ^{ab}
30	3.13±1.06	2.06±1.16 ^c	2.80±0.80 ^b	3.00±1.19 ^b	2.73±1.09 ^b

หมายเหตุ: ^{a, b, c, ...} ตัวอักษรภาษาอังกฤษแนวตั้ง คือมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

^{ns} ในแนวตั้ง คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลา ดูกเสริมแคลเซียมจากก้างปลาดูกอง

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและ
 ประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดูกเสริม
 แคลเซียมจากก้างปลาดูกองในปริมาณที่เหมาะสม
 ที่สุดพบว่า การเสริมปริมาณก้างปลาดูกองในปริมาณ
 ร้อยละ 20 เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงนำตัวอย่างนี้มาทำ
 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับ
 ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดูกที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม
 จากก้างปลาดูกอง (ดังแสดงใน ตารางที่ 3) พบว่า
 ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดูกที่ไม่ได้เสริมแคลเซียมมี
 ปริมาณโปรตีน ไขมัน เกลือ ความชื้น และคาร์โบไฮ
 เดรตมากกว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดูกเสริม
 แคลเซียมจากก้างปลาดูกองร้อยละ 20 ส่วนปริมาณ
 เถ้าพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดูกเสริมแคลเซียม
 จากก้างปลาดูกองร้อยละ 20 มากกว่าผลิตภัณฑ์ข้าว
 เกรียบปลาดูกที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม อย่างมีนัยสำคัญ
 ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยปริมาณ
 โปรตีนที่ได้มาจากเนื้อปลาที่มีการเติมเข้าไปใน
 ผลิตภัณฑ์ ส่วนปริมาณไขมันส่วนมากมาจากปริมาณ
 น้ำมันที่ใช้ในการทอดข้าวเกรียบ โดยในระหว่างการ
 ทอด ข้าวเกรียบจะขยายตัวขึ้น เกิดรูพรุนและทำให้

น้ำมันเข้าไปแทนที่ในช่องว่างและรูพรุนที่เกิดขึ้น
 (Sukjuntra, 2016; Guillaumin, 1988) และการเติม
 เนื้อปลาหรือก้างปลาลงไปผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ
 ปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้การพองตัวหรือขยายตัว
 ของข้าวเกรียบลดลง (Nurul *et al.*, 2010) ปริมาณเยื่อ
 ใยของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดูกเสริมก้างปลาผง
 ได้มาจากกระเทียมและพริกไทยซึ่งเป็นส่วนประกอบ
 ในผลิตภัณฑ์ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้มาจากแป้ง
 มันสำปะหลังเป็นหลัก ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณของ
 ก้างปลาดูกองร้อยละ 20 ทำให้ปริมาณเยื่อใยลดลง
 จากร้อยละ 2.60 เป็นร้อยละ 1.63 ตามลำดับ ส่วน
 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงจากร้อยละ 12.57 เป็น
 ร้อยละ 10.23 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้าได้มาจาก
 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบและปริมาณ
 ก้างปลาผงที่เสริมเข้าไปในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลา
 ดูกเสริมแคลเซียม ทำให้ปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์
 ข้าวเกรียบปลาดูกเสริมก้างปลาผงร้อยละ 20 มี
 ปริมาณมากกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาดูกที่ไม่ได้
 เสริมก้างปลาดูกอง เท่ากับ ร้อยละ 27.46 และ 18.94
 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ
 เชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดเสริมแคลเซียมจากก้างปลาสดผงต่อ 100 กรัม

ก้างปลาผง (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	ไขมัน (ร้อยละ)	เยื่อใย (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)
0 (control)	53.68±0.62	10.39±0.26	2.60±0.32	18.94±0.20	2.84	12.57±0.34
20	49.54±0.21	8.30±0.48	1.63±0.38	27.46±0.18	1.82±0.01	10.23±0.47
t-test	*	*	*	*	*	*

หมายเหตุ: * มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สรุป

เมื่อปริมาณก้างปลาสดเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าการพองตัวและปริมาณความชื้นลดลง ส่วนค่าความแข็งและปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น โดยผู้ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสให้คะแนนผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดเสริมก้างปลาสดผงร้อยละ 20 มากที่สุด และเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดที่เสริมแคลเซียมมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตมากกว่า ส่วนปริมาณเถ้าน้อยกว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดเสริมแคลเซียมจากก้างปลาสดผงร้อยละ 20 นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดเสริมก้างปลาสดผงที่ได้จากการวิจัยนี้มีจุดเด่นที่คือปริมาณแคลเซียมสูงและการลดปริมาณของเหลือทิ้งคือก้างปลา นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ทางเลือกให้กับผู้บริโภคและผู้ประกอบการในการผลิตอาหารให้สามารถนำไปต่อยอดได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ และขอขอบ พระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15th ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Guillaumin, R. 1988. Frying of food: principles, changes, new approaches. pp. 28-112. *In* Varela, G. Bender, A.E. and Morton, I.D., eds. **Kinetics of fat penetration in food**. VCH-Ellis Horwood, Chichester, England.
- Hemung, B. 2013. Properties of tilapia bone powder and its calcium bioavailability based on transglutaminase assay. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics** 3: 306-309.
- Huda, N., Leng, L.L., Yee, C.X. and Herpandi. 2010. Chemical composition, colour and linear expansion properties of Malaysian commercial fish cracker (keropok). **Asian Journal of Food and Agro-Industry** 3: 473-482.
- Jaturapucharporn, S. 2000. Using the shrimp wastes for supplementation of calcium in Kaou Greeap. Master of Science Program in Science Education, Kasetsart University. (in Thai).

- Lachmann, A. 1969. **Snack and fried product.** Noyes Data, New Jersey.
- Laksana, C. 2012. Use of selected natural calcium sources for calcium enrichment of crisp rice. **KKU Science Journal** 40(4): 1214-1224.
- Mahnaz, N., Huda, N. and Ariffin, F. 2017. Development of calcium supplement from fish bone wastes of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and characterization of nutritional quality. **International Food Research Journal** 24(6): 2419-2426.
- Muninnopamas, W. and Phalachai, P. 2015. Development on garlic black pepper flavoured palaw keropok. **RMUTSV Research Journal** 7(1): 15-27. (in Thai).
- Nurul, H., Ang, L.L., Chung, X.Y. and Herpandi. 2010. Chemical composition, colour and linear expansion properties of Malaysian commercial fish cracker (keropok). **Asia Journal of Food and Agro-Industry** 3(5): 473-482.
- Nurul, H., Boni, I. and Noryati, I. 2009. The effect of different ratios of Dory fish to tapioca flour on the linear expansion, oil absorption, colour and hardness of fish crackers. **International Food Research Journal** 16: 159-165.
- Panyakhamlerd, K., Chaikittisilpa, S., Taechakraichana, N. and Limpaphayom, K. 1997. Calcium and postmenopausal osteoporosis. **Chulalongkorn Medical Journal** 41(11): 845-859. (in Thai)
- Saah, N., Chedoloh, R. and Adair, A. 2015. Production and properties of fish crackers substituted with soybean meal. **Journal of Community Development and Life Quality** 3(3): 351-359.
- Sihamala, O. 2002. Impovment of nutritional quality and shelf-life of fish crispy. Master of Science Program in Science Education, Chiang Mai University. (in Thai).
- Sukjuntra, J. 2016. Development of traditional food from sago starch : frozen palaw keropok. **Burapha Science Journal** 21(2): 17-30. (in Thai)
- Suriya, P., Thamaragsa, N., Kaewtein, S., Pocarar, R. and Arkanit, K. 2011. Product development of Burma bean chip, pp. 276-283. *In Proceedings of the 2nd MJU-Phrae National Research Conference. (Vol. II).* Book of abstracts, Phrae. (in Thai)
- Thai Community Product Standards. 2011. **Crisy snack, Khaogriba.** Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry, Bangkok. (in Thai)
- Tongdang, T., Meenun, M. and Chainui, J. 2008. Effect of sago starch addition and steaming time on making cassava cracker (keropok). **Starch/Stärke** 60(10): 568-576.
- Zhu, K. and Prince, R. 2012. Calcium and bone. **Clinical Biochemistry** 45(12): 936-942.

