

วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2566

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN

ISSN (Print Edition) : 1686-9664
ISSN (Online Edition) : 2586-9795

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

EBSCOhost

TCI
The Journal Citation Index Centre

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไข่มไผ่
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง
ศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็ร้อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงศ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมษากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิชัย กุ่มพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยนครพนม

รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพ็ชรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

อาจารย์ เกียรติกร ดร.รักษจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม

Dr.Adrian Roderick Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

ฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์

ผู้ช่วยเลขานุการ

พักรวีไล รุ่งวิสัย
จิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดเผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์

ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน

ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน

ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม

ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม

ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

ราชาและราชินีแห่งผลไม้

ภาพจากปกของวารสารฉบับนี้ เป็นภาพดอกทุเรียนที่เราอาจไม่คุ้นตาเท่ากับตอนเป็นลูกที่มีหนามแหลม หรือเมื่อทุเรียนถูกแกะออกเป็นพู เผยให้เห็นเนื้อทุเรียนสีเหลืองนวลพร้อมกลิ่นอันอบอวลและเย้ายวนสำหรับผู้โปรดปรานจนได้รับการขนานนามว่าเป็นราชาแห่งผลไม้ (King of Fruit) อย่างไรก็ตาม อธิปไตยรอมานมายังได้เคยให้ข้อมูลไว้ว่า เราไม่ควรบริโภคทุเรียนเกินวันละ 2 เม็ด ไม่ควรรับประทานบ่อยๆ ทุกวัน และควรลดอาหารกลุ่มที่เป็นคาร์โบไฮเดรตในมือที่เรารับประทานทุเรียน เพราะทุเรียน 4-6 เม็ด ให้พลังงานได้สูงถึง 520-780 กิโลแคลอรี หรือเทียบเท่ากับข้าวมันไก่ 2 จานเลยทีเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่มีโรคประจำตัวเช่น โรคไต โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง และโรคหัวใจ ควรระมัดระวังการกินทุเรียนมากกว่าคนทั่วไป อีกทั้งเราอาจเคยได้ยินคำเตือนให้หลีกเลี่ยงการรับประทานทุเรียนร่วมกับการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่าทุเรียนจัดเป็นผลไม้ที่มีวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งไขมันและมีสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรตสูง ในขณะที่เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ก็ให้พลังงานสูงเช่นเดียวกัน ดังนั้นหากรับประทานทุเรียนร่วมกับเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ จะทำให้ร่างกายได้รับพลังงานมากเกินไป ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กระบวนการเมตาบอลิซึมและการสันดาปในร่างกายรวมถึงเกิดความร้อนเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งกระบวนการเมตาบอลิซึมเหล่านี้ต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก อาจมีผลทำให้ร่างกายขาดน้ำ และเสี่ยงต่อการเสียชีวิตได้ด้วยเหตุนี้จึงมีคนเสนอแนะให้รับประทานมังคุดตามหลังการรับประทานทุเรียนเข้าไป ด้วยความเชื่อที่ว่า มังคุดซึ่งจัดว่าเป็น ราชินีแห่งผลไม้ (Queen of Fruit) นั้นมีฤทธิ์เย็นและช่วยลดความร้อนในร่างกายได้ อย่างไรก็ตามในแง่ของหลักโภชนาการแล้ว ทั้งมังคุดและทุเรียน ต่างเป็นผลไม้ที่มีน้ำตาลสูง ดังนั้นหากรับประทานพร้อมกันในคราวเดียว ย่อมทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดโดยรวมสูงขึ้น ดังนั้น หากต้องการลดความเสี่ยงจากการรับประทานทุเรียนแล้ว แนะนำให้ดื่มน้ำเปล่ามากๆ ตามเข้าไปน่าจะตรงตามหลักการและเหตุผลมากกว่า สำหรับเนื้อหาที่อยู่ในวารสารเล่มนี้ ก็มีเรื่องของราชาและราชินีแห่งผลไม้ที่อยู่ในงานวิจัยเดียวกัน แต่ถูกศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้ในแง่มุมที่แตกต่างไป ส่วนรายละเอียดของการศึกษาวิจัยจะเป็นอย่างไรนั้นขอท่านผู้อ่านได้ใช้เวลาพิจารณาได้ตามความพอใจ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ท่านจะได้รับทราบมุมมองและองค์ความรู้ใหม่จากเนื้อหาของงานวิจัยอื่นๆ ที่ได้รับการตีพิมพ์และรวบรวมไว้ในวารสารฉบับนี้เป็นอย่างดี

รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิษา

กองบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



สารบัญ

Biological Science

- การพัฒนา น้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผง 1
Development of mangosteen juice mixed with durian rind powder
จิรพร สวัสดิการ, เตือนรุ่ง เบญจมาศ, หยาดรุ่ง สุวรรณรัตน์
Jiraporn Sawasdikarn, Duanrung Benjamas, Yadrung Suwannarat
- ลักษณะทางกายวิภาค ปริมาณสารพฤกษเคมี และฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากลำต้นไต่ดินมันเลือด
(*Dioscorea alata* L.) 10
Anatomical characteristics, phytochemical content and biological activities from the tubers
extract of *Dioscorea alata* L.
ชนากร คุณวงศ์, วิลาวัดน์ พร้อมพรม, วรณชัย ชาแทน, ศจีรา คุปพิทยานันท์
Chanapon Khunwong, Wilawan Promprom, Wannachai Chatan, Sajeera Kupittayanant

Chemistry

- การประเมินคุณภาพเนื้อครามด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีสำหรับการหาปริมาณอินดิโกบลู 20
Indigo blue determination for quality evaluation by UV-Visible Spectrophotometry method
วิชญ์พล โถสายคำ, พรกมล สาข้อม
Witchapol Thosaikham, Pornkamon Sakong
- การตรวจหาโลหะหนักในหอยเศรษฐกิจจังหวัดจันทบุรี 31
Determination of heavy metals in economically important bivalve, Chanthaburi Province
ศุทธิณี เมฆประยูร, จักรพันธ์ โพธิพัฒน์
Sutthinee Mekprayoon, Jakkapan Potipat

Engineering

- การผลิตไบโอดีเซลชนิดไหลอย่างต่อเนื่องด้วยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ 38
Continuous flow biodiesel production using microwave heating
อินทรักษ์ องอาจ, อติศักดิ์ ปัตติยะ, จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์
Intarak Ongart, Adisak Pattiya, Jindaporn Jamradloedluk

การพัฒนาน้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผง

Development of mangosteen juice mixed with durian rind powder

จิรพร สวัสดิการ¹, เตือนรุ่ง เบญจมาศ¹, หยาดรุ่ง สุวรรณรัตน์¹

Jiraporn Sawasdikarn¹, Duanrung Benjamas¹, Yardrung Suwannarat¹

Received: 27 April 2022 ; Revised: 20 July 2022 ; Accepted: 26 August 2022

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อผลิตเปลือกทุเรียนผงและนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำมังคุด เปลือกทุเรียนผงเตรียมโดยลวกเปลือกทุเรียนในน้ำกลั่น อัตราส่วนระหว่างเปลือกทุเรียนต่อน้ำกลั่น เท่ากับ 1:1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และคำนวณปริมาณผลผลิต ซึ่งมีค่าปริมาณผลผลิตเท่ากับร้อยละ 11.46 ค่าสีของผงเปลือกทุเรียนวัดโดยใช้ระบบ $L^* a^* b^*$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 68.86, 8.52 และ 16.87 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนผง พบว่ามีค่าความชื้นร้อยละ 9.30 โปรตีนร้อยละ 6.13 ไขมันร้อยละ 0.55 เถ้าร้อยละ 4.63 และ เส้นใยร้อยละ 41.70 เมื่อนำเปลือกทุเรียนผงมาผสมในน้ำมังคุดที่ระดับต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผง ค่าสี $L^* a^* b^*$ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่าความหนืดของน้ำมังคุดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบความชอบ 9 ระดับ ต่อคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยจะลดลง เมื่อเปลือกทุเรียนผงเพิ่มขึ้น โดยปริมาณที่เหมาะสมในการเสริมเปลือกทุเรียนผงในน้ำมังคุดเท่ากับร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เปลือกทุเรียนผงซึ่งเป็นแหล่งใยอาหาร สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม และเป็นการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทุเรียนเพื่อเพิ่มมูลค่า

คำสำคัญ: ใยอาหาร เปลือกทุเรียน น้ำมังคุด

Abstract

The objective of this research was to produce durian rind powder and to apply it to mangosteen juice. The durian rind powder was prepared by blanching in distilled water at the ratio of 1:1 (w/v) at temperature of 60°C, for 5 min, dried by oven dryer and the yield calculated. The yield of durian rind powder was 11.46%. The color values of durian rind powder indicated by the $L^* a^* b^*$ color system were 68.86, 8.52 and 16.87, respectively. The chemical properties of durian rind powder was analyzed and the results indicated a moisture content of 9.30%, protein 6.13%, fat 0.55%, ash 4.63% and fiber 41.70%. The durian rind powder at 0, 1, 2 and 3 %w/w was added into mangosteen juice. The color $L^* a^* b^*$, total soluble solid and viscosity increased with increasing durian rind powder content in mangosteen juice. The sensory evaluation of mangosteen juice was performed by using 9-point hedonic scale on appearance, color, flavor, taste, texture and overall acceptance. The results showed that as the durian rind powder content increased, the preference score decreased. The mangosteen juice supplemented with 1 %w/w durian rind powder was appropriate. Durian rind powder can be used as a source of dietary fiber in beverages to increase the value of agricultural waste.

Keywords: dietary fiber, durian rind, mangosteen juice

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

¹ Assist. Prof., Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Muang District, Chanthaburi 22000, Thailand.

* Corresponding author; Jiraporn Sawasdikarn, Faculty of Agricultural Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Muang District, Chanthaburi 22000, Thailand. jiraporn.s@rbru.ac.th

บทนำ

ทุเรียน เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทย ซึ่งมีผลผลิตมากที่สุดในจังหวัดจันทบุรี โดยในปี พ.ศ. 2563 มีผลผลิต 380,446 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ทุเรียนเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งใน และต่างประเทศ ทั้งในรูปแบบบริโภคสดหรือสินค้าแปรรูป ภายหลังจากการบริโภคหรือแปรรูปทุเรียนจะมีเปลือกทุเรียนเป็นเศษเหลือทิ้งเกิดขึ้น ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 75 ของน้ำหนักทุเรียนทั้งหมด จึงเกิดปัญหาในการกำจัดเนื่องจากมีปริมาณมาก อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาวะแวดล้อมได้ ปัจจุบันจึงมีการนำเปลือกทุเรียนมาเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เชื้อเพลิงอัดแท่ง เยื่อกระดาษ และแก๊สชีวภาพ นอกจากนี้เปลือกทุเรียนยังเป็นแหล่งของใยอาหาร และได้มีการตรวจสอบความเป็นพิษของใยอาหารจากเปลือกทุเรียนด้วยวิธี Acute oral toxicological test ในสัตว์ทดลองพบว่า ตัวอย่างหนูที่ได้รับใยอาหารจากเปลือกทุเรียน ไม่มีความผิดปกติ และไม่เกิดการตายระหว่างการทดสอบ 14 วัน จากการผ่าซากชันสูตรโรคในสัตว์ที่ตาย (Necropsy) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของร่างกายหนูเนื่องจากการเกิดความผิดปกติหรือเป็นโรคแต่อย่างใด ใยอาหารจากเปลือกทุเรียนมีระดับ Acute oral minimum fatal dose สูงกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักหนู ซึ่งบ่งชี้ว่ามีความปลอดภัยในการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (ไศรดา วัลภา และคณะ, 2553)

ใยอาหาร คือ ส่วนของผนังเซลล์พืชที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ แต่จุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยสลายประกอบบางส่วนของใยอาหารได้ แม้ว่าใยอาหารไม่ใช่สารอาหารและไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย แต่ก็ยังมีบทบาทสำคัญต่อภาวะโภชนาการและสุขภาพของมนุษย์ เช่น ช่วยทำให้ระบบทางเดินอาหาร และระบบขับถ่ายทำงานเป็นปกติ ควบคุมระดับและปริมาณของคอเลสเตอรอล และน้ำตาลในกระแสเลือด แหล่งใยอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ธัญพืช ตระกูลถั่ว ผัก และผลไม้ ซึ่งในกระบวนการผลิตอาหารทั้งในระดับครัวเรือน และอุตสาหกรรม มักมีเศษเหลือทิ้งเหล่านี้เป็นจำนวนมาก การจัดการเศษเหลือทิ้งโดยทั่วไปจะนำไปทำเป็นปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ หรือทั้งเป็นสิ่งปฏิกูล ในปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาหาแนวทางในการแปรรูปเศษเหลือทิ้งเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย และส่งผลโดยตรงในการรักษาสังแวดล้อม (หยาดผน ทะนงการกิจ, 2556) เช่น การสกัดใยอาหารจากเปลือกข้าว โหมข้าวโพด เปลือกส้มโอ เปลือกสับปะรด และเปลือกกล้วยน้ำว้า เป็นต้น

สำหรับการใช้ประโยชน์จากเศษเปลือกทุเรียนมีงานวิจัยก่อนหน้าที่ทำการศึกษาและนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด เช่น การเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียน

ต่อคุณภาพของขนมปังขาว (ไศรดา วัลภา และคณะ, 2553) การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเกรียบหอยนางรมด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกทุเรียน (กุลพร พุทธิมี และศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล, 2560) การใช้แป้งจากเปลือกทุเรียนในพาสต้าปราศจากกลูเตน (นรินทร์ เจริญพันธ์ และ วิยดา กวานเทียน, 2560) และผลของการใช้เปลือกทุเรียนผงทดแทนแป้งข้าวสาลีต่อคุณภาพของเค้กบราวนี่ (เจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์ และจักรวาล ภูเสม, 2561) เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเปลือกทุเรียนผงซึ่งเป็นแหล่งของใยอาหารไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม นอกเหนือจากการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทำการศึกษาในผลิตภัณฑ์น้ำมัจจุต เนื่องจากมัจจุตเป็นผลไม้ที่มีแหล่งผลิตในจังหวัดจันทบุรี และมีสารสำคัญต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเป็นเครื่องดื่มน้ำผลไม้เสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนผง เป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้งทุเรียนลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ในเขตจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดใกล้เคียง

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณภาพของเปลือกทุเรียนผง และผลการเติมเปลือกทุเรียนผงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมัจจุต

วิธีการวิจัย

1. การศึกษาคุณภาพของเปลือกทุเรียนผง

1.1 การเตรียมเปลือกทุเรียนผง โดยใช้เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองแก่และไม่เน่าเสีย จากร้านค้าตลาดเนินสูง อ.เมือง จันทบุรี เตรียมตามวิธีการของหยาดรุ่ง สุวรรณรัตน์ และคณะ (2560) เริ่มจากการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดมากับเปลือกทุเรียน ทำการกำจัดเปลือกนอกที่เป็นส่วนหนามแหลมออก แล้วลดขนาดให้เล็กลง จากนั้นล้างด้วยน้ำประปาทำความสะอาดอีกครั้ง สะเด็ดน้ำก่อนนำไปตากที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ใช้น้ำกลั่นในอัตราส่วนระหว่างเปลือกทุเรียนต่อน้ำกลั่น ที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และมีการกวนอย่างสม่ำเสมอ เมื่อครบเวลานำเปลือกทุเรียนที่ได้ไปอบแห้งโดยการใช้ตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยกำหนดปริมาณความชื้นของเปลือกทุเรียนหลังอบไม่เกินร้อยละ 10 แล้วนำมาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดผง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 เมช แล้วนำไปเก็บรักษาในภาชนะที่ปิดสนิท คำนวณปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) ที่ได้ โดยใช้สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ผลผลิต (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของเปลือกทุเรียนผง} \times 100}{\text{น้ำหนักเปลือกสด}}$$

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกทุเรียนผง

1.2.1 ค่าสี วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี (Chroma meter CR-400) แสดงผลของค่าสีที่วัดได้ในระบบ CIE เป็นค่า L^* a^* และ b^* โดยที่ (1) ค่า L^* คือ ค่าแสดงความสว่างของสี มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 กรณีค่า L^* มีค่าเป็น 0 หมายถึงมืด (Darkness) ถ้ามีค่าเป็น 100 หมายถึง สว่าง (Lightness) (2) ค่า a^* คือ ค่าแสดงความเป็นสีแดงและเขียว (Redness/Greenness) กรณีค่า a^* มีค่าเป็นบวกหมายถึง สีแดง และกรณี ถ้า a^* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว (3) ค่า b^* คือ ค่าแสดงความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) กรณีค่า b^* มีค่าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง และกรณี ถ้า b^* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน

1.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนผง ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบ ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2. การศึกษาผลของเปลือกทุเรียนผงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมัจจุ

2.1 การเตรียมน้ำมัจจุบรรจุขวดแก้ว

นำมัจจุพันธุ์พื้นเมือง โดยซื้อจากร้านค้าตลาดเนินสูง อ.เมือง จันทบุรี มาล้างทำความสะอาด แยกเปลือกออก หลังจากนั้นนำเนื้อมัจจุมาคั้นด้วยเครื่องคั้นน้ำแยกกาก เพื่อแยกเมล็ดออก สุ่มตัวอย่างวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ซึ่งค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 14-15 องศาบริกซ์ จากนั้นนำไปปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้เท่ากับ 10 องศาบริกซ์ โดยการเติมน้ำเปล่า นำไปให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อในระดับพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นทำการบรรจุร้อนในขวดแก้วที่ผ่านการลวก ปิดฝาขวดให้สนิท และนำน้ำมัจจุที่บรรจุแล้วไปต้มให้ความร้อนอีกครั้งพร้อมภาชนะบรรจุในน้ำอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำให้เย็นทันที และนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำมัจจุบรรจุขวดแก้วมีค่าเท่ากับ 2.57 กรัม ต่อ 100 มิลลิลิตรของกรดซิตริก