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมสีผมโดยใช้สารสกัดธรรมชาติจาก ใบเทียนกิ่ง แก่นฝาง ดอกอัญชัน เปลือกมังคุด และกะหล่ำปลีแดง

Parameters Investigation of Hair Dyeing Using Natural Extract from Henna Leaves, Sappan Heartwood, Butterfly Pea Flowers, Mangosteen Husk and Red Cabbage

สุพัตรา รักษาพรต* กวินภพ เย็นแยม สุชาติพิทย์ กลั่นแดง วรยุทธ ชำปฏี

ปานศิริ ธรรมเกษตร สุพัตรา งอกงาม และ สุนิษา สุวรรณเจริญ

Supattra Raksaphort*, Kawinpob Yenyaem, Sutatib Gluntang, Worrayut Champati, Pansiri Tammakeson,

Suputra Ngongnam and Sunisa Suwancharoen

Received: 10 July 2020, Revised: 17 November 2020, Accepted: 8 December 2020

บทคัดย่อ

ปัจจุบันสีย้อมผมที่มีวางขายตามท้องตลาดทั่วไป มักจะมีสารเคมีที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง การแพ้ต่อผิวหนัง และสารก่อมะเร็งเป็นส่วนประกอบอยู่ ดังนั้น การนำสารสกัดธรรมชาติที่มีสีมาย้อมผมจึงได้รับความนิยมมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพของสารช่วยติดสีธรรมชาติที่ช่วยในการติดสีที่มีในธรรมชาติ ปัจจัยที่มีผลในการย้อมติดสีของเส้นผมฟอกขาวและผมขาวธรรมชาติ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสกัด และระยะเวลาในการย้อมผมรวมถึงความคงทนของการติดสีย้อมบนเส้นผม โดยใช้สารสกัดธรรมชาติจากสีของใบเทียนกิ่ง แก่นฝาง ดอกอัญชัน เปลือกมังคุด และกะหล่ำปลีแดง พบว่าสารช่วยติดสีที่ศึกษาไม่มีส่วนช่วยให้สีติดบนเส้นผมฟอกขาวได้เข้มข้น โดยความสามารถในการติดสีของเส้นผมจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการย้อมผมและความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสกัด สารสกัดจากแก่นฝางและใบเทียนกิ่งมีความคงทนในการติดสีบนเส้นผมฟอกขาวและผมขาวธรรมชาติได้ประมาณ 2 และ 1 เดือน ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากดอกอัญชัน กะหล่ำปลีแดง และเปลือกมังคุดมีความคงทนในการติดสีบนเส้นผมฟอกขาวได้ประมาณ 2 เดือน 1.5 เดือน และ 1 สัปดาห์ ตามลำดับ แต่ไม่สามารถย้อมสารสกัดนี้ให้ติดบนเส้นผมขาวธรรมชาติได้ เนื่องจากสภาพของเส้นผมมีผลต่อการย้อมติดสี โดยสภาพผมที่ดีการย้อมติดสีจะค่อนข้างยากกว่าสภาพผมแห้งและเสีย

คำสำคัญ: สีย้อมผม, สารช่วยติดสี, สารสกัดธรรมชาติ, การติดสี, ผมฟอก

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Tha chang, Muang, Chanthaburi 22000, Thailand.

* ผู้เขียนประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): supattra.r@rbru.ac.th Tel: 09 2964 4654

ABSTRACT

Nowadays, hair coloring products have been sold in local markets. Most of them normally contain synthetic chemicals which can cause irritation, skin allergy, and carcinogen. Therefore, using natural hair dyes has become increasingly popular. In this research, the effect of natural mordant on dyeing process, the initial concentration of natural extract, the dyeing time, and the color persistency were investigated. The natural extracts were obtained from henna leaves, sappan heartwood, butterfly pea flowers, mangosteen husk, and red cabbage. The results showed that color obtained from bleached hair dyeing was uncorrelated with the mordant. Hair color intensity increased with an increase in initial extract concentration and hair dyeing duration. Color persistency of hair dyed with sappan heartwood and henna leaves extracts were about 2 and 1 month(s) for bleached hair and natural grey hair, respectively. Moreover, color persistency of 2 months, 1.5 months, and a week on bleached hair were obtained from butterfly pea flower, red cabbage, and mangosteen husk, respectively. However, the natural grey hair was unable to be dyed with these extracts due to the hair type. Compared with dried and damaged hair, it was harder to dye strong hair.

Key words: hair dyeing, mordant, natural extracts, color persistency, grey hair

บทนำ

ผมสีขาว หรือ ผมสีเทา ที่เรามักเรียกกันว่า ผมหงอก เกิดจากการที่รากผมไม่สร้างเม็ดสี (Melanin Pigment) หรือสร้างน้อยลง ทำให้เส้นผมไม่มีสีหรือสีจางลง กลายเป็นเส้นผมสีขาว หรือสีเทา เมื่อมีการสะท้อนแสง (Chanthasart, 2013) การที่เส้นผมของคนมีสีต่างๆ นั้นเกิดจากเม็ดสี ซึ่งแหล่งกำเนิดของเม็ดสีอยู่ในเมลาโนไซท์ที่อยู่ในชั้นเมทริกซ์ของกระเปาะผมโดยจะสร้างเม็ดสีแล้วส่งออกไปที่ชั้นกลางของผม ทำให้เห็นเป็นสีขึ้น ซึ่งเม็ดสีมีอยู่ 2 ประเภท คือ ยูเมลานิน (Eumelanin) และฟีโอเมลานิน (Pheomelanin) โดยยูเมลานินจะทำให้ผมมีสีตั้งแต่สีน้ำตาลถึงดำ ส่วนฟีโอเมลานินจะทำให้ผมมีสีทอง สีแดง และสีเหลืองอมแดง สีของผมจะเป็นอย่างไร ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเม็ดสีทั้ง 2 ชนิด สีของเส้นผมนอกจากขึ้นกับชนิดของเม็ดสีแล้ว ยังขึ้นกับปริมาณ ขนาด รูปร่าง และการกระจายของเม็ดสีใน

ชั้นกลางของเส้นผมด้วย ความหลากหลายของสีผมเกิดจากพันธุกรรม ดังเห็นได้ชัดว่าคนที่ต่างเชื้อชาติกัน จะมีสีผมแตกต่างกัน (Rachawat, 2011) โดยทั่วไปเมื่อเราเริ่มมีอายุมากขึ้นจะมีผมขาวเพิ่มขึ้น และมักจะไม่น่ากลับมาเป็นสีดำอีก สำหรับบางคนมีปัญหาผมหงอกหรือผมขาวก่อนวัยอันควร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีภาวะผิดปกติในร่างกาย เช่น โรคระบบภูมิคุ้มกัน โรคโลหิตจางบางชนิด โรคไทรอยด์บางชนิด รวมถึงการสูบบุหรี่ เป็นต้น (Trüeb, 2009) ปัญหานี้สร้างความกังวลให้กับกลุ่มคนในช่วงวัยรุ่นและวัยหนุ่มสาวทั้งเพศชายและหญิงค่อนข้างมาก ปัจจุบันยังไม่มียา หรือ วิธีการรักษาผมขาวที่ได้ผลนอกจากใช้วิธีการย้อมผมซึ่งปัจจุบันมีผู้คนมากมายที่นิยมเปลี่ยนสีผมเพื่อปกปิดผมขาว เพื่อให้เกิดความสวยงามและสร้างความมั่นใจให้กับตนเอง โดยผลิตภัณฑ์ย้อมสีผมที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปมักจะเป็นสารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งบางชนิดจะมี

พาราฟีนีลีนไดเอมีน (Paraphenylenediamine) และ สาร 4-อะมิโนไบฟีนีล (4-aminobiphenyl) เป็น ส่วนผสมอยู่ ซึ่งมีรายงานว่า เป็นสารก่อมะเร็งใน มนุษย์ ทั้งอาจทำให้เกิดการระคายเคือง และการแพ้ ต่อผิวหนังอีกด้วย (Zhang *et al.*, 2012) ในประเทศ เยอรมนีได้ประกาศห้ามใช้สารชนิดนี้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ย้อมสีผมทุกชนิด แต่บางประเทศในยุโรป และสหรัฐอเมริกา ยังอนุญาตให้ใช้สารชนิดนี้ภายใต้ การควบคุมอย่างเข้มงวด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีผู้คน มากมายหันมานิยมและสนใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ทาง ธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความปลอดภัยต่อ ร่างกายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการ ใช้ ผลิตภัณฑ์ย้อมสีผมจากสารสกัดธรรมชาติแทนการใช้ สีสังเคราะห์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พืชที่ให้สีตาม ธรรมชาติมาใช้เป็นสีย้อมผม ได้แก่ สีย้อมจากใบ เทียนกิ่ง แก่นฝาง ดอกอัญชัน เปลือกมังคุด และ กะหล่ำปลีแดง ซึ่งพืชเหล่านี้เป็นพืชที่สามารถ เจริญเติบโตและหาได้ง่ายในประเทศไทย

เทียนกิ่งหรือเทียนย้อมหรือเฮนน่า (Henna) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lawsonia inermis* L. อยู่ใน วงศ์ LYTHRACEAE ส่วนของใบมีสารแอนทราควิ โนน ไกลโคไซด์ (Anthraquinone Glycosides) มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อหนอง มีสารที่มีฤทธิ์ฝาดสมานในกลุ่ม แทนนิน (Tannins) แก้โรคท้องร่วง นอกจากนี้ใบ เทียนกิ่งนำมาใช้เป็นสีย้อมผม เครา และเล็บ ให้มีสี น้ำตาลเข้มออกแดง (Badoni *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2015) ซึ่งสารตัวสำคัญที่ทำให้เกิดสีในใบ เทียนกิ่ง คือ ลอว์โซน (Lawson) หรือ 2-ไฮดรอกซี-1,4-แนฟโทควิโนน (2-hydroxy-1,4-naphthoquinone) พบมากในใบของเทียนกิ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน ละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ และการ ย้อมสีผมด้วยใบเทียนกิ่งสดโดยใช้น้ำร้อนเป็นตัวทำ ละลายให้ประสิทธิภาพในการติดสีและมีความคงทน มากที่สุด (Nutmakul *et al.*, 2019) นอกจากนี้เทียนกิ่ง

แล้วยังมีสีจากพืชชนิดอื่นที่สามารถนำมาย้อมผม เพื่อให้ได้เฉดสีที่แตกต่างออกไป เช่น ฝาง (Sappan Heart Wood) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Caesalpinia sappan* L. อยู่ในวงศ์ CAESALPINIACEAE ฝางมี แก่นสีแดงเข้ม เรียกว่า ฝางเสน อีกชนิดหนึ่งแก่นสี เหลือง เรียกว่า ฝางส้ม เมื่อนำแก่นฝางมาต้มในน้ำจะ ให้สีแดงเข้มคล้ายคางคก โดยมีสารสำคัญคือ แซพ ปานิน (Sappanin) และบราซิลิน (Brazilin) สารนี้ ละลายน้ำได้ นิยมนำมาย้อมสีผ้าไหม ผ้าฝ้าย และผ้า ขนสัตว์ ใช้แต่งสีอาหาร ทำน้ำยาอูทัย เป็นต้น (Plant Genetic Conservation Project Under The Royal initiative of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn, n.d.) จากการศึกษาความเป็นพิษ ของสารสกัดน้ำจากเปลือกต้นของฝางในหนู โดยให้ หนูกินสารสกัดที่ระดับ 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นาน 28 วัน ไม่พบความผิดปกติของไต ตับ และช่อง ท้องของหนูเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แสดงให้ เห็นว่าสารสกัดมีความปลอดภัยในการเป็นสีย้อม (Athinarayanana *et al.*, 2017) นอกจากนี้ยังพบว่าเจ ลย้อมผมแบบกึ่งถาวรที่มีสารสกัด เอทานอลของ แก่นฝางที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5-10.5 สามารถย้อม ติดสีได้ตั้งแต่สีแดง น้ำตาล จนถึงน้ำตาลดำ (Indrawati *et al.*, 2017) มังคุด (Mangosteen) ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Garcinia mangostana* L. อยู่ในวงศ์ CLUSIACEAE (GUTTIFERAE) เปลือกของมังคุดด้านนอกที่เป็น เนื้อแข็งสีม่วง มีสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ส่วน เปลือกด้านในที่มีลักษณะนุ่มกว่า มีสีชมพูอมม่วง มี สารประกอบกลุ่มฟีนอลิก (Phenolic Compounds) หรือสารกลุ่มแทนนินอยู่มาก ซึ่งแทนนินมีฤทธิ์ฝาด สมาน ทำให้แผลหายเร็ว และสารแมงโกสติน (Mangostin) มีฤทธิ์ช่วยลดอาการอักเสบและต้านเชื้อ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดหนองได้ดี (Rodphothong, 1997; Palakajornsak, 2004; Chaowanalikhit and

Itthisoponkul, 2011) สารสกัดน้ำจากเปลือกสดของผลมังคุดสามารถใช้ในการย้อมสีผ้าฝ้ายได้ซึ่งเจดสีจะขึ้นอยู่กับสารช่วยยิดติดที่ใช้ (Kusumawati *et al.*, 2017) นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถใช้ในการแต่งสีลิปสติกได้ โดยพบว่าอัตราส่วนร้อยละ 20 จะให้สีและคุณสมบัติของลิปสติกที่ดี (Mustarichie and Gozali, 2019) กะหล่ำปลีแดง หรือกะหล่ำปลีม่วง (Red Cabbage) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. อยู่ในวงศ์ BRASSICACEAE (CRUCIFERAE) เป็นพืชล้มลุก หัวห่อหุ้มกลมนแน่นมีสีแดง สีม่วงแก่หรืออ่อน สีแดงทับทิม ตามสายพันธุ์มีสารแอนโทไซยานินมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน ป้องกันมะเร็งหลายชนิด ด้านไวรัสได้ (Vichakaset, 2016) สารสกัดน้ำของกะหล่ำปลีแดงมีสารแอนโทไซยานินสูงจึงใช้เป็นสีย้อมธรรมชาติที่สามารถย้อมขนสัตว์และไหมได้ อีกทั้งสามารถย่อยสลายได้จึงไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการติดสีจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของกะหล่ำปลีแดงและน้ำ pH ของสารสกัด และอุณหภูมิในการย้อม (Haddar *et al.*, 2018) ดอกอัญชัน (Butterfly Pea Flower) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Clitoria ternatea* L. อยู่ในวงศ์ FABACEAE (LEGUMINOSAE) เป็นทั้งดอกไม้และสมุนไพรไทย ดอกสีขาว ฟ้ำ และม่วง มีสารแอนโทไซยานิน ซึ่งช่วยกระตุ้นการไหลเวียนของโลหิตทำให้เลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ได้ดีขึ้น ช่วยทำให้ผมดกดำเงางาม ช่วยแก้อาการเหน็บชา และช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดเส้นเลือดอุดตันได้ เป็นต้น (Wikipedia The Free Encyclopedia, 2019) สารสกัดน้ำของดอกอัญชันสามารถใช้ในการย้อมผ้าไหมได้โดยมีกรด ซิตริกที่สกัดจากเลมอนช่วยในการติดสี (Taif *et al.*, 2017) พืชที่ให้สีจากธรรมชาติเหล่านี้ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ย้อมสีผสมชนิดชั่วคราว ซึ่งสีย้อมผสมจะไม่ทำลายโครงสร้างของเส้นผม เนื่องจาก สีย้อมจะเคลือบ

เฉพาะผิวนอกของเส้นผมเท่านั้น (Sangchan, 1989) แต่ก็ทำให้การติดสีไม่คงทน ถูกชะล้างออกได้ง่าย