2.2 การเตรียมน้ำมัจจุผสมจากเปลือกทุเรียนผง

เตรียมน้ำมัจจุตามวิธีการในข้อ 2.1 โดยทำการผลิตน้ำมัจจุผสมเปลือกทุเรียนผงที่ระดับต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์น้ำมัจจุผสมเปลือกทุเรียนผงมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมัจจุผสมเปลือกทุเรียนผง

2.3.1 วิเคราะห์ค่าสี (ตามข้อ 1.2.1) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัด

ความเป็นกรด-ด่าง (Mettler Toledo F20) และวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (IKA Rotavisc lo-vi)

2.3.2 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคโดยอาศัยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) ซึ่งมีระดับคะแนนตั้งแต่ 1-9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) ต่อคุณลักษณะด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 100 คน ซึ่งอยู่ในช่วงอายุ 20-50 ปี เป็นเพศชาย ร้อยละ 42 และเพศหญิง ร้อยละ 58

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์

นำผลิตภัณฑ์น้ำมัจจุผสมเปลือกทุเรียนผงที่มีปริมาณเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุดจากการทดลองในข้อ 2.3.2 มาวิเคราะห์คุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อประเมินหาอายุการเก็บรักษาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ (ศุภมาศ กลิ่นขจร และคณะ, 2558) โดยวิเคราะห์ในด้านลักษณะปรากฏ ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหนืด (ตามข้อ 2.3.1) และวิเคราะห์ผลทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 365) พ.ศ. 2556 เรื่อง เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา Coliforms และ *E. coli* ตามวิธีการของ BAM (2012)

2.5 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการผลิตภัณฑ์น้ำมัจจุผสมเปลือกทุเรียนผง

นำน้ำมัจจุผสมเปลือกทุเรียนผงที่มีปริมาณ ที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุดจากการทดลองในข้อ 2.3.2 มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ โดยทำการส่งผลิตภัณฑ์วิเคราะห์ที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด โดยรายการวิเคราะห์ ได้แก่ พลังงานทั้งหมด พลังงานจากไขมัน ไขมันทั้งหมด ไขมันอิ่มตัว คอเลสเตอรอล โปรตีน คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล โซเดียม วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 แคลเซียม เหล็ก และใยอาหาร และทำการวิเคราะห์ใยอาหารในน้ำมัจจุที่ไม่เติมเปลือกทุเรียนผง เพื่อเป็นตัวอย่างควบคุมด้วย

3. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ครั้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับการทดลองในข้อ 2.3.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลอง (Analysis of

variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

1. คุณภาพของเปลือกทุเรียนผง

จากการเตรียมเปลือกทุเรียนผง โดยการลวกที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และอัตราส่วนระหว่างเปลือกทุเรียนต่อน้ำกลั่น เท่ากับ 1:1 แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 เมช พบว่า ได้ค่าผลผลิตเท่ากับร้อยละ 11.46 เปลือกทุเรียนผงมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลอ่อน (Figure 1) เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสีพบว่าค่า L^* เท่ากับ 68.86 ค่า a^* เท่ากับ 8.52 และค่า b^* เท่ากับ 16.87 แสดงถึงผงใยอาหารจากเปลือกทุเรียนมีค่าความสว่างในช่วงปานกลาง มีค่าความเป็นสีแดงเล็กน้อย และมีความเป็นสีเหลือง



Figure 1 Durian rind powder

Table 1 Chemical composition of durian rind powder

Chemical composition	Content (g/100 g)
Moisture	9.30±0.08
Protein	6.13±0.71
Fat	0.55±0.04
Ash	4.63±0.08
Crude fiber	41.70±4.10
Carbohydrate	37.69±1.30

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนผง (Table 1) พบว่ามีปริมาณเส้นใยหยาบมากที่สุดเท่ากับ 41.70 กรัมต่อ 100 กรัม รองลงมาคือคาร์โบไฮเดรตและความชื้น สำหรับโปรตีนและไขมัน มีปริมาณ 6.13 และ 0.55 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

2. ผลการเติมเปลือกทุเรียนผงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมังคุด

2.1 ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าความหนืด



Figure 2 Mangosteen juice with durian rind powder at various contents (0%, 1%, 2% and 3% w/w)

Table 2 Color of mangosteen juice with durian rind powder at various contents

Durian rind powder contents (%w/w)	Color		
	L^*	a^*	b^*
0	35.43±0.15 ^d	3.72±0.17 ^d	1.33±0.23 ^d
1	36.50±0.09 ^c	5.77±0.05 ^c	4.80±0.09 ^c
2	37.98±0.04 ^b	7.07±0.05 ^b	6.95±0.08 ^b
3	39.07±0.08 ^a	7.72±0.08 ^a	8.17±0.05 ^a

^{abcd} in the same column with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$)

จากการผลิตน้ำมังคุดที่มีเปลือกทุเรียนผงระดับต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 ทำการวิเคราะห์ค่าสี L^* a^* b^* (Table 2) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโยอาอาหารจากเปลือกทุเรียน ส่งผลให้ค่าความสว่างของน้ำมังคุด ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของน้ำมังคุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสอดคล้องกับ Figure 2 ที่แสดงถึงลักษณะปรากฏด้านสีของน้ำมังคุดเข้มข้นเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผง

Table 3 Total soluble solid, pH and viscosity of mangosteen juice with durian rind powder at various contents

Durian rind powder contents (%w/w)	Total soluble solid (*Brix)	pH	Viscosity (centipoise)
0	11.00±0.00 ^b	3.60±0.01 ^d	251.80±1.39 ^e
1	11.00±0.00 ^b	3.71±0.01 ^c	1045.50±2.12 ^{bc}
2	11.00±0.00 ^b	3.77±0.01 ^b	1428.67±1.15 ^{ab}
3	12.00±0.00 ^a	3.83±0.01 ^a	2144.00±1.73 ^a

^{abcd} in the same column with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$)

จาก Table 3 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความหนืดของน้ำมังคุดที่มีเปลือกทุเรียนผงระดับต่างๆ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผงจะส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น และมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2.2 ผลการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผงปริมาณต่างๆ

เมื่อทำการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อ น้ำมังคุดเสริมโยอาอาหารที่ระดับต่างๆ โดยการประเมินคุณภาพ

ทางประสาทสัมผัส (Table 4) พบว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัส มีแนวโน้มคะแนนความชอบเฉลี่ยลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผง ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวม โดยพบว่าน้ำมังคุดที่ไม่มีเปลือกทุเรียนผงได้คะแนนความชอบเฉลี่ยมากที่สุด อยู่ในช่วงชอบปานกลาง เมื่อผสมเปลือกทุเรียนผงในปริมาณร้อยละ 1 จะได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยในช่วงชอบเล็กน้อย เมื่อเพิ่มเปลือกทุเรียนผงเป็นปริมาณร้อยละ 2 จะได้รับคะแนนความชอบเฉลี่ยในช่วงชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ และเมื่อเปลือกทุเรียนผงเป็นปริมาณร้อยละ 3 คะแนนความชอบเฉลี่ยลดลงอยู่ในช่วงเฉยๆ ดังนั้น ผู้บริโภคจึงให้การยอมรับน้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผงที่ไม่เติมเปลือกทุเรียนผงมากที่สุด โดยน้ำมังคุดที่เติมเปลือกทุเรียนผงสามารถเติมได้ในปริมาณร้อยละ 1 เนื่องจากมีคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ยมากกว่าการเติมเปลือกทุเรียนผงปริมาณร้อยละ 2 และร้อยละ 3

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผงที่มีปริมาณร้อยละ 1 เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง โดยวิเคราะห์ด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความหนืด (Table 5 และ Table 6) และวิเคราะห์ผลทางจุลินทรีย์ต่างๆ พบว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ค่าความสว่าง L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดง a^* ค่อนข้างคงที่ และค่าความเป็นสีเหลือง b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าความหนืดมีแนวโน้มลดลง สำหรับการวิเคราะห์ผลด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์น้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผงร้อยละ 1 ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา Coliforms และ *E. coli* ไม่พบจุลินทรีย์ทุกกลุ่มระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์

Table 4 Sensory score of mangosteen juice with durian rind powder at various contents

Durian rind powder contents (%w/w)	sensory score of product test					
	Appearance	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall liking
0	7.04±1.76 ^a	7.41±1.54 ^a	6.49±1.76 ^a	7.12±1.78 ^a	7.27±1.47 ^a	7.45±1.24 ^a
1	6.04±2.02 ^b	6.20±1.94 ^b	6.10±1.94 ^{ab}	5.90±2.26 ^b	6.04±2.16 ^b	6.27±2.15 ^b
2	5.41±2.19 ^{bc}	5.90±1.75 ^b	5.41±1.90 ^{bc}	5.39±2.22 ^{bc}	4.76±2.00 ^c	5.65±1.96 ^{bc}
3	5.12±2.32 ^c	5.67±1.90 ^b	5.14±2.12 ^c	4.69±2.24 ^c	4.22±2.14 ^c	5.20±1.80 ^c

^{abc} in the same column with different superscripts are significantly different (p≤0.05)

Table 5 Color of mangosteen juice with 1% durian rind powder added during storage under room temperature for 4 weeks

Storage period (week)	Color		
	L*	a*	b*
1	34.18±0.16 ^c	4.92±0.05 ^a	7.22±0.16 ^c
2	34.79±0.29 ^b	4.94±0.08 ^a	7.95±0.15 ^b
3	35.34±0.18 ^a	4.13±0.06 ^b	7.11±0.12 ^c
4	35.37±0.03 ^a	4.89±0.06 ^a	8.63±0.03 ^a

^{abc} in the same column with different superscripts are significantly different (p≤0.05)

Table 6 Total soluble solid, pH and viscosity of mangosteen juice with 1% durian rind powder added during storage under room temperature for 4 weeks

Storage period (week)	Total soluble solid (*Brix) ^{ns}	pH	Viscosity (centipoise)
1	11.00±0.00	3.78±0.02 ^a	1062.00±5.00 ^a
2	11.00±0.00	3.78±0.01 ^a	1062.00±5.00 ^a
3	11.00±0.00	3.69±0.01 ^b	1045.33±4.73 ^b
4	11.00±0.00	3.67±0.01 ^b	1044.67±5.69 ^b

^{ns} is not significantly different (P>0.05)

^{ab} in the same column with different superscripts are significantly different (p≤0.05)

2.4 คุณค่าทางโภชนาการของของผลิตภัณฑ์ น้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผง

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลิตภัณฑ์ น้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผงปริมาณร้อยละ 1 พบว่า ผลิตภัณฑ์ 100 กรัม มีพลังงานทั้งหมด 48.96 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมัน 2.88 กิโลแคลอรี ไขมันทั้งหมด 0.32 กรัม ไขมันอิ่มตัว 0.14 กรัม ไม่พบคอเลสเตอรอล โปรตีน 0.88 กรัม คาร์โบไฮเดรต 12.15 กรัม น้ำตาล 10.28 กรัม โซเดียม 7.123 มิลลิกรัม ไม่พบวิตามินเอ วิตามินบี 1 0.037 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.021 มิลลิกรัม แคลเซียม 36.215 มิลลิกรัม เหล็ก 0.842 มิลลิกรัม และใยอาหาร 0.43 กรัม ในขณะที่น้ำมังคุดที่ไม่ได้ผสมเปลือกทุเรียนผง (ตัวอย่างควบคุม) มีปริมาณใยอาหาร 0.0059 กรัมต่อน้ำมังคุด 100 กรัม

วิจารณ์และสรุปผล

จากการเตรียมเปลือกทุเรียนผง ที่สภาวะการลวกอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และอัตราส่วนระหว่างเปลือกทุเรียนต่อน้ำกลั่น เท่ากับ 1:1 แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่า ได้ค่าปริมาณผลผลิตเท่ากับร้อยละ 11.46 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า งานวิจัยการสกัดใยอาหารจากเปลือกทุเรียน ซึ่งได้ค่าปริมาณผลผลิตเท่ากับร้อยละ 15.03 (หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์ และ จิรพร สวัสดิการ, 2561) อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการเตรียมเปลือกทุเรียนผงมีขั้นตอนในการบดละเอียดและทำการร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้เป็นผงละเอียด ซึ่งเปลือกทุเรียนผงมีลักษณะแข็งเมื่ออบแล้ว จึงไม่สามารถร่อนผ่านตะแกรงได้ทั้งหมด จึงทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง

เปลือกทุเรียนผงมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลอ่อน เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสีพบว่ามีความสว่างในช่วงปานกลาง มีค่าความเป็นสีแดงเล็กน้อย และมีความเป็นสีเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกุลพร พุทธิ และ ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล (2560) ที่ทำการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกทุเรียนเพื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหยองนางรม ซึ่งได้เป็นลักษณะผงสีน้ำตาล เป็นผลมาจากในเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบทางเคมีทั้งโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่างการอบแห้ง (เจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์ และจักรวาล ภูเสม, 2561) โดยสามารถปรับสีของผงใยอาหารให้มีลักษณะขาวขึ้นได้โดยใช้การฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกข้าว เมื่อฟอกสีเส้นใยอาหารด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 จะทำให้ผงเส้นใยอาหารมีสีเหลือง และมีค่าความสว่างมากกว่าเส้นใยที่ไม่ฟอกสี (กุลนิภา ทรุ่งรังสี และคณะ, 2557) สำหรับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนผง ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของเจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์ และจักรวาล ภูเสม (2561) ซึ่งศึกษาผลของการใช้เปลือกทุเรียนผงทดแทนแป้งข้าวสาลีต่อคุณภาพของเค้กบราวนี่ พบว่าเปลือกทุเรียนผงที่เตรียมได้มีค่าโปรตีน ไขมัน เถ้า เท่ากับ 6.42, 0.38 และ 4.93 กรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณเส้นใยหยาบมีค่าเท่ากับ 50.81 กรัมต่อ 100 กรัม

ผลของปริมาณเปลือกทุเรียนผงระดับต่างๆ ต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์น้ำมังคุด พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผงทำให้น้ำมังคุดมีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเปลือกทุเรียนผงมีสีน้ำตาลอ่อน จึงทำให้สีของน้ำมังคุดเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผง ดังงานวิจัยของกุลพร พุทธิ และ ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล (2560) ที่พบว่าการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบหยองนางรมเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนในขนมปังขาว ทำให้น้ำตาลเพิ่มขึ้น (ไศรดา วัลภาและคณะ, 2553)

เมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผง ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น และมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากอนุภาคของเปลือกทุเรียนผงขัดขวางการไหลของน้ำมังคุด จึงทำให้ความหนืดของน้ำมังคุดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผง ซึ่งมีการศึกษาการผสมใยอาหารผงจากกากมะนาวในน้ำสับปะรดพบว่า เมื่อความเข้มข้นของใยอาหารผงสูงขึ้น ขนาดอนุภาคของใยอาหารผงในน้ำสับปะรดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และส่งผล

ให้ความหนืดของน้ำผลไม้มากขึ้นด้วยเนื่องจากมีโอกาสในการขัดกันระหว่างอนุภาคเพิ่มขึ้น ทำให้ขัดขวางการไหลของน้ำผลไม้ (ปรอยฝน เลิศวนวิวัฒนา และนภาพร เขียวชาญ, 2551)

เมื่อนำเปลือกทุเรียนผงมาผสมในน้ำมังคุดที่ระดับต่างๆ ได้แก่ ร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 พบว่าค่าคะแนนความชอบเฉลี่ยจะลดลงเมื่อปริมาณเปลือกทุเรียนผงเพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถผสมเปลือกทุเรียนผงในน้ำมังคุดได้เพียงร้อยละ 1 เท่านั้น อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณเปลือกทุเรียนผงซึ่งมีองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยอาหาร ทำให้เพิ่มขนาดอนุภาคในน้ำมังคุด ผู้ทดสอบจึงสามารถรับรู้ได้เมื่อทดสอบชิม โดยมีรายงานของ Surya *et al.* (2020) พบว่าการเติมใยอาหารในน้ำมะขามป้อมพร้อมดื่มที่ปริมาณร้อยละ 0.5 จะได้การยอมรับด้านประสาทสัมผัสมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรเติมใยอาหารในปริมาณร้อยละ 1 และ 3

การศึกษาคูณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผงปริมาณร้อยละ 1 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรเติมเปลือกทุเรียนผงที่ปริมาณร้อยละ 2 และ 3 โดยพบว่าเมื่อเก็บรักษาน้ำมังคุดนานขึ้นทำให้สีเข้มขึ้น เนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงจำกัดอายุการเก็บของน้ำผักและผลไม้ (ประสาน สวัสดิ์ชิตัง, 2538) สอดคล้องกับการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำมังคุดเสริมใยอาหารจากเมล็ดแมงลัก พบว่าเมื่อเก็บรักษาน้ำมังคุดนานกว่า 2 สัปดาห์ จะพบการแยกชั้นของอนุภาคผลไม้และของเหลว รวมทั้งน้ำผลไม้มีสีคล้ำขึ้น (ศุภมาศ กลิ่นขจร และคณะ, 2558) สำหรับผลวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์น้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผง ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา Coliforms และ *E. coli* ไม่พบจุลินทรีย์ทุกรายการ ที่อายุเก็บรักษาเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ แสดงถึงกระบวนการให้ความร้อนและการบรรจุร้อน รวมทั้งปัจจัยด้านความเป็นกรดของน้ำมังคุดเพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งมีการศึกษาการให้ความร้อนระดับพาสเจอไรส์และอาศัยเทคนิคการบรรจุร้อน เพื่อเก็บรักษาเนื้อผลกุยวาวชู (*Theobroma grandiflorum*) ที่อุณหภูมิห้องได้ (Silva *et al.*, 2008) ดังนั้นน้ำมังคุดที่ผลิตได้จึงมีความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 365) พ.ศ. 2556 เรื่อง เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท โดยมีข้อกำหนดคือ ตรวจพบยีสต์และรา น้อยกว่า 100 ในเครื่องดื่ม 1 มิลลิลิตร ตรวจพบแบคทีเรียชนิด Coliforms น้อยกว่า 2.2 ต่อเครื่องดื่ม 100 มิลลิลิตร และตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด *E. coli* ดังนั้นจากการศึกษาในครั้งนี้จึงสรุปได้ว่าน้ำมังคุดผสมเปลือกทุเรียนผงปริมาณร้อยละ 1 มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมั่งคุดผสมเปลือกทุเรียนที่มีปริมาณร้อยละ 1 มีปริมาณใยอาหาร 0.43 กรัม ต่อ น้ำมั่งคุด 100 กรัม ในขณะที่น้ำมั่งคุดที่ไม่ได้ผสมเปลือกทุเรียนนั้นมีปริมาณใยอาหารเพียง 0.0059 กรัมต่อ น้ำมั่งคุด 100 กรัม ซึ่งการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนทำให้ปริมาณใยอาหารในน้ำมั่งคุดเพิ่มขึ้นถึง 70 เท่า แต่ยังไม่สามารถกล่าวอ้างทางโภชนาการได้ว่าเป็นแหล่งของใยอาหารหรือใยอาหารสูง ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 พ.ศ. 2541 ที่กล่าวว่า การกล่าวอ้างว่าเป็นแหล่งของใยอาหารหรือมีใยอาหาร จะต้อง มีใยอาหารไม่น้อยกว่า 1.5 กรัม ต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี และการกล่าวอ้างว่าใยอาหารสูงจะต้องมี ไม่น้อยกว่า 3 กรัม ต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี ในขณะที่น้ำมั่งคุดเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณใยอาหารจากการคำนวณเท่ากับ 0.88 กรัม ต่อพลังงาน 100 กิโลแคลอรี

ดังนั้น ผลของการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมั่งคุดผสมเปลือกทุเรียน จึงเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเศษเหลือเปลือกทุเรียนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โดยต้องพัฒนา รูปแบบของเปลือกทุเรียน เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารจากเปลือกทุเรียนในผลิตภัณฑ์ให้ได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ 2563

เอกสารอ้างอิง

กุลนิภา ธารรุ่งรังสี, ณีฎฐา เลหากุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. (2557). การสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกข้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 45 (2) (พิเศษ), 1-4.

กุลพร พุทธิมี และศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล. (2560). การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของข้าวเกรียบหอยนางรมด้วยเส้นใยอาหารจากเปลือกทุเรียน กลุ่มหอยนางรมครบวงจรคั้งกระเบน ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 11 (3), 13-22.

เจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์ และจักรวาล ภูเสม. (2561). ผลของการใช้เปลือกทุเรียนผงทดแทนแป้งข้าวสาลีต่อคุณภาพของเค้กบราวนี่. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, 12 (1), 113-124.

นรินทร์ เจริญพันธ์ และวิดา กวานเทียน. (2560). ผลของแป้งจากเศษเหลือทิ้งของทุเรียนต่อคุณภาพของพาสต้าปราศจากกลูเตน. http://dspace.lib.buu.ac.th/xmlui/bitstream/handle/1234567890/3525/2562_069.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

ปรอยฝน เลิศวนวัฒนา และนภาพร เชี่ยวชาญ. (2551). พฤติกรรมการไหลของน้ำสับประดผสมใยอาหารผงจากกากมะนาว. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 31 (3), 497-511.

ประสาน สวัสดิ์ชิตัง. (2538). การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน. *วารสารอาหาร*, 25 (3), 160-169.

ศุภมาส กลิ่นขจร, นารีรัตน์ สุนทรธรรม, พัจนา สุภาสุรีย์ และสุปรียา สุขเกษม. (2558). การผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากน้ำมั่งคุด. *วารสารวิชาการเกษตร*, 33 (2), 190-204.

โศรดา วัลภา, กุลรภัส วชิรศิริ, ดำรงชัย สิทธิสำอาง และฐิติชญา สุวรรณทัฬ. (2553). ผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนต่อคุณภาพของขนมปังขาว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 40 (3), 205-208.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). *ทุเรียน: เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2563*. <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/durian63.pdf>

หยาดฝน ทะนงการกิจ. (2556). การใช้ประโยชน์จากเศษผักผลไม้เหลือทิ้งเพื่อผลิตเป็นใยอาหารผง. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 9 (1), 31-38.

หยาดรุ่ง สุวรรณรัตน์, จิรพร สวัสดิการ, ปารณีย์ สร้อยศรี และคมสัน มุยสี. (2560). สมบัติทางกายภาพและความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของใยอาหารจากเปลือกทุเรียน. ใน รายงานสืบเนื่องจากการประชุมสัมมนาวิชาการ, *บูรณาการงานวิจัยสู่การพัฒนาท้องถิ่นที่ยั่งยืน. การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17* (หน้า2279-2287). มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

หยาดรุ่ง สุวรรณรัตน์ และจิรพร สวัสดิการ. (2561). ปริมาณใยอาหารและคุณสมบัติการต้านแบคทีเรียของใยอาหารจากเปลือกทุเรียนที่ผ่านการทำแห้งแบบลมร้อนและแบบแช่เยือกแข็ง. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 12 (1), 178-185.

AOAC. (2000). *Official Method of Analysis of AOAC international*. (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists Inc. USA.

- BAM. (2012). *Bacteriological Analytical Manual*. Food and Drug Administration.
- Silva, V. M., Martins, C., & Silva, L. M. (2008). Design and Optimization of Hot-Filling Pasteurization Conditions: Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) Fruit Pulp Case Study. *Biotechnology Progress*, 19 (4), 1261-1268.
- Surya, N., Jesupriya Poornakala, S., Kanchana, S., & Hemalatha, G. (2020). Development of Amla (*Emblica officinalis*) ready to serve beverage fortified with dietary fiber. *Emergent Life Sciences Research*, 6 (1), 6-15.

ลักษณะทางกายวิภาค ปริมาณสารพฤษเคมี และฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากลำต้น ไต่ดินมันเลือด (*Dioscorea alata* L.)

Anatomical characteristics, phytochemical content and biological activities from the tubers extract of *Dioscorea alata* L.

ชนาภร คุณวงศ์¹, วิลาวรรณย์ พร้อมพรม^{2*}, วรณชัย ชาแทน², ศจีรา คุปพิทยานันท์³
Chanapon Khunwong¹, Wilawan Promprom^{2*}, Wannachai Chatan², Sajeera Kupittayanant³

Received: 24 May 2022 ; Revised: 22 August 2022 ; Accepted: 8 September 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อตรวจสอบจุลทรรศน์ลักษณะของกายวิภาคศาสตร์ของใบ และลักษณะรูปร่างเม็ดแป้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสของสารสกัดหยาบจากลำต้นไต่ดินมันเลือดด้วยเอทานอล ศึกษาลักษณะเนื้อเยื่อและโครงสร้างของใบสดและผงใบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนมีรูปร่างหลายเหลี่ยม และรูปร่างปากใบเป็นแบบอะนอโมไซติก ลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งของลำต้นไต่ดินมันเลือด มีลักษณะคล้ายจอบปลายตัด (spade-shaped) มีผิวหน้าเรียบ อยู่ในเนื้อเยื่อ พาเรงคิมา การวิเคราะห์สารสำคัญ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และปริมาณแอนโทไซยานินรวม มีค่าเท่ากับ 310.30 ± 0.39 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม สารสกัด 323.05 ± 3.92 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด และ 10.26 ± 1.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธีการขจัดอนุมูลอิสระด้วย DPPH radical scavenging assay รายงานผลในหน่วยค่าความเข้มข้นที่ให้ผลต้านออกซิเดชันครึ่งหนึ่ง ได้ค่า IC_{50} เท่ากับ 4.90 ± 2.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ขณะที่สารสกัดแสดงความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกให้เป็นเฟอร์รัสมีค่า เท่ากับ 61.27 ± 5.02 มิลลิโมลาร์ต่อมิลลิกรัม การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ถูกนำมาวัดกิจกรรมของเอนไซม์โดยมีสารอะคาร์โบสเป็นตัวยับยั้งมาตรฐานได้ค่า IC_{50} เท่ากับ 1.25 ± 6.32 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพสมุนไพรและเป็นข้อมูลสำคัญในการสนับสนุนการใช้ยาสมุนไพร และนำมาใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

คำสำคัญ: มันเลือด ลักษณะทางกายวิภาค สารพฤษเคมี ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

Abstract

The present research aimed to determine the characteristics of leaf anatomy and starch granules, total phenolic, total flavonoid and total anthocyanin contents, antioxidant activity, and α -amylase inhibition activity of *D. alata* tuber ethanolic extract. A microscope was used to examine the microscopic structure of tissue from *D. alata* fresh leaves and traditional medicine powder. The results showed that the shapes of the epidermal cells are polygonal, anomocytic stomatal type. The yam starch granules were spade-shaped with a truncated and smooth surface in the parenchyma tissue. The phytochemical analysis revealed that the total phenolic, total flavonoid, and anthocyanin contents of crude tuber extract were 310.30 ± 0.39 mgGAE.g⁻¹, 323.05 ± 3.92 mgQE.g⁻¹ and 10.26 ± 1.34 μ g/ml of extract, respectively. The antioxidant screening activity using DPPH radical scavenging assay is represented by a half maximal effective

¹ นักศึกษา, หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² รองศาสตราจารย์, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

³ รองศาสตราจารย์, สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

¹ Master of Science (Biology), Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province. 44150
E-mail: chanapon.khu@msu.ac.th

² Associate Professor, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham Province. 44150

³ Associate Professor, Department of pre-clinic, Institute of Science Suranaree University of Technology, Mueang Nakhon Ratchasima District, Nakhon Ratchasima 30000

* Correspondent author: Wilawan.pp@msu.ac.th

concentration IC_{50} value of 4.90 ± 2.50 mg/ml. While the extract showed the strongest capability to reduce Fe^{3+} to Fe^{2+} with reduction activity at 61.27 ± 5.02 mMFeSO₄/g of extract, and α -amylase inhibition activity was measured using the enzyme activity of acarbose as a standard inhibitor, IC_{50} of 1.25 ± 6.32 mg/ml. The results of this study are very useful in the quality control of herbs and provide important information to support the use of medicinal plants and functional foods.

Keywords: *Dioscorea alata* L., Anatomical characteristics, Phytochemical, Antioxidant activities

บทนำ

มันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea*) จัดอยู่ในวงศ์ Dioscoreaceae พบที่มีการกระจายอยู่ทั่วโลกในแถบทวีปแอฟริกา ตอนกลาง และตอนใต้ของทวีปอเมริกา และทวีปเอเชียประมาณ 600 ชนิด สำหรับประเทศไทยพบเพียงประมาณ 42 ชนิด (Wilkin & Thapyai, 2009) และมีเพียง 15-20 ชนิดที่สามารถใช้เป็นอาหารและยารักษาโรคได้ (Briggs *et al.*, 1990) เป็นพืชพื้นบ้านมีประโยชน์ในการใช้เป็นอาหารคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ทางการแพทย์ ช่วยล้างสารพิษในร่างกาย และมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน ทั้งแป้ง น้ำตาล โปรตีน และธาตุอาหารที่มีประโยชน์ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม กรดโฟลิก และสารแอนโทไซยานิน มันพื้นบ้านบางชนิดเป็นแหล่งของวิตามินซีที่สำคัญ (Chen *et al.*, 2003) พบการรายงานวิจัยพืชสกุลนี้บางชนิดที่น่าสนใจ และเป็นชนิดที่มีการกระจายในประเทศไทย คือ มันเลือด หรือ มันเส้า (*D. alata* L.) ลักษณะเด่นทางสัณฐานวิทยาของมันเลือดที่ทำให้แยกชนิดได้คือ ลักษณะลำต้นมีปีก (wing stems) รูปทรงของหัว ใบ ก้านใบ และสีของเนื้อหัวมันเลือด เป็นพืชที่มีลักษณะลำต้นเลื้อย ลำต้นใต้ดินรูปทรงกระบอก เปลือกหัวสีน้ำตาลแกมเทา เนื้อในหัวมีสีขาวแกมเหลืองไปจนถึงสีม่วงอมแดง ลำต้นส่วนใหญ่สีม่วงอมแดง มีครีบบางยาว 4 ครีบ ใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม ดอกเพศผู้ขนาดเล็กเกิดรวมกันเป็นช่อ ดอกเพศเมียมีรังไข่รูปรีแกมรูปไข่ มักมีสีม่วงอมแดงตามแกนกลาง ผลทรงกลมแผ่ออกเป็น 3 พู เมล็ดรูปหยดน้ำ มีปีกกลมสีน้ำตาลล้อมรอบ (เชิดศักดิ์ ทัพใหญ่, 2560) มันเลือดเป็นมันพื้นบ้านที่ปลูกง่ายมีหัวไว้บริโภค มีประโยชน์ในการใช้เป็นอาหาร เป็นแหล่งโปรตีนร้อยละ 7.4 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 75-84 และมีไขมัน ไฟเบอร์ แร่ธาตุที่จำเป็นได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัสและ โซเดียม เป็นต้น นอกจากนี้มีวิตามินที่สำคัญ เช่น วิตามิน ซี อี เค เอ และวิตามินบี (Chandrasekara, 2016) มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ saponins, sapogenins, mucin, dioscin, dioscorin, allantoin, choline, polyphenole, diosgenin, carotenoids และ tocopherols (Podolak *et al.*, 2010)

นอกจากนี้ยังพบว่า มันเลือดมีสารกลุ่มแอนโทไซยานิน ที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (สมนึกพรหมแดง และคณะ, 2561) พบสาร diosgenin และ corticosteroids (Satour *et al.*, 2007) จากรายงานการวิจัยพบว่ามันเลือดมีฤทธิ์ทางชีวภาพคือ มีฤทธิ์ต้านเบาหวานและลดระดับไขมันในเลือด (Maithili *et al.*, 2011) ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย (Miksusanti *et al.*, 2013) โดยทั่วไป มันเลือดที่พบในประเทศไทยมีหลากหลายสายพันธุ์ของแหล่งที่ปลูกตามธรรมชาติ การตรวจเอกลักษณ์หรือการศึกษาทางเภสัชเวทจึงมีความสำคัญ นอกจากจะจัดทำมาตรฐานลักษณะวินิจฉัยชนิดพืชสมุนไพร ยังใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและการใช้ประโยชน์ในวิทยาศาสตร์สาขาอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไปโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันซึ่งมีรายงานการศึกษามากมายถึงความสัมพันธ์ของสารต้านอนุมูลอิสระต่อบทบาทสำคัญในการป้องกันและยับยั้งโรคต่างๆ มากมายรวมทั้งภาวะโรคเบาหวาน การรับประทานมันเลือดยังช่วยเพิ่มฮอร์โมนเพศ ลดไขมันและเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ ผลกระทบเหล่านี้จะช่วยลดความเสี่ยงของโรคมะเร็งเต้านมและโรคหลอดเลือดหัวใจในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือนได้ (Wu *et al.*, 2005) มันเลือดบางสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมเลส และเส้นใยอาหารสูงเหมาะที่จะนำมาประกอบอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Oko & Famurewa, 2015)

จากบทนำดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่า มันเลือดมีความน่าสนใจในด้านประสิทธิภาพ และฤทธิ์ทางชีวภาพด้านการรักษาโรคต่างๆ และปัจจุบันมีการบริโภคมันเลือดซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองกันอย่างกว้างขวาง ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ศึกษาตัวอย่างจากมันพื้นบ้านที่มีชื่อท้องถิ่นว่ามันเลือดจากจังหวัดสกลนคร โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของมันเลือดและเม็ดแป้งจากลำต้นใต้ดินของมันเลือด เพื่อใช้ศึกษาความเป็นเอกลักษณ์ของพืชสมุนไพร มันเลือด ด้านจุลทรรศน์ลักษณะ (microscopic identification) รวมทั้งศึกษาสารพิษเคมีและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสมุนไพรมันเลือด ด้วยวิธี DPPH และ FRAP และฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลส เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิจัยพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (Basic science) เพื่อสนับสนุนการศึกษาวิจัยในลำดับที่สูงขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของผิวใบและเม็ดแบ่งที่สะสมในลำต้นไต้ดินมันเลือด
2. เพื่อหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม และปริมาณแอนโทไซยานิน ของสารสกัดจากลำต้นไต้ดินมันเลือด
3. เพื่อศึกษาฤทธิ์ชีวภาพของสารสกัดจากลำต้นไต้ดินมันเลือด