ในการย้อมสีธรรมชาติมักจะมีการติดสีได้ยากจึงมีการนำสารช่วยติดสี (Mordant) มาช่วยในกระบวนการย้อมเพื่อช่วยเชื่อมประสานระหว่างพื้นผิวและสีย้อมให้เกิดการยิดติดของสีได้มากขึ้น สารช่วยติดสีในธรรมชาติที่นิยมใช้คือสารส้ม (Alum) และสารในกลุ่มแทนนิน (Prabhu and Bhute, 2012) ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการนำสารช่วยติดสีมาช่วยให้สีย้อมสามารถเกาะติดบนเส้นผมได้มากขึ้น โดยพบว่าภูมิปัญญาชาวบ้านมีการนำไข่แดงผสมกับน้ำมะนาว ข้าวสารเหนียวผสมกับน้ำมะนาว และสุราขาว มาใช้ผสมกับใบเทียนกิ่งเพื่อช่วยให้ติดสีในการย้อมปิด ผมขาวธรรมชาติ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของสารช่วยติดสีจากธรรมชาติที่ช่วยในการติดสีย้อมบนเส้นผม ปัจจัยที่มีผลในการย้อมติดสีของเส้นผมฟอกขาวและผมขาวธรรมชาติ รวมถึงความคงทนของการติดสีย้อมบนเส้นผม โดยใช้สารสกัดธรรมชาติจากสีของใบเทียนกิ่ง แก่นฝาง เปลือกมังคุด กะหล่ำปลีแดง และดอกอัญชัน เพื่อให้ได้สีย้อมผสมจากสารสกัดธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้แก่ผู้ที่สนใจหรือผู้ที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งยังสามารถลดการใช้สารเคมี เพิ่มมูลค่าให้แก่สารสกัดธรรมชาติ และสามารถนำไปต่อยอดเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ย้อมสีผมได้ในอนาคต

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างเส้นผม

นำตัวอย่างเส้นผมดำธรรมชาติมาฟอกขาวด้วยน้ำยาฟอกผมขาว (Developer Liquids, Carebeau Fantasy, Commercial Grade) และนำตัวอย่างเส้นผมขาวธรรมชาติ มาล้างให้สะอาดด้วยแชมพูและน้ำ

สะอาด จากนั้นเป่าให้แห้ง และนำเส้นผมมามัดเป็นปอยมัดละ 0.50 กรัม เก็บไว้ในที่แห้ง

2. การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

2.1 นำใบเทียนกิ่งสดที่เก็บจากอำเภอเมืองจังหวัดตราด มาล้างให้สะอาด ผึ่งให้แห้งและอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, Memmert, D 06061, Germany) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง บดให้ละเอียด แล้วนำไปสกัดด้วยน้ำร้อนโดยเทน้ำร้อนพอท่วมสมุนไพรในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อผงใบเทียนกิ่งแห้ง 87.5:12.5 กรัมต่อกรัม (H1) คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที และพักสารทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นเปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อผงใบเทียนกิ่งแห้งเป็น 93.75:6.25 (H2) และ 96.875:3.125 (H3) กรัมต่อกรัม ตามลำดับ

2.2 นำตัวอย่างแก่นฝางจากสถานีวิจัยเขาสอยดาว ตำบลทับไทร อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี มาล้างให้สะอาด ผึ่งให้แห้งและอบในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, Memmert, D 06061, Germany) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผ่าเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปสกัดด้วยน้ำร้อนโดยเทน้ำร้อนพอท่วมสมุนไพรในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อแก่นฝางแห้ง 80:20 กรัมต่อกรัม (S1) ต้มเคี่ยวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นเปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อแก่นฝางแห้งเป็น 90:10 (S2) และ 95:5 (S3) กรัมต่อกรัม ตามลำดับ

2.3 นำเปลือกมังคุดเฉพาะเปลือกด้านในที่เก็บจากอำเภอมะขาม จังหวัดจันทบุรี มาสกัดด้วยวิธีการเดียวกันกับใบเทียนกิ่ง โดยเทน้ำร้อนพอท่วมสมุนไพรในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อผงเปลือกมังคุดแห้ง 75:25 กรัมต่อกรัม (M1) คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที และพักสารทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นเปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อผงเปลือกมังคุดแห้งเป็น 81.25:18.75 (M2) และ 87.5:12.5 (M3) กรัมต่อกรัม ตามลำดับ

2.4 นำกะหล่ำปลีแดงที่ซื้อจากตลาดเจริญสุข อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี มาสกัดด้วยวิธีการเดียวกันกับใบเทียนกิ่ง โดยเทน้ำร้อนพอท่วมสมุนไพรในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อผงกะหล่ำปลีแดงแห้ง 75:25 กรัมต่อกรัม (C1) คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที และพักสารทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นเปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อผงกะหล่ำปลีแดงแห้งเป็น 87.5:12.5 (C2) และ 93.75:6.25 (C3) กรัมต่อกรัม ตามลำดับ

2.5 นำดอกอัญชันที่เก็บจากอำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี มาสกัดด้วยวิธีการเดียวกันกับใบเทียนกิ่งโดยเทน้ำร้อนพอท่วมสมุนไพรในอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อผงดอกอัญชันแห้ง 81.25:18.75 กรัมต่อกรัม (B1) คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที และพักสารทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นเปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำร้อนต่อผงดอกอัญชันแห้งเป็น 84.375:15.625 (B2) และ 87.5:12.5 (B3) กรัมต่อกรัม ตามลำดับ

3. การศึกษาประสิทธิภาพของสารช่วยติดสีสำหรับสารสกัดใบเทียนกิ่ง

การทดสอบประสิทธิภาพของสารช่วยติดสีเพื่อช่วยให้สารที่มีสีในพืชย้อมติดสีบนเส้นผมมากขึ้น โดยทดสอบกับสารสกัดใบเทียนกิ่งเพียงชนิดเดียว สารช่วยติดสีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ซึ่งนำมาจากการใช้ตามภูมิปัญญาชาวบ้าน ได้แก่ ไข่แดงของไข่ไก่เบอร์ 0 ผสมกับน้ำมะนาวพันธุ์ทะวาย 4 มิลลิลิตร ข้าวสารเหนียว 12 กรัมผสมกับน้ำมะนาวพันธุ์ทะวาย 4 มิลลิลิตร และสุราขาว 40 ดีกรีตรารวข้าว โดยนำปอยผมฟอกขาวแช่ในสารผสมของสารสกัดใบเทียนกิ่งที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุด (H1) เพียงความเข้มข้นเดียว ที่อัตราส่วนของสารสกัดใบเทียนกิ่ง:สารช่วยติดสี:ผมฟอกขาว เท่ากับ 60:16:1 โดยมวล แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยทำการกวาดเป็นระยะ จากนั้นนำปอยผม

มาล้างด้วยแชมพูและน้ำสะอาด เป่าให้แห้งและนำไปวัดค่าความเข้มสี RGB ด้วย แอปพลิเคชัน พิกเชล พิกเกอร์ (Pixel Picker Application) บันทึกค่า และคำนวณค่าการดูดกลืนแสง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีผสมกับปอยผสมชุดควบคุมที่ไม่มีสารช่วยติดสี

สามารถคำนวณค่าความเข้มสี RGB เฉลี่ยได้จากสมการ (1)

$$\overline{X_{RGB}} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (1)$$

เมื่อ $\overline{X_{RGB}}$ คือ ค่าความเข้มสี RGB เฉลี่ย X_i คือ ค่าความเข้มสีของ R, G และ B ส่วน N คือ จำนวนข้อมูล

จากค่าความเข้มสี RGB เฉลี่ยสามารถคำนวณเป็นค่าการดูดกลืนแสงได้ดังสมการ (2)

$$A = \log \frac{I_0}{I} \quad (2)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) I_0 และ I คือ ความเข้มสี RGB เฉลี่ยก่อนและหลังการย้อมสารสกัดสี ตามลำดับ

4. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมติดสีของสารสกัดธรรมชาติ

การศึกษปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมติดสีของสารสกัดธรรมชาติบนเส้นผมฟอกขาวและผมขาวธรรมชาติ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสกัด และระยะเวลาในการย้อมผม โดยนำปอยผสมฟอกขาวแช่ในสารสกัดธรรมชาติ แต่ละชนิดได้แก่ สารสกัดจากใบเทียนกิ่ง แก่นฝาง ดอกอัญชัน เปลือกมังคุด และกะหล่ำปลีแดงที่อัตราส่วนของ สารสกัด:ผมฟอกขาว เท่ากับ 60:1 โดยมวล ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยทำการกวนเป็นระยะ จากนั้นนำปอยผสมมาล้างด้วยแชมพูและน้ำสะอาด เป่าให้แห้งและนำไปวัดค่าความเข้มสี RGB ด้วยแอปพลิเคชัน พิกเชล พิกเกอร์ บันทึกค่า และ

คำนวณค่าการดูดกลืนแสง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสีผสมกับปอยผสมฟอกขาวกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ย้อมสี

จากนั้นศึกษาสภาพของเส้นผมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการย้อมติดสี โดยเลือกความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสกัด และระยะเวลาที่ย้อมติดสีผมฟอกขาวดีที่สุดของสารสกัดแต่ละชนิดมาย้อมกับเส้นผมขาวธรรมชาติ เปรียบเทียบความแตกต่างของสีผสมกับปอยผสมฟอกขาวกลุ่มควบคุมที่ย้อมด้วยสถานะเดียวกัน

5. การศึกษาความคงทนของการติดสี

การศึกษาความคงทนของการติดสี โดยนำปอยผสมฟอกขาวและผมขาวธรรมชาติที่ย้อมติดสีเข้มมากที่สุดในแต่ละชนิดของสารสกัดมาชำระล้างด้วยแชมพูและน้ำสะอาด เป่าให้แห้งและนำไปวัดค่าความเข้มสี RGB ด้วย แอปพลิเคชัน พิกเชล พิกเกอร์ บันทึกค่า และคำนวณค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นล้างซ้ำด้วยแชมพูและน้ำสะอาดนับเป็นจำนวนครั้งของการล้าง บันทึกความเข้มสีทุกรอบจนกว่าสีที่ย้อมบนเส้นผมจะหลุดออกจนหมด โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของสีผสมกับปอยผสมกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ย้อมสี

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

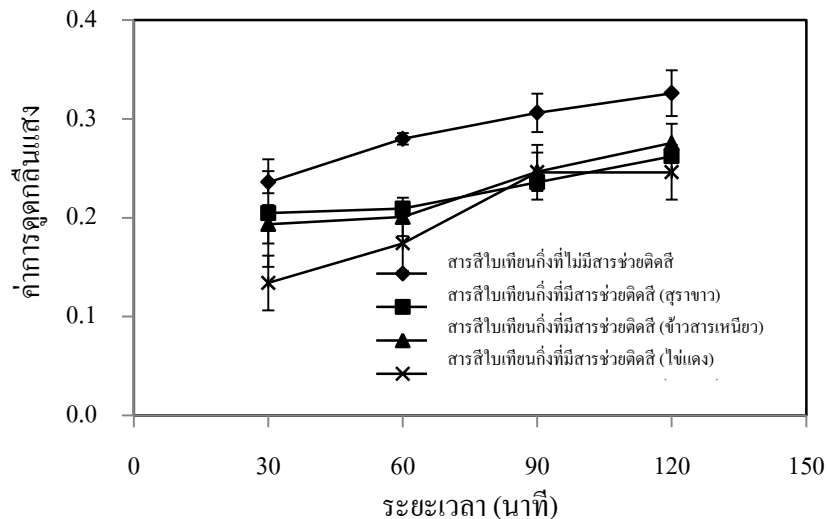
1. ประสิทธิภาพของสารช่วยติดสีสำหรับสารสกัดใบเทียนกิ่ง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารช่วยติดสีเพื่อช่วยเพิ่มการติดสีย้อมบนเส้นผมให้มากขึ้น โดยทดสอบกับสารสกัดใบเทียนกิ่งเพียงชนิดเดียว บนเส้นผมฟอกขาว ตัวแปรสามที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ได้แก่ ไข่แดงของไข่ไก่เบอร์ 0 ผสมกับน้ำมันาวพันธุ์ทะวาย 4 มิลลิลิตร ข้าวสารเหนียว 12 กรัมบดผสมกับน้ำมันาวพันธุ์ทะวาย 4 มิลลิลิตร

และสุรขาว 40 ดีกรี ตรารวงข้าว ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้

เมื่อนำสารสกัดจากใบเทียนกิ่งที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุด (H1) ผสมกับตัวประสานแต่ละชนิด และย้อมลงบนเส้นผมฟอกขาวด้วยอัตราส่วนสารสกัดใบเทียนกิ่ง:สารช่วยติดสี:ผมฟอกขาวเท่ากับ 60:16:1 โดยมวล แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที พบว่า เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าเส้นผมที่ย้อมด้วยสารสกัดใบเทียนกิ่งที่มีสารช่วยติดสีมีสีจางกว่าผมที่ย้อมด้วยสารสกัดใบเทียนกิ่งโดยไม่มีสารช่วยติดสี เมื่อนำเส้นผมมาวัดค่าความเข้มสี RGB ผ่านแอปพลิเคชัน พิกเซล พิกเกอร์ และคำนวณเป็นค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังภาพที่ 1 ซึ่งพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารสีใบเทียนกิ่งบนเส้นผมฟอกขาวที่ไม่มีสารช่วยติดสีมีค่าสูงสุดตลอดเวลา รองลงมาคือสารสีใบเทียนกิ่งบนเส้นผมฟอกขาวที่มีสุรขาว 40 ดีกรี ตรารวงข้าว และสารผสมระหว่างข้าวสารเหนียวผสมกับน้ำมะนาวพันธุ์ทะวายเป็นสารช่วยติดสี ให้ค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน ส่วนค่าการดูดกลืนแสงของสารสีใบเทียนกิ่งบนเส้นผมฟอกขาวที่มีไข่แดงของไข่ไก่เบอร์ 0 ผสมกับน้ำมะนาวพันธุ์ทะวายเป็นสารช่วยติดสีมีค่าต่ำสุด โดยค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการย้อมเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในใบเทียนกิ่งสดตามธรรมชาติจะพบสารลอว์โซน (Gallo *et al.*, 2014) ซึ่งเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นด่างจะให้สีแดง และเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นกรดจะให้สีเหลือง (Joshi *et al.*, 1977) ซึ่งสารช่วยติดสีที่ใช้มีส่วนผสมที่เป็นน้ำมะนาวและสุรขาว 40 ดีกรี ซึ่งมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ จึงทำให้สารสกัดใบเทียนกิ่งมีสีอ่อนลง รวมถึงสภาพความเป็นกรดยังช่วยรักษาสมดุลของเส้นผม ทำให้เส้นผมมีความลื่น (Somsup, 2017) ส่งผลให้ความเข้มข้นเส้นผมลดลง และนอกจากนี้พบว่าโดยปกติสารช่วยติดสีที่มีประสิทธิภาพดีมักจะเป็็นสารที่สามารถทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของไอออนโลหะระหว่างหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวกับสีย้อมได้จึงจะช่วยยึดติดได้แข็งแรงมากขึ้น เช่น สารส้ยม (Prabhu and Bhute, 2012) ซึ่งสารช่วยยัดติดที่นำมาใช้ในการศึกษานี้อาจไม่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นได้ จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าสารช่วยติดสีตามภูมิปัญญาชาวบ้านที่เลือกมาศึกษาสำหรับการย้อมสีผมฟอกขาวของสารสกัดใบเทียนกิ่งไม่มีส่วนช่วยให้สีติดบนเส้นผมฟอกขาวได้เข้มข้น จึงไม่ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารสกัดชนิดอื่น



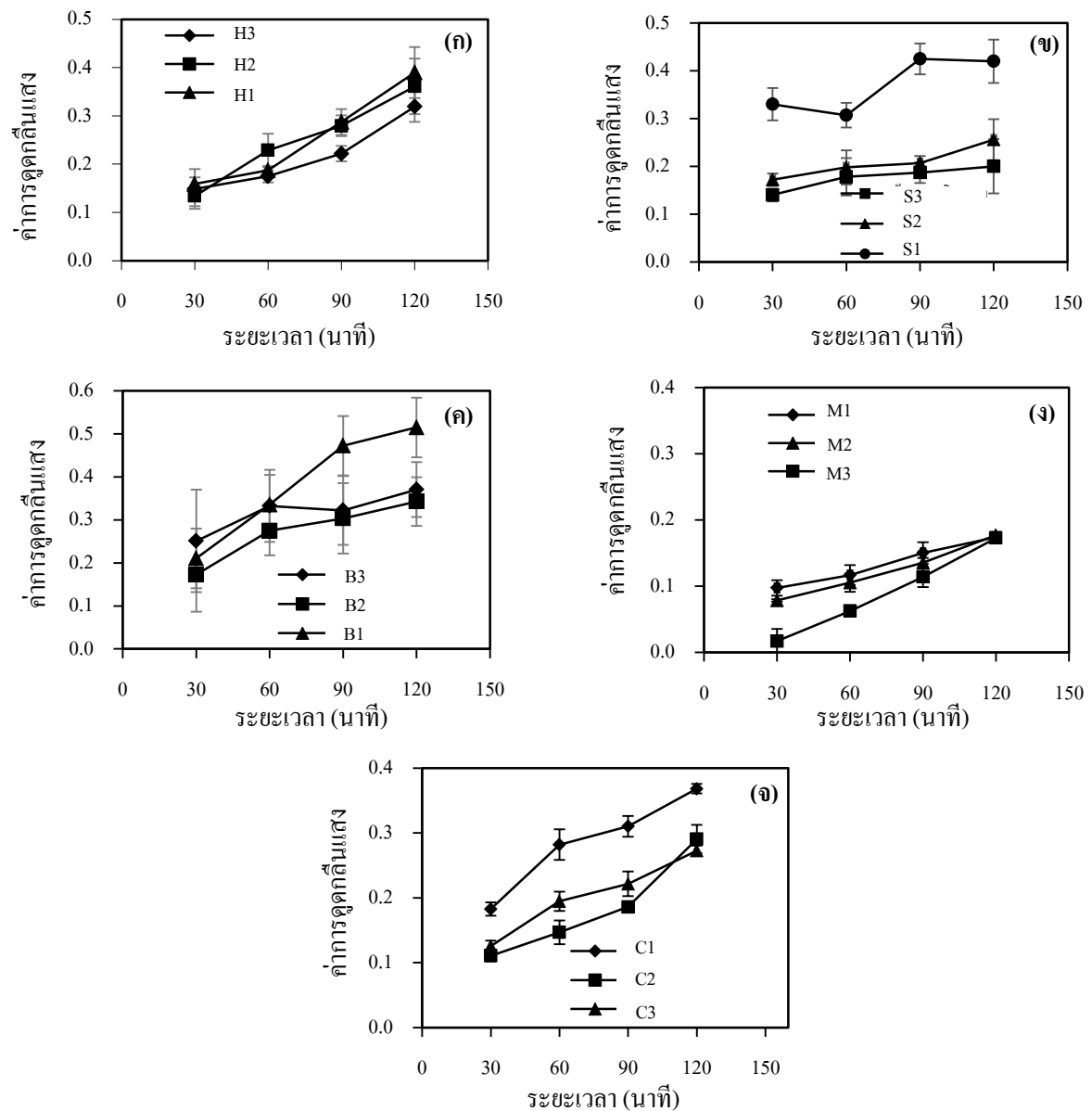
ภาพที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงการย้อมติดสีบนเส้นผมของสารสกัดใบเทียนกิ่งทั้งที่มีและไม่มีสารช่วยติดสี ที่เวลาต่างๆ

2. ปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมติดสีของสารสกัดธรรมชาติ

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมติดสีของสารสกัดธรรมชาติจากใบเทียนกิ่ง แก่นฝาง ดอกอัญชัน เปลือกมังคุด และกะหล่ำปลีแดง ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสกัดชนิดต่างๆ ระยะเวลาในการย้อมสีผม และสภาพเส้นผมทั้งเส้นผมที่ผ่านการฟอกขาว และเส้นผมขาวธรรมชาติ ซึ่งพบว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความเข้มของสีผมดังนี้

การย้อมติดสีของสารสกัดใบเทียนกิ่ง แก่นฝาง ดอกอัญชัน เปลือกมังคุด และกะหล่ำปลีแดงบนเส้นผมฟอกขาว แสดงค่าการดูดกลืนแสง ดังภาพที่ 2 (ก)-(จ) ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นและระยะเวลาเพิ่มขึ้น พบว่า ความเข้มสีบนเส้นผมฟอกขาวแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัดและระยะเวลาในการย้อมผม โดยเส้นผมฟอกขาวสามารถย้อมติดสีสารสกัดแต่ละชนิดได้เข้มที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุดของสารสกัดใบเทียนกิ่ง (H1) แก่นฝาง (S1) ดอกอัญชัน (B1) เปลือกมังคุด

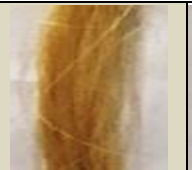
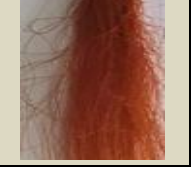
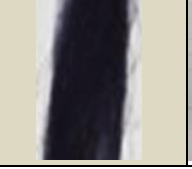
(M1) และกะหล่ำปลีแดง (C1) ที่ระยะเวลาสูงสุดในการย้อมผม 120 นาทีเท่ากัน ซึ่งการติดสีบนเส้นผมฟอกขาวของสารสกัดดอกอัญชัน (B1) ให้ค่าการดูดกลืนแสงเข้มที่สุด รองลงมาคือ แก่นฝาง (S1) ใบเทียนกิ่ง (H1) กะหล่ำปลีแดง (C1) และเปลือกมังคุด (M1) ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มความสามารถในการดูดซับสารสกัดติดไว้บนเส้นผมจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สีผมจึงเข้มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวถูกดูดซับเป็นการเพิ่มเนื้อสารให้มาเกาะติดบนผิวของเส้นผม ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับเพิ่มขึ้น (Kajitvichyanukul *et al.*, 2014) หากความเข้มข้นต่ำเกินไป หรือ มีปริมาณสารสกัดน้อย จะทำให้เกิดการติดสีไม่สม่ำเสมอ (Sangarunlert, 2014) และการเพิ่มเวลาในการย้อมสีผมจะเป็นการเพิ่มโอกาสให้เนื้อสารสกัดสีเกาะติดบนผิวเส้นผมเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nutmakul *et al.* (2019)



ภาพที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงการย้อมติดสีบนเส้นผมฟอกขาวของสารสกัด (ก) ใบเทียนกิ่ง (ข) แก่นฝาง (ค) ดอกอัญชัน (ง) เปลือกมังคุด และ (จ) กระหล่ำปลีแดง ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ

เมื่อนำภาพเส้นผมฟอกขาวที่ผ่านการย้อมติดสีด้วยสารสกัดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุดเป็นเวลา 120 นาทีเท่ากัน เทียบกับเส้นผมก่อนการย้อม (กลุ่มควบคุม) แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งการติดสีของสารสกัดเปลือกมังคุดบนเส้นผมฟอกขาวมีความเข้ม

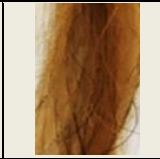
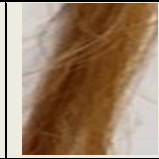
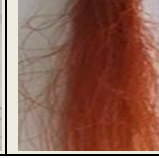
สีต่ำมากเมื่อเทียบกับสารสกัดชนิดอื่นๆ และให้สีที่ใกล้เคียงกับเส้นผมฟอกขาวก่อนการย้อม เนื่องจากสีของสารสกัดเปลือกมังคุดที่ได้ให้สีที่ใกล้เคียงกับสีของเส้นผมฟอกขาวก่อนการย้อม

	ใบเตียนกิ่ง	แก่นฝาง	ดอกอัญชัน	เปลือกมังคุด	กะหล่ำปลีแดง
กลุ่มควบคุม (ก่อนการย้อม)					
ความเข้มข้น เริ่มต้นสูงสุด เวลา 120 นาที					

ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบสีของเส้นผมฟอกขาวที่ผ่านการย้อมสีด้วยสารสกัดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุดเป็นเวลา 120 นาที

จากนั้นนำเส้นผมขาวธรรมชาติมาย้อมสีของสารสกัดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุดของสารสกัด แต่ละชนิด เป็นเวลา 120 นาทีเท่ากันพบว่า เส้นผมที่ผ่านการฟอกขาวสามารถย้อมติดสีจากสารสกัดแต่ละชนิดได้ดีกว่าเส้นผมขาวธรรมชาติทำให้สารสกัดจากดอกอัญชัน เปลือกมังคุด และกะหล่ำปลีแดงไม่สามารถย้อมติดสีบนเส้นผมขาวธรรมชาติได้แสดงดังภาพที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากเส้นผมที่ผ่านการฟอกขาวถูกทำให้มีสีขาวได้โดยใช้สารเคมี

คือ น้ำยาฟอกผม ซึ่งสารเคมีที่อยู่ในน้ำยาฟอกผมเหล่านี้ จะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อของเส้นผม ทำให้เส้นผมเกิดรูพรุน เพราะบาง มีรอยแตกหัก และมีสภาพเส้นผมที่หยابกร้าน ดังนั้นสารสกัดที่ใช้ย้อมสีผมจึงสามารถแทรกซึมผ่านรูพรุน หรือรอยแตกหักเหล่านี้เข้าไปได้โดยง่าย แต่ในทางกลับกันเส้นผมขาวธรรมชาติมีสภาพเส้นผมที่ดีไม่เปราะบาง หรือมีรอยแตกหัก เส้นผมนุ่ม ลื่น จึงทำให้สารสกัดที่ใช้ย้อมสีผม แทรกซึมผ่านพื้นที่ผิวได้ยาก

	กลุ่มควบคุม	ใบเตียนกิ่ง	แก่นฝาง	ดอกอัญชัน	เปลือกมังคุด	กะหล่ำปลีแดง
เส้นผมขาวธรรมชาติ						
เส้นผมฟอกขาว						

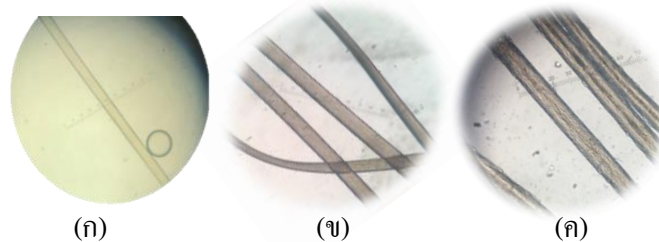
ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบสีของเส้นผมฟอกขาว และเส้นผมขาวธรรมชาติที่ผ่านการย้อมสีด้วยสารสกัดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงสุด เป็นเวลา 120 นาที

เมื่อนำเส้นผมขาวธรรมชาติ และเส้นผมที่ผ่านการฟอกขาว 1 และ 2 ครั้ง ไปตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ใกล้ตา 2

เลนส์ (Binocular Microscope, Nikon, Eclipse E200 LED) กำลังขยาย 10 เท่า พบว่า เส้นผมขาวธรรมชาติไม่มีการแตกหักภายในเส้นผม แต่เส้นผมที่ผ่านการ

ฟอกขาวภายในมีการแตกหักของเส้นผม โดยเส้นผมที่ผ่านการฟอกขาว 1 ครั้ง ไม่มีการแตกหักของชั้นนอกสุดและมีสภาพที่ดีกว่าเส้นผมที่ผ่านการฟอกขาว 2 ครั้ง ดังภาพที่ 5 เนื่องจากเส้นผมที่ผ่านการฟอกด้วยน้ำยาฟอกผมขาวที่มีความเป็นเบสมาก จะทำให้เส้นผมเกิดการแตกหักของโครงสร้างเมื่อชั้นเปลือกนอกของเส้นผมถูกทำลายเกล็ดผมจะเปิดขึ้น

(Chaipradith, 2012) จึงทำให้เส้นผมที่ผ่านการฟอกขาวสามารถดูดซับสารสีได้ง่าย ส่วนเส้นผมชาวธรรมชาติมีความแข็งแรงของโครงสร้างเส้นผม ทำให้การดูดซับสารสีเป็นไปได้ยากกว่า และทำให้เกิดการติดสีได้ยาก แสดงว่า สภาพของเส้นผมมีผลต่อการย้อมติดสี โดยสภาพผมที่ดีการย้อมติดสีจะเป็นไปค่อนข้างยากกว่าสภาพผมแห้ง และเสีย

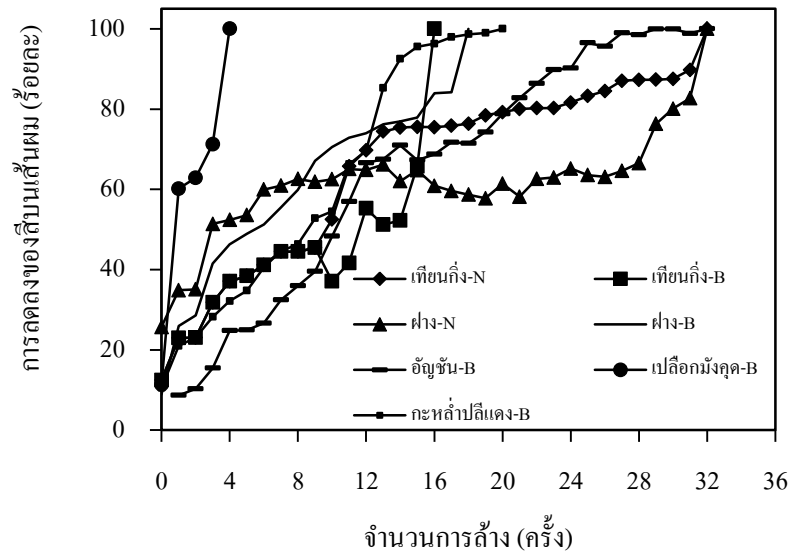


ภาพที่ 5 แสดงโครงสร้างของเส้นผม (ก) เส้นผมชาวธรรมชาติ (ข) เส้นผมที่ผ่านการฟอกขาว 1 ครั้ง และ (ค) 2 ครั้ง

3. ความคงทนของการติดสี

จากการศึกษาความคงทนของการติดสีบนเส้นผมทั้งเส้นผมที่ผ่านการฟอกขาว และเส้นผมชาวธรรมชาติโดยการนำปอยเส้นผมที่ย้อมติดสีเข้มที่สุดมาล้างด้วยแชมพูและน้ำสะอาดเสมือนการสระผมพบว่าสีของสารสกัดที่ติดบนเส้นผมฟอกขาวหลุดออกได้ง่ายกว่าของเส้นผมชาวธรรมชาติ ซึ่งเส้นผมฟอกขาวและผมชาวธรรมชาติที่ย้อมด้วยสารสกัดใบเทียนกิ่งถูกล้างจนกระทั่งสีที่ติดบนเส้นผมหลุดออกหมด ทั้งหมด 16 และ 32 ครั้ง หรือประมาณ 1 และ 2 เดือน ตามลำดับ เส้นผมฟอกขาวและผมชาวธรรมชาติที่ย้อมด้วยสารสกัดจากแก่นฝางถูกล้างจนกระทั่งสีที่ติดบนเส้นผมหลุดออกหมด ทั้งหมด 18 และ 32 ครั้ง หรือประมาณ 1 และ 2 เดือน ตามลำดับ