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างพืช

เก็บตัวอย่างพืชมันเลือดที่พบในพื้นที่ป่าธรรมชาติในเดือนมีนาคม 2561 จากอำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย แล้วนำมาตรวจสอบระบุชื่อวิทยาศาสตร์ โดยมีตัวอย่างพรรณไม้อ้างอิงงานวิจัยคือ (Khunwong CH. 001) เก็บรักษาไว้ที่ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และระบุชนิดพืชจากตัวอย่างพรรณไม้อ้างอิงงานวิจัย ตรวจสอบจากเอกสารทางอนุกรมวิธานคือ Wilkin and Thapyai (2009)

2. ศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของผิวใบและเม็ดแบ่งของมันเลือด

2.1 ศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ โดยวิธีการลอกผิว

ศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ โดยนำตัวอย่างที่รักษาสภาพเซลล์ในเอทานอล 70% มาลอกผิวใบด้านที่ไม่ต้องการศึกษาออกด้วยใบมีดโกน ย้อมสีตัวอย่างด้วยสีซาฟรานิน (safranin) ความเข้มข้น 1% ที่ละลายในน้ำเป็นเวลา 30 วินาที ล้างสีส่วนเกินออกด้วยน้ำ และดึงน้ำออกจากชิ้นตัวอย่าง (dehydration) โดยแช่ในเอทานอลที่มีความเข้มข้น 30%, 50%, 70%, 95%, 100% และเอทานอลความเข้มข้น 100% ผสมกับไซลีน (xylene) อัตราส่วน 1:1 ตามลำดับขั้นตอนละ 10 นาที ทำชิ้นตัวอย่างให้ใสโดยแช่ในไซลีนนาน 5 นาที และฟลักส์ไลต์ด้วย DePeX

2.2 ศึกษาลักษณะของเนื้อเยื่อผงบใบ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

เตรียมผงบใบ จากใบแก่มันเลือด นำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 100 ผกึสไลต์โดยใช้น้ำกลั่น จากนั้นตรวจสอบเนื้อเยื่อชั้นผิวใบของผงบใบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ที่กำลังขยาย 40X

2.3 ศึกษารูปร่างเม็ดแบ่งจากลำต้นไต้ดินมันเลือด

การศึกษารูปร่างลักษณะเม็ดแบ่งจากลำต้นไต้ดินมันเลือดสด โดยใช้ปลายมีดขูดเนื้อเยื่อบริเวณกึ่งกลางของหัวมันเลือด นำเนื้อเยื่อที่ได้มาวางบนแผ่นสไลด์ หยดสารละลายไอโอดีน 2 % ลงบนเนื้อเยื่อ 1-2 หยด ใช้ด้ามเข็มเขี่ยยี้ให้เม็ดแบ่งหลุดออกจากเนื้อเยื่อ คีบเอาเศษเนื้อเยื่อที่เหลือทิ้งไป วางแผ่นกระจกปิดสไลด์ทับลงไป นำแผ่นสไลด์ไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์

การเตรียมเม็ดมันเลือด นำมาล้างน้ำให้สะอาด ปอกเปลือกออก แล้วบดโดยใช้น้ำด้วยเครื่องปั่น จากนั้นนำมากรอง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นเทน้ำส่วนบนออกและล้างเม็ดแบ่งซ้ำด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง นำตะกอนเม็ดแบ่งที่ได้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นำมาบดละเอียดอีกครั้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อน (sieve) นำเม็ดแบ่งมาศึกษาลักษณะรูปร่างเม็ดแบ่ง โดยใช้กล้อง Scanning electron microscopy (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM 6460LV

3. การศึกษาพิษฤกษ์เคมีและฤทธิ์ชีวภาพ

3.1 วิธีการสกัดสารตัวอย่าง

นำลำต้นไต้ดินมันเลือด มาล้างให้สะอาด หั่นและนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำไปบดให้ละเอียด สกัดผงด้วยเอทานอล 95 % ด้วยวิธีการแช่ (maceration) ผู้วิจัยได้นำผงพืชสมุนไพรมาผสมกับตัวทำละลายที่ใช้ด้วยสัดส่วนโดยมวลผงพืชต่อปริมาตรตัวทำละลายเป็น 1 ต่อ 10 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมากรองผ่านกระดาษกรอง เพื่อนำกากที่แยกได้ไปสกัดต่ออีก 1 รอบ ด้วยสภาวะและกระบวนการสกัดเดียวกัน จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 รอบมาระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) แล้วนำสารสกัดหยาบแห้งที่ได้มาใส่ในโถดูดความชื้นเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บในภาชนะที่บับแสงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์สารพิษฤกษ์เคมีและฤทธิ์ชีวภาพในลำดับต่อไป

3.2 การตรวจสอบหาปริมาณฟีนอลิก- กรวม

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมตามวิธีการของ Basma *et al.* (2011) นำสารสกัดลำต้นไต้ดินมันเลือดมาละลายในเอทานอล 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu 10% ปริมาตร 500 ไมโครลิตร น้ำกลั่น ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย Sodium carbonate 7.5% (w/v) ปริมาตร 800 ไมโครลิตร ตั้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร โดยใช้ความเข้มข้นของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานตั้งแต่ 5-30 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

3.3 การตรวจสอบหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวม

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ใช้วิธี Aluminium Chloride Colorimetric โดยวิธีของ Prommuak *et al.* (2008) ทำได้โดยผสมสารละลายของสารสกัดความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรกับเอทานอล 1.5 มิลลิลิตรแล้วเติม 10% Aluminium Chloride ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและเติม 1 โมลาร์ Potassium Acetate ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้าย 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เทียบกับกราฟมาตรฐานของเคอร์ซีติน แสดงผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด

3.4 การตรวจสอบหาแอนโทไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินโดยดัดแปลงตามวิธีการของ Giusti *et al.* (2001) โดยนำสารสกัดลำต้นใต้ดินมันเลือด 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง 2 หลอด หลอดที่ 1 เติมน้ำกลั่น potassium chloride buffer ที่มีค่า pH 1.0 ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร หลอดที่ 2 เติมน้ำกลั่น sodium acetate buffer ที่มีค่า pH 4.5 ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และ 700 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-VIS spectrophotometer และใช้ Cyanidin-3-O-glucoside ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของสารสกัดลำต้นใต้ดินมันเลือด (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.5 การทดสอบฤทธิ์ชีวภาพ

3.5.1 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH free radical scavenging Ayoola *et al.* (2008) เตรียมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 0.05 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 10 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอล 500 มิลลิลิตร และเตรียมสารสกัดลำต้นใต้ดินมันเลือด ที่ความเข้มข้น 36.5 -1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำสารสกัดจากที่เตรียมข้างต้น จำนวน 750 ไมโครลิตร และ DPPH 0.1 ไมโครลิตร ในอัตราส่วน 1:1 ใส่ลงในหลอดทดลองแล้วนำไปทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร วัดค่าการดูดกลืนแสงทุกหลอดรวมทั้งหลอดควบคุม (DPPH) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ คำนวณค่า % Radical scavenging activity และค่า IC₅₀ โดยใช้สูตรคำนวณ % Radical scavenging ดังนี้

$$\% \text{ Radical Scavenging} = \frac{(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}})}{A_{\text{control}}} \times 100$$

A control

เมื่อ A control คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH

A sample คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH เมื่อเติมสารตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน

3.5.2 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี FARP ดัดแปลงของ Benzie *et al.* (1996) เตรียมสารละลาย FRAP (Ferric reducing antioxidant power) reagent ที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมล ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และ ชั่งสารตัวอย่าง 0.2 กรัม ละลายในเอทานอล 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้มีความเข้มข้นในช่วง 50-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเปิดสารละลาย FRAP ปริมาตร 950 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นที่ทำการเจือจางแล้วปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และคำนวณหา mmole FeSo₄/g d.wt.extract

3.5.3 การตรวจวัดกิจกรรมแอลฟาอะไมเลส (α-amylase) ทำการชั่งแป้งมันฝรั่ง 100 มิลลิกรัม ใน 5 มิลลิลิตรของฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 จากนั้นต้มให้ละลาย รอให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เตรียมสารสกัดลำต้นใต้ดินมันเลือด ที่ความเข้มข้น 0.1-1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและสารละลายแป้ง 50 ไมโครลิตร จากนั้นบ่มไว้ 5 นาทีที่ 37 องศาเซลเซียส เติมน้ำกลั่น 5 ไมโครลิตรต่อมิลลิลิตรของแอลฟาอะไมเลส 20 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นทำการหยุดปฏิกิริยา ด้วย 1 โมลาร์ของกรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 50 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร (Luyen *et al.*, 2013)

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลส ทั้งหมดทำการทดสอบซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง (n=3) แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ยและหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัย

1. ศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของมันเลือด

1.1 เนื้อเยื่อชั้นผิวใบ และเนื้อเยื่อผงใบ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

เนื้อเยื่อผิวใบด้านบน (upper epidermis) ประกอบด้วยเซลล์ในเนื้อเยื่อรูปร่างหลายเหลี่ยมเซลล์เรียงชิดติดกัน ไม่พบปากใบ และรอยางค์ผิว (Figure 1 A) เนื้อเยื่อผิวใบด้านล่าง (lower epidermis) ประกอบด้วยเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวเซลล์เรียงชิดติดกันมีผนังหยาบโค้งไม่สม่ำเสมอ ไม่พบคิวทินเคลือบที่ผิว ชนิดปากใบเป็นแบบอะนอโมไซติก (Figure 1 B)

จากการตรวจจุลทรรศน์ลักษณะส่วนผงใบพบว่า มีสีเขียวซีมัว ไม่มีกลิ่น มีรสจืด และการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบ ชั้นส่วนของผิวใบ มีเซลล์ในเนื้อเยื่อผิวรูปร่างหลายเหลี่ยม (Figure 1 C) พบปากใบแบบอะนอมไซติกติก และคลอโรพลาสต์ (Figure 1 D)

1.2 ลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งจากลำต้นใต้ดินมันเลือด

จากผลการศึกษาลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งจากลำต้นใต้ดินมันเลือดโดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และอิเล็กตรอนแบบส่งกราด พบว่า เม็ดแป้งของลำต้นใต้ดินมันเลือดมีลักษณะรูปร่างคล้ายจอบปลายตัด และทั้งหมดมีผิวหน้าเรียบ มีการกระจายตัวอยู่ในเนื้อเยื่อพาราเควทิมา (Figure 2)

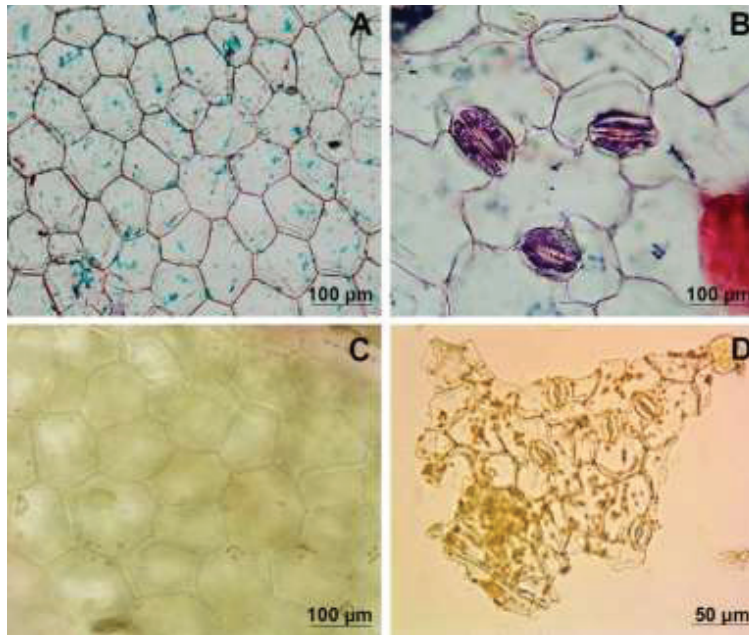


Figure 1 Leaf epidermis of *D. alata*; upper epidermis (A), lower epidermis with anomocytic stomata (B), epidermis feature of traditional medicine powder (C), epidermal cells with stomata observed from traditional medicine powder (D)

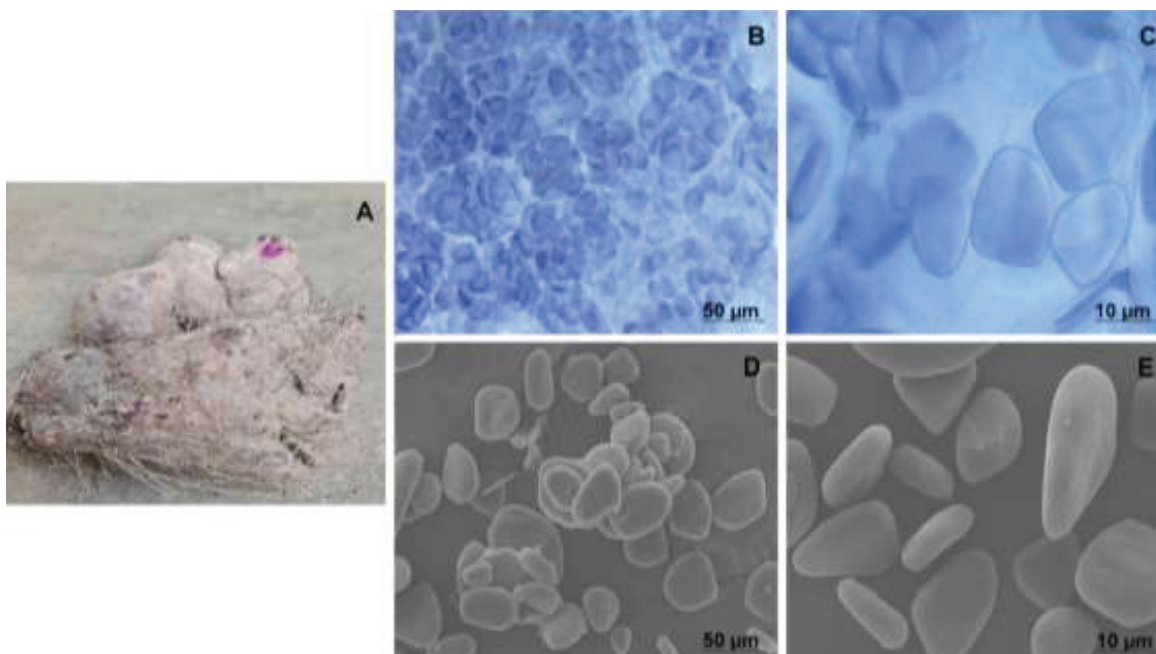


Figure 2 Morphology of yam tuber (*D. alata*) (A), starch granules in cytoplasm (B), isolated starch granules (C), starch granules visualized by SEM the scale bar 50 μm (D) and 10 μm (E)

2. สารสำคัญ ปริมาณฟีนอลิกรวม ปริมาณ ฟลาโวนอยด์รวม และปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดจากลำต้นใต้ดินของมันเลือด

สารสกัดหยาบที่ได้จากลำต้นใต้ดินมันเลือดที่สกัดด้วยเอทานอลมีลักษณะเหนียวหนืดสีม่วงคล้ำเข้ม น้ำหนักของสารสกัดหยาบและผลการคำนวณร้อยละปริมาณสารสกัด (%yield crude extract) ได้เท่ากับร้อยละ 14.15

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดคำนวณได้จากสมการกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ($y = 0.0151x + 0.0629$, $R^2 = 0.9990$) พบว่า สารสกัดเอทานอลจากหัวมันเลือดมีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 310.30 ± 0.39 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด

ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมคำนวณได้จากกราฟมาตรฐานเคอร์ซีติน ($y = 0.0047x + 0.004$, $R^2 = 0.9902$) พบว่า สารสกัดจากลำต้นใต้ดินมันเลือดมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์เท่ากับ 266.74 ± 3.42 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด

สำหรับปริมาณแอนโทไซยานินรวมของสารสกัดลำต้นใต้ดินมันเลือด วิเคราะห์โดยใช้สารละลาย cyanidin-3-glucoside เป็นสารมาตรฐาน พบว่า สารสกัดมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 10.26 ± 1.34 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงใน Table 1

Table 1 Phytochemical, antioxidant activities and α -amylase inhibition activity

Phytochemical Content and Biological Activities	Extract	Standard
Total phenolic content (mgGAE.g ⁻¹)	310.30 \pm 0.39	Gallic acid
Total flavonoid content (mgQE.g ⁻¹)	323.05 \pm 3.92	Quercetin
Total anthocyanin content (mg/L)	10.26 \pm 1.34	Cyanidin-3-O-glucoside
1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), IC ₅₀ (mg/mL)	4.90 \pm 2.50	Vitamin C
Ferric reducing ability power (FRAP) assay (mM/g d.wt extract)	61.27 \pm 5.02	FeSO ₄
Alpha-amylase (mg/ml)	1.25 \pm 6.32	Acarbose

วิจารณ์และสรุปผล

พืชสกุลถั่วหรือมันพื้นเมืองส่วนใหญ่นำมาเป็นพืชอาหารและยังสามารถนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพร ทั่วโลกมีรายงานประมาณ 60 ชนิด (Martin, 1974) ในประเทศไทยมีการศึกษาพบทวนพืชสกุลนี้ พบจำนวน 42 ชนิด (Wilkin & Thapyai, 2009) มีชนิดที่นำมารายงานเป็นพืชสมุนไพร ที่มีความน่าสนใจคือ *D. alata* มีฤทธิ์ต้านเบาหวาน (Maithili *et al.*, 2011) จากการสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของมันเลือดจากจังหวัดสกลนคร พบลักษณะเด่น คือ ลำต้นเป็นสีเหลืองที่เหลี่ยมมีปีก 4 ปีก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันเลือดอ้างอิงจากเอกสาร Flora of Thailand (Santisuk