ส่วนสารสกัดจากเปลือกมังคุด กะหล่ำปลีแดง และดอกอัญชันที่ย้อมบนเส้นผมฟอกขาวถูกล้างจนกระทั่งสีที่ติดบนเส้นผมหลุดออกหมด ทั้งหมด 4, 20 และ 32 ครั้ง หรือประมาณ 1 สัปดาห์ 1.5 เดือน และ 2 เดือน ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 6 โดยส่วนใหญ่มนุษย์เราจะสระผม ประมาณ 16 ครั้งต่อเดือน (All things hair team, 2020) ซึ่งสังเกตได้ว่าเส้นผมชาวธรรมชาติมีความคงทนของการติดสีมากกว่าเส้นผมที่ผ่านการฟอกขาว เนื่องจากลักษณะของเส้นผมที่ผ่านการฟอกขาวมีรูพรุน เปราะบาง มีรอยแตกหัก และมีสภาพเส้นผมที่หยابกร้านมาก จึงทำให้สีจากสารสกัดธรรมชาติที่ย้อมไว้หลุดออกมาตามรูพรุนหรือรอยแตกหักของพื้นที่เนื้อเส้นผมได้ง่ายกว่าเส้นผมชาวธรรมชาติ



ภาพที่ 6 ความคงทนของสีจากสารสกัดชนิดต่างๆ ที่ย้อมติดบนเส้นผม เมื่อ N คือ เส้นผมขาวธรรมชาติ และ B คือ เส้นผมฟอกขาว

สรุป

จากการนำสารสกัดธรรมชาติชนิดต่างๆ ที่มีสีมาย้อมบนเส้นผมฟอกขาว และผมขาวธรรมชาติ พบว่า สารช่วยติดสีไม่มีส่วนช่วยให้สีสารสกัดติดบนเส้นผมได้มากขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของสารสกัดและระยะเวลาในการย้อมมีผลต่อการติดสีบนเส้นผม ซึ่งความเข้มข้นของสารสกัดและระยะเวลาในการย้อมผม สภาพของเส้นผมมีผลต่อการย้อมติดสี โดยสภาพผมที่ดีการย้อมติดสีจะเป็นไปก่อนข้างยากกว่าสภาพผมแห้งและเสีย ทำให้เส้นผมฟอกขาวสามารถย้อมติดสีได้ดีกว่าเส้นผมขาวธรรมชาติ และสีย้อมมีความคงทนในการติดสีบนเส้นผมขาวธรรมชาติได้ดีกว่าผมฟอกขาว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี และขอขอบพระคุณ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่อำนวยความสะดวกสำหรับสถานที่ทำการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- All things hair team. 2020. **How often should wash your hair well and be safe from disease.** Tips and inspiration from Unilever's hair experts. Available Source: <https://www.allthingshair.com/th-th/>, June 4, 2020. (in Thai)
- Athinarayanana, G., Ranjitsingh, A.J.A., Usha Raja Nanthini, A. and Padmalatha, C. 2017. Toxicological studies of *Caesalpinia sappan* wood derived dye in Wister albino rats. **Food Science and Human Wellness** 6: 34-38.
- Badoni, S.R., Semwal, D.K., Combrinck, S., Cartwright-Jones, C. and Viljoen, A. 2014. *Lawsonia inermis* L. (Henna): Ethnobotanical,

- phytochemical and pharmacological aspects. **Journal of Ethnopharmacology** 155(1): 80-103.
- Chaipradith, K. 2012. A comparative study of bule pea extract gel and CRC extract gel in the hair pieces of gray-hair. Master of Science thesis, Khon Kaen University. (in Thai)
- Chanthasart, D. 2013. **Hair**. JSP Pharmaceutical manufacturing (Thailand) public company limited. Available Source: [http : www.jsppharma.com /Pharma-knowledge/Hair.html](http://www.jsppharma.com/Pharma-knowledge/Hair.html), September 30, 2019. (in Thai)
- Chaowanalikhit, A. and Itthisoponkul, T. 2011. **Research Report no Natural colorants from mangosteen rinds**. Srinakarinwirot University. (in Thai).
- Gallo, F.R., Multari, G., Palazzino, G., Pagliuca, G., Zadeh, S.M.M., Biapa, P.C.N. and Nicoletti, M. 2014. Henna through the centuries: a quick HPTLC analysis proposal to check henna identity. **Revista Brasileira de Farmacognosia** 24(2): 133-140.
- Haddar, W., Ticha, M.B., Meksi, N. and Guesmi, A. 2018. Application of anthocyanins as natural dye extracted from *Brassica oleracea* L. var. *capitata f. rubra*: dyeing studies of wool and silk fibres. **Natural Product Research** 32(2): 141-148.
- Indrawati, T., Syahrin, A. and Irpan. 2017. Preparation of demipermanent and semipermanent hair dyes gels from ethanol extract of *Caesalpinia sappan* L. using carbomer as gelling agent, pp. 030080-1-030080-5. In **International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences 2016 (ISCPMS 2016)**. AIP Publishing LLC, USA.
- Joshi, K.C., Singh, P. and Singh, G. 1977. Juglone and lawsone as acid-base indicators. **Zeitschrift für Naturforschung B** 32(8): 890-892.
- Kajitvichyanukul, P., Ananpattarachai, J. and Phenrat, T. 2014. Degradation of paraquat in soil using silica-lacase sand and apply to the filter tank in the clean water production system. Master of Engineering thesis, Naresuan University. (in Thai)
- Kusumawati, N., Santoso, A.B., Sianita, M.M. and Muslim, S. 2017. Extraction, characterization, and application of natural dyes from the fresh mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) peel. **International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology** 7(3): 878-884.
- Mustarichie, R. and Gozali, D. 2019. Lip color formation using mangosteen rind extract (*Garcinia mangostana* L.). **Drug Invention Today** 11(11): 2969-2975.
- Nutmakul, T., Chuaykoon, J., Sanming, J., Rodket, C., Janleuang, D. and Thubthimthong, T. 2019. A comparative study on the effectiveness of solvents for extraction of *Lawsonia inermis* L. fresh leaves for grey hair dyeing. **Journal of Health Science Research** 13(1): 31-39. (in Thai)
- Palakajornsak, Y. 2004. Extraction and stability of anthocyanins from mangosteen peel. Master of Science thesis, Silpakorn University. (in Thai)

- Plant Genetic Conservation Project Under The Royal initiative of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn. n.d. **Sappan Heart wood**. Herbs give food coloring. Available Source: http://www.rs.pg.or.th/plants_data/herbs/herbs_30_3.htm, May 30, 2020. (in Thai)
- Prabhu, K.H. and Bhute, A.S. 2012. Plant based natural dyes and mordants: A review. **Journal of Natural Product and Plant Resources** 2(6): 649-664.
- Rachawat, P. 2011. Factors affecting consumer buying decision on hair coloring products at the shopping centers in pathumwan district, bangkok metropolitan. Master of Business Administration thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Rodphothong, P. 1997. **Silk fabric dyeing with fresh mangosteen husk**. The Graduate School, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Sangarunlert, W. 2014. Adsorption of methyl red dye by activated carbon from egg shell and ark shell by chemical activation method. **Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal** 7(7): 97-109. (in Thai)
- Sangchan, T.S. 1989. Hair dye. **Department of Science Service Ministry of higher Education, Science, Research and innovation** 37(120): 7-12. (in Thai)
- Singh, D.K., Luqman, S. and Mathur, A.K. 2015. *Lawsonia inermis* L. - A commercially important primaeval dying and medicinal plant with diverse pharmacological activity: A review. **Industrial Crops and Products** 65: 269-286.
- Somsup, S. 2017. **How to choose hair color changing products**. Teenee woman. Available Source: <http://www.woman.teenee.com/beautytip/527.html>, November 4, 2017. (in Thai)
- Taif, B., Som, S.H.M. and Yusof, U.Z.M. 2017. Extraction of natural dyes from clitoria ternatea flower. **International Journal of Science and Technology** 3(1): 81-90.
- Trüeb, R.M. 2009. Oxidative stress in ageing of hair. **International Journal of Trichology** 1(1): 6-14.
- Vichakaset. 2016. **Planting Red Cabbage**. Agriculture, vegetables, farming. Available Source: <https://www.vichakaset.com/>, June 1, 2020. (in Thai)
- Wikipedia The Free Encyclopedia. 2019. **Butterfly pea flower**. Available Source: https://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_pea_flower, June 1, 2020.
- Zhang, Y., Kim, C. and Zheng, T. 2012. Hair dye use and risk of human cancer. **Frontiers in Bioscience (Elite Ed)** 4: 516-528.