3. การศึกษาฤทธิ์ชีวภาพ ของสารสกัดจากลำต้นใต้ดินของมันเลือด

3.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging ใช้สารสกัดความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถ้าสารสกัดมีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระมากกว่าร้อยละ 50 จะนำมาหาค่า IC₅₀ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ใช้วิตามินซีเป็นสารมาตรฐาน ผลการทดสอบพบว่าสารสกัดจากลำต้นใต้ดินมันเลือดที่สกัดด้วยเอทานอลมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 4.90 ± 2.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบความสามารถเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของสารสกัดจากลำต้นใต้ดินมันเลือดมีค่าเท่ากับ Fe³⁺ เท่ากับ 61.27 ± 5.02 มิลลิโมลาร์ต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ แสดงใน Table 1

3.2 ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

จากการนำสารสกัดจากลำต้นใต้ดินมันเลือดซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มาตรวจสอบฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส โดยใช้สารละลายแป้งข้าวเจ้าเป็นสับสเตรท พบว่า สารสกัดจากลำต้นใต้ดินให้ค่า IC₅₀ ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.25 ± 6.32 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงใน Table 1

& Larsen, 2009) จากการตรวจสอบลักษณะทางกายวิภาคของต้นมันเลือด ส่วนของใบมันเลือดทั้งใบสด และของผงยาพบว่า ใบมีลักษณะเด่นทางกายวิภาคคือ พบปากใบแบบอะนอไมโซติก เป็นปากใบที่ไม่มีเซลล์ข้างเซลล์คุม (subsidiary cell) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Purnomo *et al.* (2020) ศึกษาลักษณะโครงสร้างของ *D. alata* มีลักษณะรางค์ผิวที่มีหลายรูปแบบ และมีปากใบแบบอะนอไมโซติก ในการศึกษาเนื้อเยื่อผิวใบสด ทำให้เป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ของผงยาของมันเลือดได้ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อวงการแพทย์แผนไทยที่จะนำมาใช้รักษาโรคเบาหวาน เนื่องจากพืชชนิดนี้เมื่อปลูกในพื้นที่ต่างกันมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายกัน

แต่เมื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหัวมันเลือดจากพื้นที่ที่แตกต่างกันก็พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันได้ (สมนึก พรหมแดง และคณะ, 2561) ลักษณะของเม็ดแป้งที่ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลดังแสดงใน Figure 2 พบว่า แป้งของลำต้นใต้ดินมันเลือด มีลักษณะรูปร่างคล้ายจอบปลายตัด และทั้งหมดมีผิวหน้าเรียบ และจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Hongsprabhas *et al.* (2014) พบมีรูปร่างเป็นแบบคล้ายจอบปลายตัดและทั้งหมดมีผิวหน้าเรียบ เป็นมันเลือดจากประเทศไทย ทั้งนี้จากรายงานวิจัยของ Purnomo *et al.* (2020) ที่ศึกษาลักษณะเม็ดแป้งมันเลือดพบรูปร่างเม็ดแป้งเป็นแบบหลายเหลี่ยม (polyhedral shape) อาจเป็นไปได้ว่าตัวอย่างที่ใช้ศึกษาต่างพื้นที่กันซึ่งจากรายงานวิจัยของ Purnomo *et al.* (2020) ใช้ตัวอย่างมันเลือดจากประเทศอินโดนีเซีย จากลักษณะโครงสร้างนี้อาจใช้ในการจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานได้

องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากลำต้นใต้ดินมันเลือดมีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวมสูง ซึ่งน่าจะมาจากอิทธิพลของตัวทำละลายที่สามารถละลายกลุ่มของสารสำคัญในลำต้นใต้ดินมันเลือดออกมา จึงส่งผลให้สารสกัดที่ได้และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก-ลิควรมและฟลาโวนอยด์รวมที่สูง โดยพบว่าเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม มีความสามารถในการละลายสูงในตัวทำละลายที่มีขั้ว ส่งผลให้สารสกัดเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วสูงมีปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกในสารสกัดมาก ดังนั้นจึงสามารถสกัดสาร ที่มีขั้วออกมาจากลำต้นใต้ดินมันเลือดได้ ทำให้สารกลุ่มฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบละลายออกมาได้ (Mohsen *et al.*, 2009) อีกทั้งยังพบปริมาณแอนโทไซยานินรวมเป็นสารเด่นในมันเลือด จากรายงานวิจัยของ Yang *et al.* (2019) แอนโทไซยานินเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบในเม็ดสีของพืชมีตั้งแต่สีแดง สีม่วง หรือ สีน้ำเงิน ในหัวมันเลือดพบแอนโทไซยานินกลุ่มไซยานิดินมากที่สุด ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และต้านแบคทีเรีย และมีฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ (Yang *et al.*, 2019)

การทดสอบความสามารถในการเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในครั้งนี้ เลือกรูปการทดสอบคุณสมบัติในการเป็นตัวจับอนุมูลอิสระ (free radical scavenger) ด้วยวิธี DPPH assay เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว เนื่องจาก DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียร (Ahmad *et al.*, 2005)

นอกจากนี้ยังศึกษาคูณสมบัติในการเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay ผลการศึกษาพบว่า สารสกัดลำต้นใต้ดินมันเลือด มีความสามารถในการให้

อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ เพื่อให้อยู่ในสภาวะเสถียร เนื่องจากสารสกัดในการศึกษาครั้งนี้เป็นสารสกัดหยาบ ซึ่งประกอบไปด้วยสารหลายชนิด ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในการศึกษาในครั้งนี้พบว่า มีปริมาณสารสำคัญคือ ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานินรวม ซึ่งสารที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ เป็นสารที่มีบทบาทที่สำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (Sakthidevi *et al.*, 2013) โดยจะช่วยในการขับตัวเร่งปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระ (Das *et al.*, 2012) ปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่สูงขึ้นก็จะทำให้ความสามารถขจัดอนุมูลอิสระ DPPH และสามารถในการรีดิวซ์เหล็กสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกในพืชยังมีส่วนช่วยป้องกันเซลล์ภายในร่างกายจากการทำลายของสารอนุมูลอิสระ (Zambrowicz *et al.*, 2012) ยิ่งไปกว่านั้นสารแอนโทไซยานินที่พบในสารสกัดมันเลือดยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าวิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีนหลายเท่า (Sakthidevi *et al.*, 2013) จากการศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องในการลดอัตราการเสี่ยงและเพิ่มอัตราป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคเมเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือด และโรคเบาหวาน เป็นต้น (Chen *et al.*, 2006)

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสด้วยสารสกัดหยาบจากลำต้นใต้ดินมันเลือด พบว่า มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่มีความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ร้อยละ 50 (IC_{50}) เท่ากับ 1.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม แสดงว่าสารสกัดหยาบจากลำต้นใต้ดินมันเลือดมีประสิทธิภาพยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ทั้งนี้เนื่องจากสารฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานิน ซึ่งสารฟลาโวนอยด์และแอนโทไซยานินสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูที่เป็นเบาหวานได้ (Kumar *et al.*, 2013; Rasamalla *et al.*, 2017) โดยออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และแอลฟาไกลูโคซิเดส (Deshmukh *et al.*, 2017; Rasamalla *et al.*, 2017) ซึ่งปกติเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส จากตับอ่อนจะย่อยแป้งที่ตำแหน่ง α -1,4-glycosidic linkage เป็นคาร์โบไฮเดรตสายสั้นๆ และน้ำตาลโมเลกุลคู่ จากนั้นถูกย่อยโดยเอนไซม์ α -glucosidase จากลำไส้ต่อไปจนได้น้ำตาลกลูโคส แล้วจึงถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด (Standl & Schnell, 2020) สำหรับการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองดังกล่าวส่งผลให้การเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นน้ำตาลกลูโคสในทางเดินอาหารเกิดน้อยลง จึงช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด สารฟลาโวนอยด์ดังกล่าวยังสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหาร (postprandial hyperglycemia) ในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ โดยการกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองต่อฮอร์โมนอินซูลิน (Johnston *et al.*, 2005) และขัดขวาง

การขนส่งกลูโคสจากลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือด โดยการเข้าจับกับโปรตีนที่ทำหน้าที่ขนส่งกลูโคส (Na⁺-dependent glucose transporters) ทำให้กลูโคสไม่สามารถเข้าจับได้จึงไม่ถูกขนส่งเข้าสู่กระแสเลือด (Kobayashi *et al.*, 2000) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจากลำต้นไต้ดินมันเลือดซึ่งเป็นส่วนที่รับประทานและใช้สารละลายแป้งข้าวเจ้าเป็นสับสเตรท เนื่องจากต้องการให้การทดลองในหลอดทดลองมีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับในระบบย่อยอาหารของคนให้มากที่สุด และให้เหมาะสมกับคนไทยที่นิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก จากผลการทดลองพบว่า สารสกัดจากลำต้นไต้ดินมันเลือดมีสารฟลาโวนอยด์ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสได้ หรือลดอัตราการย่อยสลายแป้งข้าวเจ้าได้ ซึ่งประสิทธิภาพในการยับยั้งนี้สอดคล้องกับปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่มีในสารสกัดจากลำต้นไต้ดินมันเลือด

นอกจากนี้ยังมีสารประกอบฟลาโวนอยด์ และฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติลดระดับน้ำตาลในเลือด และป้องกันเบาหวานชนิดที่ 1 (Maithili *et al.*, 2011)

จากข้อมูลดังกล่าวนี้ จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำลำต้นไต้ดินมันเลือดไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน เพื่อยับยั้งการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะมีผลช่วยลดปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่จะดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2563 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เชิดศักดิ์ ทัพใหญ่ มานะ จิตฤทธิ์ และเทพณรงค์ ยะสุข. (2560). การศึกษาพฤกษศาสตร์พื้นบ้านของของชนเผ่ามลาปรีกรณศึกษา: มันป่าบริเวณศูนย์การเรียนรู้เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตชุมชนน้ำสะเนียน-ห้วยลู่ อำเภอมือง จังหวัดน่าน. *วารสารวนศาสตร์*, 1, 33-46.
- สมนึก พรหมแดง, รงรอง หอมหวล, มณฑา วงศ์มณีโรจน์, รัตนา เอกรัมย์ และสุลักษณ์ แจ่มจำรัส. (2561). สารสำคัญทางโภชนาการของมันเลือด. *วารสารวิชาการเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน สหวิทยาการศาสตร์*, 1 (1), 19-27.
- Ahmad, R., Ali, A. M., Israf, D. A., Ismail, N. H., Shaari, K., & Lajis, N. H. (2005). Antioxidant, radical-scavenging, anti-inflammatory, cytotoxic and antibacterial activities of methanolic extracts of some Hedyotis species. *Life sciences*, 76 (17), 1953-1964.

- Ayoola, G. A., Coker, H. A., Adesegun, S. A., Adepoju-Bello, A. A., Obaweya, K., Ezennia, E. C., & Atangbayila, T. O. (2008). Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for malaria therapy in Southwestern Nigeria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7 (3), 1019-1024.
- Basma, A. A., Zakaria, Z., Latha, L. Y., & Sasidharan, S. (2011). Antioxidant activity and phytochemical screening of the methanol extracts of *Euphorbia hirta* L. *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 4 (5), 386-390.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239 (1), 70-76.
- Briggs, C. J. (1990). Herbal medicine: Dioscorea: the yams-a traditional source of food and drugs. *Canadian Pharmacists Journal*, 123, 413-415.
- Chandrasekara, A., & Josheph Kumar, T. (2016). Roots and tuber crops as functional foods: a review on phytochemical constituents and their potential health benefits. *International Journal of Food Science*.
- Chen, P. N., Chu, S. C., Chiou, H. L., Kuo, W. H., Chiang, C. L., & Hsieh, Y. S. (2006). Mulberry anthocyanins, cyanidin 3-rutinoside and cyanidin 3-glucoside, exhibited an inhibitory effect on the migration and invasion of a human lung cancer cell line. *Cancer letters*, 235 (2), 248-259.
- Chen, Y., Fan, J., Yi, F., Luo, Z., & Fu, Y. (2003). Rapid clonal propagation of *Dioscorea zingiberensis*. *Plant cell, tissue and organ culture*, 73 (1), 75-80.
- Das, A., Chaudhuri, D., Mandal, N., & Chatterjee, A. (2012). Study of antioxidant and reactive oxygen species scavenging activity of the edible tuber of "greater yam" (*Dioscorea alata* L.) from north-east India. *Flora*, 11, 12.
- Deshmukh, N.A., Okram, S., Angami, T., Rymbai, H. and Jha, A.K. (2017). Elephant apple (*Dillenia indica*). Minor fruits: nutraceutical importance and cultivation. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 9 (2), 209-212.

- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, F1-2.
- Hongsprabhas, P., Israkarn, K., Kananurux, N., Sajjaanantakul, T., Idhipong, S. and Sakuanrungsirikul, S. (2014). Characteristics of Thai yam (*Dioscorea alata* L.) and spherulitic structure in starch film. In *Proceedings of the 52nd Kasetsart University Annual Conference Agro-Industry* (pp. 4-7).
- Johnston, K., Sharp, P., Clifford, M., & Morgan, L. (2005). Dietary polyphenols decrease glucose uptake by human intestinal Caco-2 cells. *FEBS letters*, 579 (7), 1653-1657.
- Kobayashi, Y., Suzuki, M., Satsu, H., Arai, S., Hara, Y., Suzuki, K., Miyamoto, Y. and Shimizu, M. (2000). Green tea polyphenols inhibit the sodium-dependent glucose transporter of intestinal epithelial cells by a competitive mechanism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (11), 5618-5623.
- Kumar, S., Kumar, V., & Prakash, O. (2013). Enzymes inhibition and antidiabetic effect of isolated constituents from *Dillenia indica*. *BioMed Research International*.
- Luyen, N. T., Hanh, T. T. H., Binh, P. T., Dang, N. H., Van Minh, C., & Dat, N. T. (2013). Inhibitors of α -glucosidase, α -amylase and lipase from *Chrysanthemum morifolium*. *Phytochemistry Letters*, 6 (3), 322-325.
- Maithili, V., Dhanabal, S. P., Mahendran, S., & Vadivelan, R. (2011). Antidiabetic activity of ethanolic extract of tubers of *Dioscorea alata* in alloxan induced diabetic rats. *Indian journal of Pharmacology*, 43 (4), 455.
- Martin, F. W. (1974). *Tropical yams and their potential. Part 2. Dioscorea bulbifera*. Agriculture Handbook, United States Department of Agriculture.
- Mikusanti, M., Herlina, H., & Masril, K. M. K. (2013). Antibacterial and antioxidant of uwi (*Dioscorea alata* L.) starch edible film incorporated with ginger essential oil. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3 (4), 354-356.
- Mohsen, S. M., & Ammar, A. S. (2009). Total phenolic contents and antioxidant activity of corn tassel extracts. *Food Chemistry*, 112 (3), 595-598.
- Oko, A. O., & Famurewa, A. C. (2015). Estimation of nutritional and starch characteristics of *Dioscorea alata* (water yam) varieties commonly cultivated in the South-Eastern Nigeria. *British Journal of Applied Science & Technology*, 6 (2), 145.
- Podolak, I., Galanty, A., & Sobolewska, D. (2010). Saponins as cytotoxic agents: a review. *Phytochemistry Reviews*, 9 (3), 425-474.
- Prommuak, C., De-Eknamkul, W., & Shotipruk, A. (2008). Extraction of flavonoids and carotenoids from Thai silk waste and antioxidant activity of extracts. *Separation and Purification Technology*, 62 (2), 444 - 448.
- Purnomo, Sumardi, I., Rugayah, & Daryono, B. S. (2020). Identification and phenetic analysis of *Dioscorea* spp. and *Dioscorea alata* L. cultivars based on anatomical characters. In *AIP Conference Proceedings Vol. 2260*, (p. 020024). AIP Publishing LLC.
- Rasamalla, S., Mandava, K., Pal, B.C., Madhira, S., Rajeswari, B.U. and Chandra, J.N. (2017). Bio-assay guided fractionation and isolation of α -glucosidase inhibitory constituents from *Dillenia indica* L. fruit extracts. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 12 (6), 68-74.
- Sakthidevi, G., & Mohan, V. R. (2013). Total phenolic, flavonoid contents and in vitro antioxidant activity of *Dioscorea alata* L. tuber. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5 (5), 115.
- Santisuk, T. & K. Larsen. (2009). *Flora of Thailand. Vol. 10 Part 1*. The Forest Herbarium, National Park, Wildlife and Plant Conservation Department.
- Standl, E., & Schnell, O. (2012). Alpha-glucosidase inhibitors 2012-cardiovascular considerations and trial evaluation. *Diabetes and Vascular Disease Research*, 9 (3), 163-169.
- Wilkin, P. & Thapayai, C. (2009). *Dioscoreaceae*. In Santisuk T. & Larsen K., eds. *Flora of Thailand*. Prachachon.
- Wu, W. H., Chung, C. J., Liu, L. Y., Jou, H. J., & Wang, T. A. (2005). Estrogenic effect of yam ingestion in healthy postmenopausal women. *Journal of the American College of Nutrition*, 24 (4), 235-243.

Yang, L., Rong-Rong, C., Ji-Li, F., & Ke, Y. (2019). Total anthocyanins and cyanidin-3-O-glucoside contents and antioxidant activities of purified extracts from eight different pigmented plants. *Pharmacognosy Magazine*, 15 (60), 124.

Zambrowicz, A., Pokora, M., Eckert, E., Szoltysik, M., Dbrowska, A., Chrzanowska, J., & Trziszka, T. (2012). Antioxidant and antimicrobial activity of lecithin free egg yolk protein preparation hydrolysates obtained with digestive enzymes. *Functional Foods in Health and Disease*, 2, 487-500.

การประเมินคุณภาพเนื้อครามด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีสำหรับการหาปริมาณอินดิโกบลู

Indigo blue determination for quality evaluation by UV-Visible Spectrophotometry method

วิชญ์พล โถสายคำ¹, พรกมล สาข้อง^{1*}
Witchapol Thosaikham¹, Pornkamon Sakong^{1*}

Received: 26 May 2022 ; Revised: 21 July 2022 ; Accepted: 19 September 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี โดยทำการเปลี่ยนอินดิโกบลูให้อยู่ในรูปของอินดิโกคาร์มีนด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับกรดซัลฟิวริก ซึ่งอินดิโกคาร์มีนเป็นอนุพันธ์ของอินดิโกบลูที่เสถียร ละลายน้ำได้และดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 610 nm สำหรับสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่างเนื้อคราม พบว่าอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อครามต่อปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 98% (w/v) และระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา คือ 1: 12 (g:mL) และ 30 นาที ตามลำดับ จากการประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามจากชุมชนในจังหวัดสกลนคร จำนวน 34 ตัวอย่าง พบปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามอยู่ในช่วง 0.09 - 2.23% (w/w) ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ปริมาณอินดิโกบลูด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีที่พัฒนาขึ้นให้ค่าร้อยละได้กลับคืนเท่ากับ $95.86 \pm 1.02 - 101.48 \pm 5.55$ และความแม่นยำของการวิเคราะห์ ในรูปแบบของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0.29 - 1.83 (%RSD) ดังนั้น วิธีการที่พัฒนาขึ้นจึงสามารถนำมาใช้หาปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ นอกจากนี้ ข้อมูลการวิเคราะห์นี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการประเมินคุณภาพและราคาของเนื้อครามได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: อินดิโกบลู อินดิโกคาร์มีน เนื้อคราม ปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน วิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

Abstract

This research aimed to develop UV-Visible spectrophotometric method for quantitative determination of indigo blue content in indigo paste. The indigo blue was transformed to indigo carmine by a sulfonation reaction with sulfuric acid. Indigo carmine is a stable and water-soluble form of indigo blue, with maximum optical absorbance at the wavelength of 610 nm. For indigo paste sample preparation, it was found that the optimum ratio of amount of indigo paste to volume of concentrated sulfuric acid (98 % (w/v)), and reaction time were 1:12 (g:mL) and 30 min, respectively. The proposed method was applied to determine indigo blue in 34 indigo paste samples from different communities in Sakon Nakhon province. The results showed that the amount of indigo blue in the indigo paste samples were in the range of 0.09 - 2.23 % (w/w). The percentage recovery of the proposed method of indigo blue determination by UV-Visible spectrophotometry method was 101.48 ± 5.55 . The precision in terms of relative standard deviation was in the range of 0.29 - 1.83 (%RSD). Therefore, the proposed method could accurately and precisely determine indigo blue content in indigo paste samples. Moreover, this data could be used as a guideline for evaluating the quality and the price of indigo paste.

Keywords: indigo blue, indigo carmine, indigo paste, sulfonation, UV-Visible spectrophotometric method

¹ อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

¹ Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University 47000

* Corresponding author: Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, 47000, e-mail; s.sakong@gmail.com

บทนำ

ผ้าย้อมครามเป็นผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีครามจากต้นครามเป็นสินค้าอัตลักษณ์ที่สร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดสกลนครอย่างกว้างขวาง สามารถส่งผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมครามธรรมชาติออกขายทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ ทำให้ผ้าย้อมครามธรรมชาติของจังหวัดสกลนครมีชื่อเสียงจนได้รับการประเมินจากสภาหัตถศิลป์โลก (World Crafts Council) ให้เป็น “นครหัตถศิลป์โลกเจ้าแห่งครามธรรมชาติ” (World Craft City for Natural Indigo) ผลิตภัณฑ์ครามเป็นสินค้า OTOP ที่สร้างรายได้สูงที่สุดอีกชนิดหนึ่งของจังหวัด ทำให้มีเงินหมุนเวียนในจังหวัดหลายร้อยล้านบาทต่อปี (นิวส์มอนิเตอร์, 2561)

เนื้อครามเป็นวัตถุดิบสำคัญในการเตรียมผ้าย้อมครามเพื่อย้อมผ้า ซึ่งกระบวนการผลิตเนื้อครามจากต้นครามเป็นองค์ความรู้ภูมิปัญญาของแต่ละท้องถิ่น โดยพันธุ์ครามที่นิยมปลูกกันทั่วไปในจังหวัดสกลนครมี 2 พันธุ์ คือ ครามพันธุ์ฝักตรง และ ครามพันธุ์ฝักงอ (อังคณา เทียนกล้า, 2555; จุฑามาส ศรีสำราญ และคณะ, 2558; นฤมล ธนานันต์ และคณะ, 2563) การเก็บเกี่ยวเพื่อทำสีย้อมจะทำได้ในช่วงต้นครามอายุ 3-4 เดือน แล้วนำไปครามสดมาแช่น้ำหรือทำหมักเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง (อนรรตน์ สายทอง, 2543) ซึ่งเอนไซม์บีตากลูโคซิเดส (β -glucosidase) ที่อยู่ในใบครามสดจะสามารถช่วยย่อยสารไกลโคไซด์อินดิแคน (glycoside indican) ในใบครามซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสีและไม่ละลายน้ำ (Purnama *et al.*, 2017) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) จะทำให้อินดิแคนแตกออกเป็น 2 สาร คือ น้ำตาลกลูโคส และสารอินดอกซิล (indoxyl) ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นสารที่ไม่มีสี ละลายน้ำได้ดี เมื่ออินดอกซิลถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในอากาศเปลี่ยนไปเป็นสีครามหรืออินดิโกบลู (indigo blue) ซึ่งเป็นสารกลุ่มแอนทราควิโนน (anthraquinone) มีสีน้ำเงินและไม่ละลายน้ำ (Tayade & Adivarekar, 2014)

การตกตะกอนเนื้อครามจะใช้ปูนขาวเป็นวัตถุดิบที่เติมลงในน้ำครามเพื่อให้เกิดการจับตัวของสีคราม แล้วปล่อยให้ตกตะกอน จึงแยกน้ำและตะกอนออกจากกัน ตะกอนของเนื้อครามที่เตรียมได้ด้วยวิธีนี้ เรียกว่า ครามเปียก (indigo paste) และบรรจุใส่ภาชนะขายเพื่อเป็นสีย้อมครามธรรมชาติสำหรับใช้ในการเตรียมผ้าย้อมคราม เพื่อย้อมเส้นใยฝ้ายต่อไป (จุฑามาส ศรีสำราญ และคณะ, 2558) อย่างไรก็ตาม เนื้อครามที่ผลิตในแต่ละชุมชนมีคุณภาพที่แตกต่างกัน ตามกระบวนการผลิต การเก็บรักษาและภูมิปัญญาของแต่ละพื้นที่ชุมชน ดังนั้น คุณภาพของเนื้อครามจึงไม่คงที่ จนเป็นประเด็นระหว่างผู้ขายและผู้ซื้อ เนื่องจากคุณภาพเนื้อครามมีผลโดยตรงต่อการเตรียมผ้าย้อมคราม และการติดสีของผ้าคราม (รัตนพล มงคลรัตนสิทธิ์, 2560) ดังนั้น การวิเคราะห์อินดิโกบลูที่มีอยู่ในเนื้อครามด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่

ถูกต้องแม่นยำ จะช่วยประเมินคุณภาพของเนื้อครามจากผู้ผลิตให้กับผู้ซื้อได้ นอกจากนี้ หากผู้ซื้อทราบปริมาณที่แน่นอนของอินดิโกบลูในเนื้อครามก็สามารถเตรียมผ้าย้อมครามได้อย่างเหมาะสมด้วย

การวิเคราะห์ปริมาณอินดิโกบลูสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การไทเทรตแบบรีดอกซ์ด้วยโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (potassium hexacyanoferrate, $K_2(FeCN)_6$) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง และวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง (Ann & Kwannan, 1984; Gilbert *et al.*, 2000; Valentina *et al.*, 2014) โดยจะต้องสกัดอินดิโกบลูในเนื้อครามด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์สามารถละลายอินดิโกบลูได้ ได้แก่ โดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethylsulfoxide) คลอโรฟอร์ม (chloroform) ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) (พัชนีย์ ต่วงนิล, 2554; Nittaya *et al.*, 2002; Novotná *et al.*, 2003; Valentina *et al.*, 2014) ซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์เหล่านี้ระเหยได้ง่ายและต้องใช้เวลาในการสกัดอินดิโกบลูจากเนื้อคราม นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์อินดิโกบลูโดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารลิวโกอินดิโก (leugo indigo) ซึ่งเป็นสารละลายที่มีสีเหลืองและละลายน้ำได้ (Sunhwa *et al.*, 2012) เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้สกัดอินดิโกบลูจากเนื้อครามเป็นสารระเหยง่าย และจะต้องทำการกรองส่วนของตะกอนออกจากสารละลายก่อนทำการวิเคราะห์ ทำให้มีค่าใช้จ่ายและเกิดความปลอดภัยในการวิเคราะห์สูง

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามด้วยวิธีการที่ต่างออกไปโดยเปลี่ยนอินดิโกบลูซึ่งไม่สามารถที่ละลายน้ำให้กลายเป็นสารอินดิโกคาร์มีนที่มีสมบัติละลายในน้ำได้ดีกว่า โดยใช้ปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (sulfonation) ให้อินดิโกบลูทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น โดยให้ความร้อนในการเกิดปฏิกิริยา (Δ) ก็จะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นอินดิโกคาร์มีน ดังแสดงใน Figure 1 (Iqbal *et al.*, 2004; Livia *et al.*, 2014) แล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เพื่อคำนวณหาปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามจากชุมชนในจังหวัดสกลนคร เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์คุณภาพเนื้อครามจากแต่ละแหล่งผลิตและประเมินราคาให้เหมาะสมสำหรับการจำหน่ายเพื่อนำไปใช้ผลิตผ้าย้อมครามธรรมชาติต่อไป

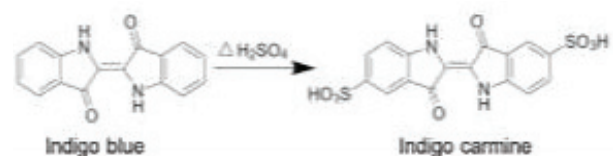


Figure 1 Indigo carmine synthesis with sulfonation

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมีและเครื่องมือวิเคราะห์

1) สารอินดิโกบลู (indigo blue) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Acros Organics ประเทศเบลเยียม

2) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98.0 % (w/v) (sulfuric acid, H₂SO₄, 98% (w/v)) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Caro Erba ประเทศอิตาลี

3) เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) รุ่น UV-1601 ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

2. วัตถุดิบ

ตัวอย่างเนื้อครามที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นตัวอย่างเนื้อครามที่เตรียมตามวิธีภูมิปัญญาในท้องถิ่นในจังหวัดสกลนคร ได้รับความอนุเคราะห์จากกลุ่มผู้ประกอบการผ้า ย้อมครามธรรมชาติ จังหวัดสกลนคร จำนวน 34 ตัวอย่าง ซึ่งทำการเก็บเนื้อครามในระหว่างเดือน เมษายน - กันยายน 2564 โดยมีการแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามความชำนาญของ และประสบการณ์ของผู้ผลิตเนื้อคราม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ตัวอย่างเนื้อครามจากกลุ่มผู้ผลิตที่มีประสบการณ์ในการผลิตเนื้อคราม มีการผลิตเนื้อครามเพื่อจำหน่ายโดยตรง จำนวน 5 ตัวอย่าง

กลุ่มที่ 2 ตัวอย่างเนื้อครามจากกลุ่มผู้ผลิตเนื้อครามและมีการผลิตผ้าครามด้วย จำนวน 14 ตัวอย่าง

กลุ่มที่ 3 ตัวอย่างเนื้อครามจากกลุ่มผู้ผลิตเนื้อครามรุ่นใหม่ จำนวน 15 ตัวอย่าง

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อคราม

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ปริมาณอินดิโกบลูในวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูที่ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของอินดิโกคาร์มีนด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน ซึ่งมีกระบวนการดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

เตรียมสารละลายมาตรฐานอินดิคาร์มีน (stock standard solution) ที่ความเข้มข้น 200 mg L⁻¹ ด้วยทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับกรดซัลฟิวริกเพื่อให้กลายเป็น

อินดิโกคาร์มีน (Iqbal *et al.*, 2004) โดยซึ่งสารมาตรฐานอินดิโกบลู 0.10 g ใส่ในบีกเกอร์ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98.0% (w/v) ปริมาตร 5 mL และคนให้สารผสมกันเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL จากนั้น เตรียมสารละลายมาตรฐานอินดิโกคาร์มีนความเข้มข้นเท่ากับ 0.0, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 mg L⁻¹ โดยการเจือจางสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลูเข้มข้น 200 mg L⁻¹ ซึ่งจะมีการเตรียมโดยปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 % (w/v) จากนั้น นำสารละลายมาตรฐานอินดิโกคาร์มีนแต่ละความเข้มข้นไปวิเคราะห์ค่าดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 610 nm ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกต่อการดูดกลืนแสงของอินดิโกคาร์มีน สำหรับเลือกใช้เป็นสารละลายสำหรับเตรียมสารละลายมาตรฐานอินดิโกคาร์มีน (working standard solution) และสารละลายตัวอย่างต่อไป

3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการเตรียมเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน

งานวิจัยนี้ได้สุ่มเลือกตัวอย่างเนื้อคราม จำนวน 1 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณอินดิโกบลู จากตัวอย่างเนื้อครามซุ่มซนที่เก็บมาทั้งหมด 34 ตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่างเนื้อคราม ได้แก่ อัตราส่วนเนื้อครามต่อปริมาตรกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาการต่อการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามก่อนที่จะนำไปประยุกต์ในการเตรียมตัวอย่างอื่นๆ ต่อไป โดยวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างเนื้อคราม ได้แก่ ความชื้นและปริมาณของแข็งที่ไม่ระเหยในเนื้อคราม ตามวิธี AOAC (2005) ซึ่งพบว่าตัวอย่างเนื้อครามทั้งหมดมีความชื้น 20.00 - 41.00 % (w/v) และปริมาณของแข็งที่ไม่ระเหยในเนื้อคราม เช่น ปูนขาว และสารอื่นๆ ที่ไม่ระเหยมีปริมาณเท่ากับ 56.00 - 80.00 % (w/v) และได้เลือกตัวอย่างที่มีปริมาณของแข็งที่ไม่ระเหยปริมาณสูงสุด เพื่อใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน ก่อนจะนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการประยุกต์ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างอื่นต่อไป โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.2.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อครามต่อปริมาตรกรดซัลฟิวริก

การศึกษาผลของอัตราส่วนเนื้อครามต่อปริมาตรกรดซัลฟิวริกนั้น ออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ซึ่งกำหนด

ทริตเมนต์ จำนวน 10 ทริตเมนต์ ได้แก่ T1 = 1:2, T2 = 1:4, T3 = 1:6, T4 = 1:8, T5 = 1:10, T6 = 1:12, T7 = 1:14, T8 = 1:16, T9 = 1:18 และ T10 = 1:20 (g:mL) ทำการทดลองทริตเมนต์ละ 3 ซ้ำ (n = 3) โดยชั่งตัวอย่างเนื้อคราม 1.00 g ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98 % (w/v) ใส่ลงในบีกเกอร์ตามอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อครามต่อปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ศึกษาเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.00 mL ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 % (w/v) แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 610 nm แล้วคำนวณหาปริมาณของอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อคราม และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณของอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามของแต่ละทริตเมนต์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) โดยใช้ Duncan's multiple comparison ที่ $p < 0.01$ ด้วยโปรแกรม SPSS Version 16

3.2.2 การศึกษาระยะเวลาการต่อการเตรียมตัวอย่างเนื้อคราม

ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันเป็นปัจจัยที่มีผลการเปลี่ยนอินดิโกบลูในเนื้อครามให้เป็นอินดิโกคาร์มีนอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบระยะเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างเนื้อคราม โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ กำหนดทริตเมนต์เป็นระยะเวลาแตกต่างกัน จำนวน 9 ทริตเมนต์ ได้แก่ T1 = 10, T2 = 20, T3 = 30, T4 = 40, T5 = 50, T6 = 60, T7 = 70, T8 = 80 และ T9 = 90 นาที ทำการทดลองทริตเมนต์ละ 3 ซ้ำ (n = 3) โดยชั่งตัวอย่างเนื้อคราม 1.00 g ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกปริมาตร 12 mL ตั้งไว้ให้ครบเวลาของแต่ละกลุ่มทดลอง จากนั้นเทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.00 mL และปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 % (w/v) แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 610 nm และคำนวณหาปริมาณของอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อคราม และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณของอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามของแต่ละทริตเมนต์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) โดยใช้ Duncan's multiple comparison ที่ $p < 0.01$ ด้วยโปรแกรม SPSS Version 16

จากนั้นประยุกต์สภาวะที่เหมาะสมของวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามและวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูที่พัฒนาขึ้น เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามจากชุมชนผู้ผลิตเนื้อครามจำนวน 34 ตัวอย่าง

4. การหาความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์

4.1 ช่วงความเป็นเส้นตรงและความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลูที่ความเข้มข้น 0.00 - 24.00 mg L⁻¹ ปริมาตร 100 mL โดยเจือจางสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลู 200 mg L⁻¹ ซึ่งเตรียมให้อยู่รูปของอินดิโกคาร์มีน และปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 % (w/v) จากนั้น นำสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลูไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 610 nm และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอินดิโกบลู (แกน x) และค่าดูดกลืนแสง (แกน y) เพื่อหาช่วงความเป็นเส้นตรง สมการเส้นตรง และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient, R²) ที่ค่า $p > 0.01$ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Version 365

4.2 ความไวของการวิเคราะห์

การศึกษาความไวในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ได้ทำตามวิธีของ Miller & Miller, 1988 โดยเตรียมสารละลายแบลงค์ คือ สารละลายกรดซัลฟิวริก 5 % (w/v) จำนวน 10 ขวด (n = 10) นำไปวิเคราะห์ค่าดูดกลืนแสงด้วยวิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรีที่ความยาวคลื่น 610 nm แล้วนำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้มาคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จากนั้น คำนวณหาค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด (Limit of detection ; LOD) และขีดจำกัดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Limit of quantitation) โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{LOD} = \frac{(Y_{\text{blank}} + 3\text{SD}) - C}{m} \quad (1)$$

$$\text{LOQ} = \frac{(Y_{\text{blank}} + 10\text{SD}) - C}{m} \quad (2)$$

เมื่อ

Y_{blank} คือ ค่าดูดกลืนแสงเฉลี่ยของสารละลายแบลงค์ (n = 10)

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์ (n = 10)

C คือ ค่าจุดตัดแกน y ของกราฟมาตรฐานอินดิโกบลู

m คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐานอินดิโกบลู

4.3 ความแม่นยำของการวิเคราะห์

การหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี ประเมินด้วยวิธีการหาความความสามารถในการทวนซ้ำ (repeatability) ในรูปแบบวิเคราะห์ภายในวันเดียว (intra-day analysis) โดย

เตรียมสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลูที่ความเข้มข้น 10.0 mg L⁻¹ จำนวน 10 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์หาค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 610 nm ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard deviation, RSD) สำหรับการหาความสามารถในการทำซ้ำ (reproducibility) ในรูปแบบวิเคราะห์ระหว่างวัน (inter-day analysis) โดยเตรียมและวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานอินดิโกคาร์มินที่ความเข้มข้น 10.0 mg L⁻¹ วันละ 5 ซ้ำ เป็นเวลา 3 วัน และคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ความแม่นยำของวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน ประเมินด้วยวิธีการหาความสามารถของการทวนซ้ำในรูปแบบวิเคราะห์ภายในวันเดียว ซึ่งเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อครามด้วยสภาวะที่เหมาะสมจำนวน 10 ซ้ำ (n = 10) แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น และคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ สำหรับการหาความแม่นยำของการทำซ้ำในรูปแบบวิเคราะห์ระหว่างวัน โดยเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อครามด้วยสภาวะที่เหมาะสมวันละ 5 ซ้ำ เป็นเวลา 3 วัน และคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

4.4 การหาค่าร้อยละได้กลับคืน

การหาค่าร้อยละได้กลับคืน (percentage recovery) ของการวิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูที่พัฒนาขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การหาค่าร้อยละได้กลับคืนของวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี และวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน

วิธีการหาค่าร้อยละได้กลับคืนของวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี ทำได้โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่วิเคราะห์สารละลายตัวอย่างเพียงอย่างเดียว (n = 5) โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1.00 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10.00 mL และปรับปริมาตรด้วย กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 % (w/v) สำหรับกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่วิเคราะห์สารละลายตัวอย่างที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลู (n = 5) โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1.00 mL และสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลู (200 mg L⁻¹) ปริมาตร 1.00 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10.00 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 % (w/v) นำสารละลายทั้ง 2 กลุ่ม ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 610 nm แล้วคำนวณหาความเข้มข้นอินดิโกบลูในสารละลายตัวอย่างเนื้อครามทั้ง 2 กลุ่มทดลอง เพื่อหาค่าร้อยละได้กลับคืนของการวิเคราะห์

การหาค่าร้อยละได้กลับคืนของวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน ดำเนินการโดยแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อครามเพียงอย่างเดียว โดยชั่งตัวอย่างเนื้อคราม 1.00 g ใส่บีกเกอร์ จำนวน 5 ใบ สำหรับกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่วิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อครามที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลูด้วย (n = 5) โดยชั่งเนื้อคราม 1.00 g และ อินดิโกบลู 0.010 g ใส่บีกเกอร์ จำนวน 5 ใบ จากนั้น เติมกรดซัลฟิวริกปริมาตร 12.00 mL ใส่ในบีกเกอร์ขวด และตั้งไว้ 50 นาที จนตัวอย่างเนื้อครามเกิดปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกอย่างสมบูรณ์ แล้วปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.0 mL ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 % (w/v) และเจือจางสารละลาย 20 เท่า ก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 610 nm แล้วคำนวณหาปริมาณอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามทั้ง 2 กลุ่มทดลอง เพื่อคำนวณค่าร้อยละได้กลับคืน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธียูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี

เนื่องจากอินดิโกบลูเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำจึงต้องเตรียมให้อยู่ในรูปของอินดิโกคาร์มิน (indigo carmine) ก่อน โดยนำอินดิโกบลูทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (sulfonation reaction) กับกรดซัลฟิวริกจะได้สารละลายอินดิโกคาร์มินที่สามารถละลายในสารละลายที่เป็นกรด (Iqbal *et al.*, 2004; Livia *et al.*, 2014) แล้วจึงวิเคราะห์สเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานอินดิโกคาร์มินด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีที่ค่าความยาวคลื่นที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) เท่ากับ 610 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นสูงสุดที่อินดิโกคาร์มินดูดกลืนได้ (Abdelhadi *et al.*, 2010) จากการหาสภาวะที่เหมาะสมวัดค่าดูดกลืนแสงของอินดิโกคาร์มินที่เตรียมในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายสูงขึ้นจาก 2.5 - 5.0% (w/v) มีผลให้ค่าดูดกลืนแสงของอินดิโกคาร์มินสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกตั้งแต่ 5.0 % (w/w) ให้ค่าดูดกลืนแสงมีแนวโน้มคงที่ (Figure 2) ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมสำหรับใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานอินดิโกบลู และสารละลายตัวอย่างเนื้อครามควรมีความเข้มข้นอย่างน้อย 5.0 % (w/v) ซึ่งสอดคล้องกับ VWR international (2020) ที่แนะนำให้เตรียมสารละลายมาตรฐานอินดิโกคาร์มินด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก เพื่อรักษาสภาพความเป็นกรดของสารละลาย เนื่องจากอินดิโกคาร์มินจะมีความเสถียรและมีสีน้ำเงินอมฟ้าในสภาวะกรด นอกจากนี้ หากค่า pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลให้สีของอินดิโกคาร์มินเปลี่ยนแปลงได้ (Railson *et al.*, 2020)

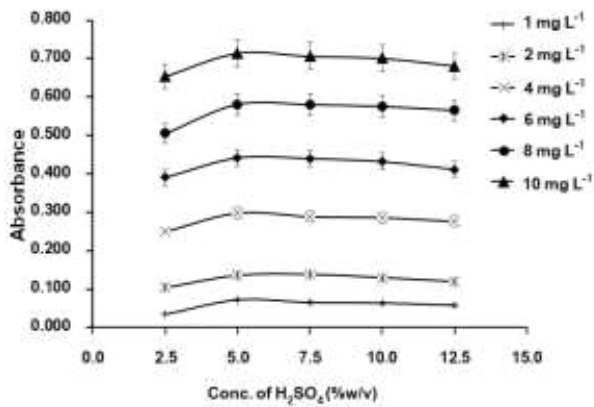


Figure 2 Effect of H₂SO₄ concentrations on the determination of indigo blue by UV-Vis spectrophotometric method

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่างเนื้อคราม

การเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชันด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% (w/v) เพื่อเปลี่ยนอินดิโกบลูในเนื้อครามให้เป็นอินดิโกคาร์มีนให้สมบูรณ์ จากการศึกษาค้นคว้าของอัตราส่วนเนื้อครามต่อปริมาณกรดซัลฟิวริก พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของกรดซัลฟิวริกเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณอินดิโกบลูที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างเนื้อครามเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดซัลฟิวริกที่มากพอจะมีผลให้เกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันของอินดิโกบลูในเนื้อครามให้เกิดเป็นอินดิโกคาร์มีนได้ดียิ่งขึ้น ดังแสดงใน Figure 3 แต่เมื่ออัตราส่วนของเนื้อครามต่อกรดซัลฟิวริกเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1:10 ถึง 1:20 (g:mL) พบว่าให้ปริมาณอินดิโกบลูที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อครามไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.01$)

นอกจากเนื้อครามจะมีอินดิโกบลูเป็นสารสำคัญแล้วยังมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) และสารอื่นๆ รวมอยู่ด้วย โดยในขั้นตอนการเตรียมเนื้อครามจะใช้ปูนขาวไปละลายในน้ำคราม ทำให้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในปูนขาวละลายน้ำได้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) เมื่อทำการเติมอากาศให้น้ำครามในถังแช่ใบครามด้วยวิธีการกระทุ้งด้วยไม้ไผ่สาน เพื่อให้อินดิโกไวด์ในน้ำแช่ใบครามสัมผัสกับอากาศแล้วเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นอินดิโกบลู (อนุรัตน์ สายทอง, 2543) นอกจากนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำแช่ใบคราม เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ตกตะกอนร่วมกับอินดิโกบลูได้เป็นเนื้อคราม (Zhang et al., 2013; Shan et al., 2019) ดังนั้น ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน เมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตในเนื้อครามทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกจะเกิดฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นพร้อมทั้งคายความร้อนออกมาด้วย จึงต้องใช้ปริมาณกรดซัลฟิวริก 98% (w/v) ในปริมาณมากเกินพอเพื่อให้เกิด

ปฏิกิริยากับอินดิโกบลูได้เป็นอินดิโกคาร์มีนโดยสมบูรณ์ และสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต และสารอื่นๆ ในเนื้อครามด้วย ทั้งนี้การเตรียมตัวอย่างเนื้อคราม 0.10 g ควรใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% (w/v) ไม่น้อยกว่า 10 mL ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างเนื้อคราม ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของเนื้อครามต่อปริมาณกรดซัลฟิวริก 98% (w/v) ที่เหมาะสมคือ 1:12 (g:mL)

จากการศึกษาเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่าง พบว่าสารละลายทั้งสองชนิดให้สเปกตรัมคล้ายกัน และให้ค่าดูดกลืนแสงสูงสุด เท่ากับ 610 nm เช่นเดียวกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่า กรดซัลฟิวริกสามารถเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับเนื้อครามได้ และสารที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี คือ อินดิโกคาร์มีน เช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐานอินดิโกคาร์มีนที่ความเข้มข้น 5 mg L⁻¹ (Figure 4) (Abdelhadi et al., 2010)

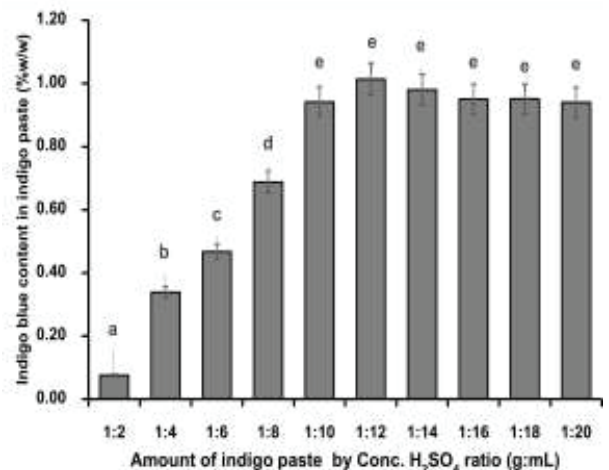


Figure 3 The effect of the amount of indigo paste by Conc. H₂SO₄ ratio for indigo paste sample preparation with sulfonation reaction. Different letters mean statistically significant differences at $p < 0.01$.

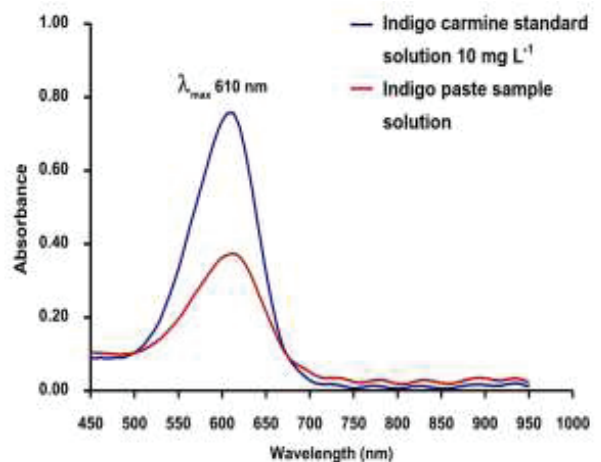


Figure 4 Spectrum of indigo carmine in standard solution and sample solution

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเนื้อครามกับกรดซัลฟิวริก พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาจาก 10 - 30 นาที มีผลให้ปริมาณอินดิโกบลูที่ตรวจพบในเนื้อครามมีปริมาณสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาจาก 30 - 90 นาที ปริมาณอินดิโกบลูที่ตรวจพบในเนื้อครามไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.01$) (Figure 5) ดังนั้น ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาจึงมีผลต่อการเปลี่ยนอินดิโกบลูให้เป็นอินดิโกคาร์มีนอย่างสมบูรณ์ (Livia *et al.*, 2014) อย่างไรก็ตาม การใช้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ขึ้นไปจะทำให้สารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้มีลักษณะใสไม่มีตะกอน เนื่องจากกรดซัลฟิวริกจะทำปฏิกิริยาย่อยสลายแคลเซียมคาร์บอเนตและสารอื่นๆ ในเนื้อครามจนหมด ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยกรดซัลฟิวริก คือ 30 นาที

3. ความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูที่พัฒนาขึ้น

เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรีที่พัฒนาขึ้นแล้ว จากนั้นทำการหาความใช้ได้ของวิธีการตรวจวิเคราะห์ซึ่งแสดงผลใน Table 1 พบว่าวิธีนี้ให้ช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ที่ $0.25 - 17.50 \text{ mg L}^{-1}$ และให้สเปกตรัมและค่าดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 610 nm (Figure 6) และเมื่อนำช่วงความเป็นเส้นตรงดังกล่าวมาสร้างกราฟมาตรฐานอินดิโกบลู ให้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.054x + 0.0131$ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (R^2) คือ 0.9991 ($p > 0.01$) นอกจากนี้วิธีการนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (molar absorptivity) เท่ากับ $26100 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ดังนั้น วิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูที่พัฒนาขึ้นจึงให้สมการเส้นตรงที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับคำนวณหาปริมาณอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับผลการศึกษาความไวของการวิเคราะห์ (sensitivity) วิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรีที่พัฒนาขึ้นให้ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด ขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เท่ากับ 0.051 และ 0.27 mg L^{-1} ตามลำดับ วิธีการนี้ให้ความแม่นยำของการวิเคราะห์ซ้ำภายในวันเดียว และความแม่นยำของการทำซ้ำระหว่างวันเท่ากับ 0.29 และ 0.51 (%RSD) ตามลำดับ นอกจากนี้ วิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชันที่พัฒนาขึ้น ให้ความแม่นยำของการวิเคราะห์ซ้ำภายในวันเดียว และความแม่นยำของการทำซ้ำระหว่างวันเท่ากับ 1.83 และ 1.01 (%RSD) ตาม ลำดับ ดังนั้น วิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรีและวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชันที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำของการวิเคราะห์สูง

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องในรูปแบบค่าร้อยละได้กลับคืนของวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี และวิธีการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชันให้ค่าร้อยละได้กลับคืน เท่ากับ 95.86 ± 1.02 และ 101.48 ± 5.55 ตามลำดับ ดังนั้น สารอินดิโกบลูในเนื้อครามสามารถเกิดปฏิกิริยากับ กรดซัลฟิวริกกลายเป็นอินดิโกคาร์มีนได้สมบูรณ์ และไม่เกิดการสลายตัวในระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเนื้อครามและการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์อินดิโกบลูที่พัฒนาขึ้นจึงสามารถวิเคราะห์อินดิโกบลูในเนื้อครามได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

4. ผลการวิเคราะห์อินดิโกบลูในเนื้อครามจากแหล่งผลิตจังหวัดสกลนคร

จากการวิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามที่เก็บจากชุมชน จำนวน 34 ตัวอย่าง ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น พบว่าปริมาณอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามอยู่ในช่วง $0.09 - 2.23 \%$ (w/w) (Figure 7) ทั้งนี้ ปริมาณอินดิโกบลูที่ตรวจพบในเนื้อครามแต่ละแหล่งผลิตนั้น มีปริมาณอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามที่แตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากตัววัตถุดิบคือต้นคราม และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ดินที่ปลูก ปริมาณน้ำ ชนิดและปริมาณของปุ๋ย อายุเก็บเกี่ยวของต้นคราม ช่วงเวลาของวันในการเก็บเกี่ยว (อังกฤษ เทียนกล้า, 2555; หนูรัฐ บุตรดี และ สุรกิจ พันธุ์รัก, 2562) ซึ่งศักยภาพในการทำงานของเอนไซม์ในใบครามอาจลดลงเมื่อใบครามเหี่ยวจากการเก็บเกี่ยวต้นครามในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการเตรียมเนื้อครามของแต่ละชุมชนด้วย (อนุรัตน์ สายทอง, 2543; Purnama *et al.*, 2017)

จากผลการวิเคราะห์อินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามในจังหวัดสกลนครจำนวน 34 ตัวอย่าง สามารถจำแนกตามระดับของอินดิโกบลูได้เป็น 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มที่มีระดับอินดิโกบลูมาก (ปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อคราม 2.00% (w/w) คิดเป็นร้อยละ 14.70 ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 2) กลุ่มที่มีระดับอินดิโกบลูปานกลาง (ปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อคราม $1.00 - 1.99 \%$ (w/w)) คิดเป็นร้อยละ 41.18 ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด และ 3) กลุ่มที่มีระดับอินดิโกบลูน้อย (ปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อคราม $< 1.00 \%$ (w/w)) คิดเป็นร้อยละ 44.12 ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งตัวอย่างเนื้อครามที่วิเคราะห์นี้ส่วนใหญ่มีระดับอินดิโกบลูน้อยกว่า 2% (w/w) โดยพบว่าตัวอย่างเนื้อครามที่มีระดับอินดิโกบลูมากกว่า 2% (w/w) เป็นกลุ่มผู้ผลิตที่มีแม่ครุครามเป็นที่ปรึกษาซึ่งสามารถถ่ายทอดความเชี่ยวชาญให้กับคนรุ่นใหม่ และกลุ่มที่มีปริมาณอินดิโกบลูน้อยเป็นกลุ่มที่มีประสบการณ์ในการผลิตเนื้อครามน้อยกว่า 5 ปี

ผลการวิเคราะห์นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเนื้อคราม รวมทั้งการใช้เป็นแนวทางในกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เนื้อครามที่ผลิตในจังหวัดสกลนคร ซึ่งปัจจุบันการซื้อขายเนื้อครามนั้นกำหนดในหน่วยของน้ำหนักต่อราคา (งานส่งเสริมอุตสาหกรรมครัวเรือน ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร, 2555) โดยราคาของเนื้อครามจะอยู่ที่ประมาณกิโลกรัมละ 100 - 150 บาท ซึ่งยังไม่มีการใช้ค่าปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามเป็นตัวกำหนดคุณภาพและราคาของเนื้อครามด้วย เนื่องจากอินดิโกในเนื้อครามเป็นสารสำคัญที่ทำให้ใช้ในการย้อมผ้า หากเนื้อครามมีปริมาณอินดิโกบลูสูงก็จะส่งผลต่อคุณภาพการย้อม และต้นทุนของการผลิตผ้าครามด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงควรมีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพและราคาของเนื้อครามร่วมกันของผู้ผลิตผ้าคราม โดยมีการใช้ผลการวิเคราะห์อินดิโกในเนื้อครามเป็นเกณฑ์พิจารณาด้วย

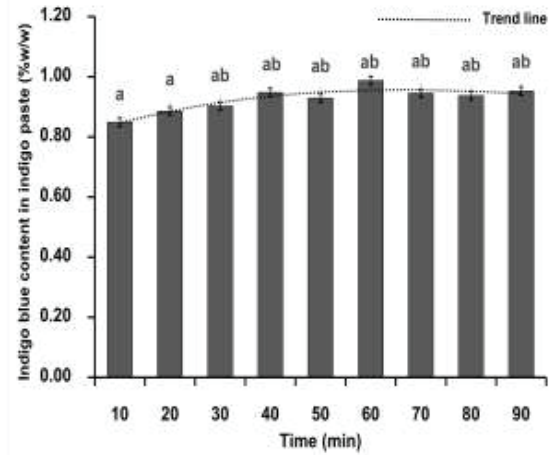


Figure 5 The effect reaction time on indigo paste sample preparation with sulfonate reaction. Different letters mean statistically significant differences at $p < 0.01$.

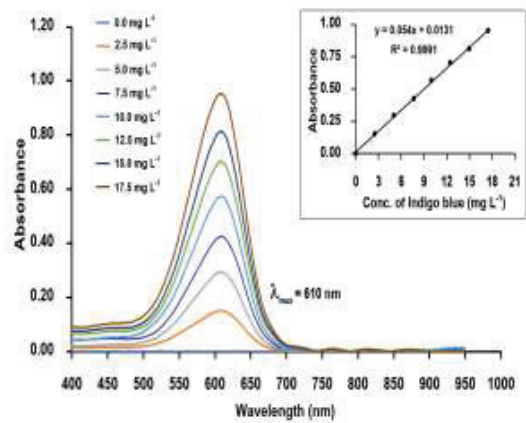


Figure 6 UV-Visible spectrum of indigo blue standard solution and calibration curve of the indigo blue standard solution.

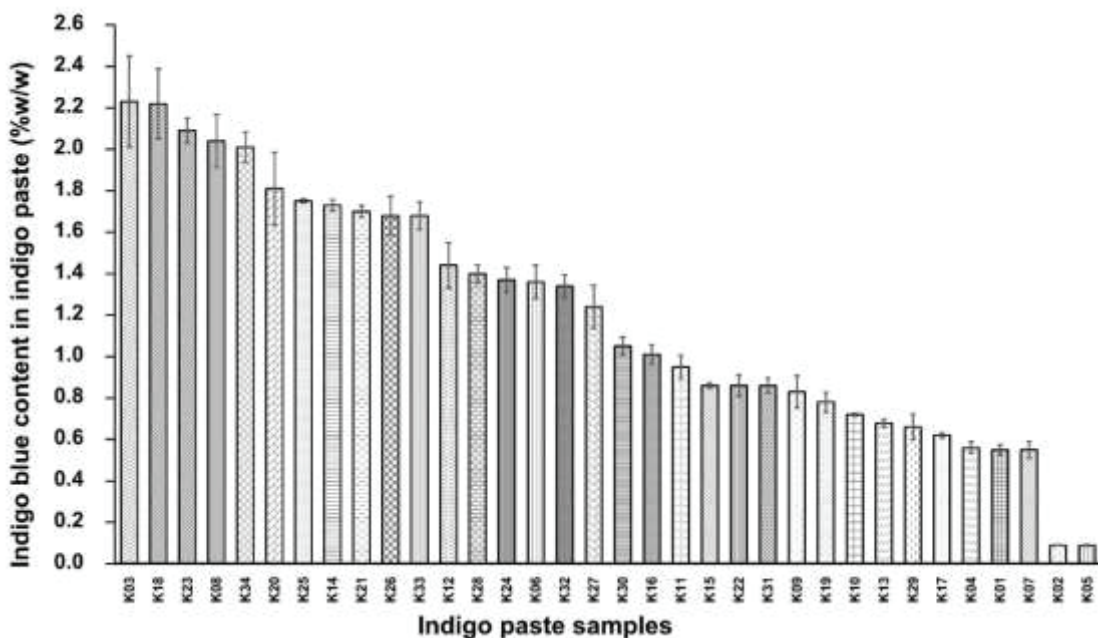


Figure 7 Indigo blue content in indigo paste collected from Sakon Nakhon Province

Table 2 Validation of indigo blue determination by UV-Vis spectrophotometric method

Method characteristics	Value
1. linear range (mg L ⁻¹)	0.25 - 17.50
2. Linear equation	$y = 0.054x + 0.013$
- Slope	0.054 ± 0.0050
- Intercept	0.013 ± 0.0011
3. Regression coefficient (R ² , $p > 0.01$)	0.9991
4. Molar absorptivity (L mol ⁻¹ cm ⁻¹)	26100
5. Sensitivity	
- Limit of detection (mg L ⁻¹)	0.051
- Limit of quantitation (mg L ⁻¹)	0.27
6. Precision (%RSD)	
6.1 Indigo blue determination with UV-Vis spectrophotometric method	
- Intra-day	0.29
- Inter-day	0.51
6.2 Indigo paste preparation with sulfonation	
- Intra-day	1.83
- Inter-day	1.01
7. Recovery (%)	
- Indigo blue determination with the UV-Vis spectrophotometric method	95.86 ± 1.02
- Indigo paste preparation with the sulfonation method	101.48 ± 5.55

Table 2 Indigo blue content in indigo paste collected from Sakon Nakhon Province

Classification group	Range of IB content in IP samples (% (w/w))	Number of samples (N)	Percentage (%)
High IB level content in IP	≥ 2.00	5	14.70
Middle IB level content in IP	1.0 - 1.99	14	41.18
Low IB level content in IP	< 1.00	15	44.12
Total	-	34	100.00

** IB = indigo blue, IP = Indigo paste

สรุปผลการวิจัย

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามด้วยวิธียูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตริกที่พัฒนาขึ้น เป็นวิธีที่มีการเปลี่ยนอินดิโกบลูให้อยู่ในรูปของอินดิโกคาร์มีนด้วยปฏิกิริยาซัลโฟเนชันกับกรดซัลฟิวริก สามารถใช้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ และเป็นวิธีที่สามารถประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณอินดิโกบลูในตัวอย่างเนื้อครามได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเนื้อครามจำนวน 34 ตัวอย่าง ที่เก็บจากชุมชนในจังหวัดสกลนคร พบปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อครามอยู่

ในช่วง 0.09 - 2.23 % (w/w) โดยสามารถจำแนกระดับคุณภาพของเนื้อครามตามปริมาณของอินดิโกบลูในเนื้อครามได้ 3 กลุ่มคือ 1) กลุ่มที่มีระดับอินดิโกบลูมาก (ปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อคราม ≥ 2.00 % (w/w) 2) กลุ่มที่มีระดับอินดิโกบลูปานกลาง (ปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อคราม 1.00 - 1.99 % (w/w) และ 3) กลุ่มที่มีระดับอินดิโกบลูน้อย (ปริมาณอินดิโกบลูในเนื้อคราม < 1.00 % (w/w) ซึ่งข้อมูลนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินคุณภาพและราคาของเนื้อครามของชุมชนได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น และผู้ผลิตสามารถพัฒนากรรมวิธีผลิตเนื้อครามของชุมชนให้มีปริมาณอินดิโกสูงขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มผู้ผลิตเนื้อครามและผลิตผ้าครามในจังหวัดสกลนคร ที่สนับสนุนตัวอย่างเนื้อครามและให้ข้อมูลการผลิตเนื้อครามสำหรับทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จุฑามาส ศรีสำราญ. (2558). *โครงการวิจัยและพัฒนาการผลิตครามพื้นที่จังหวัดสกลนคร*. กรมวิชาการเกษตร.
- งานส่งเสริมอุตสาหกรรมครัวเรือน ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร. (2555). *คู่มือการผลิตผ้าย้อมคราม* (พิมพ์ครั้งที่ 2). มุฟเม้น เจนทรี.
- นฤมล ธนานันต์, สุภรัตน์ บัวบาน, วีระชัย ธนานันต์. (2563). การประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของพืชครามสกุล *Indigofera* โดยใช้เทคนิค สก๊อต. *Thai Journal of Science and Technology*, 2, 333-341.
- นัฐรุช บุตรดี และ สุรภิกช พันธุ์รัก. (2562). *ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอินดิโกบลูในต้นคราม* [ปริญญาานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร].
- นิวส์มอนิเตอร์. (2561). *สภาหัตถศิลป์โลกรับรองสกลนครเป็น "World Craft City for Natural Indigo"*. มติชนออนไลน์.
- พัชนีย์ ด้วงนิล. (2554). *การพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการหาปริมาณอินดิโกในครามหมัก*.
- รัตนพล มงคลรัตนาลิทธิ, จุฑฎุ คล้ายจ้อย, วาสนา ช่างม่วง, นงนุช ศศิธร และ เกษม มานะรุ่งวิทย์. (2560). *คู่มือองค์ความรู้ การย้อมครามธรรมชาติแบบใหม่บนเส้นด้ายไหมและฝ้ายเชิงพานิชย์*. สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ก-ฮ.
- อนัฐรัตน์ สายทอง. (2543). *การผลิตสีครามจากต้นคราม*. ศูนย์ครามสกลนคร ราชภัฏสกลนคร.
- อังคณา เทียนกล้า. (2555). การศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ การเพิ่มผลผลิตใบ ปริมาณสี และความผง (*Indigofera tentoria* Linn.). *แก่นเกษตร*, (40), 44-52.
- Abdelhadi, B., Mohand, S.O., Louis-Charles De M. (2010). Photocatalytic Decolourization of Indigo Carmine on 1,10-phenanthroline Intercalated Bentonite under UV-B and Solar Irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 212, 101-106.
- Ann, C. & Kwan-nan, Y. (1984). Blue dye identification on cellulosic fibers: indigo, logwood, and Prussian blue. *Journal of the American Institute for Conservation*, 24, 33-39.

- AOAC. (2005). *Official methods of analysis* (18th eds). Association of Official Analytical Chemists; Arlington.
- Gilbert, K.G., Hill, D.J., Crespo, C., Mas, A., Lewis, M., Rudolph, B. & Cooke, D.T. (2000). Qualitative analysis of indigo precursors from Woad by HPLC and HPLC-MS. *Phytochemical analysis*, 11, 18-20.
- Iqbal, T.S., Babur, Z.C., Martin, J.S. and Robert, W. (2004). Analysis of the conversion of indigo into Indigo carmine dye using SERRS. *Chemical Communications*, 1436-1437.
- Livia, F.Z., Ivanise, G., Maria, E.V.S., Patricia, A.M. (2014). Freitas. adsorption of 5.5'-disulfonicindigotin (5.5'-DI) onto green coconut fiber (*Cocosnucifera* L.): Kinetic and isotherms. *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 4, 37-52.
- Nittaya, C., Sorasak L. & Suree, P. (2002). Pigment Extraction techniques from the leaves of *Indigofera tinctoria* Linn. and *baphicacanthus cusia* brem. and chemical structure analysis of their major components. *Chiangmai University Journal*, 1 (2), 149-160.
- Novotná, P., Boon, J.J., Van der H.J. and Pacáková V. (2003). Photoegradation of indigo in dichloromethane solution. *Coloration Technology*, 119 (3), 121-186.
- Purnama, H., Hidayati, N., Safitri D. & Rahmawati S. (2017). Effect of initial treatment in the preparation of natural indigo dye from *indigofera tinctorial*. *Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering, Technology, and Industrial Application (ICETIA 2016)*.
- Railson, O.R., Maria, V.C.A., Wilton, S.L., José, T.S., Valderi, D.L. (2020). Degradation of indigo carmine by photo-Fenton, Fenton, H₂O₂/UV-C and direct UV-C: Comparison of pathways, products and kinetics. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101535.
- Shan, L., Anthony, B.C., Ruyan, F. & Yuhua, W. (2019). Identity blues: The ethnobotany of the indigo dyeing by Landian Yao (Lu Mien) in Yunnan, Southwest China. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 15, 1-14.

- Sunhwa, P., Ji-Young, R., Jiyoung, S., Hor-Gil, H. (2012). Isolation and characterization of alkaliphilic and thermotolerant bacteria that reduce insoluble indigo to soluble Leuco-indigo from indigo dye vat. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 55, 83-88.
- Tayade, P. & Adivarekar, R. (2014). Extraction of indigo dye from *Couroupita guianensis* and its application on cotton fabric. *Tayade and Adivarekar Fashion and Textiles*, 1, 1-16.
- Valentina, B., Martí, C. & Carmen, G-B. (2014). A critical comparison of methods for the analysis of indigo in dyeing liquors and effluents. *Materials*, 7, 6184-6193.
- VWR International. (2020). *Indigo carmine solution R1*.
- Zhang, D., Lin X., Chen X., Liu J. (2013). Influence of orchard-intercropping mode on plant height and branch growth of *Baphicacanthus cusia* (Nees) Bremek. *Journal of Guangzhou University of Traditional*, 1 (30), 83-7.

การตรวจหาโลหะหนักในหอยเศรษฐกิจจังหวัดจันทบุรี

Determination of heavy metals in economically important bivalve, Chanthaburi Province

ศุทธิณี เมฆประยูร^{1*}, จักรพันธ์ โพธิพัฒน์²
Sutthinee Mekprayoon^{1*}, Jakkapan Potipat²

Received: 27 April 2022 ; Revised: 27 June 2022 ; Accepted: 1 August 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณโลหะหนักทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม จากจันทบุรี ดำเนินการเก็บตัวอย่างจากตลาดน้ำพุ ตลาดเจริญสุข ตลาดนัดเขาไร่ยา ท่าเรือแหลมสิงห์ และท่าเรือขลุง ในฤดูแล้ง (เดือนมีนาคม 2563) และฤดูฝน (เดือนกันยายน 2563) ด้วยวิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบเปียก (AOAC, 2005) จากการศึกษา พบปริมาณทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 2.087-28.413, 0.003-0.034 และ 0.032-0.846 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) กำหนดให้มีปริมาณทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม มีค่าไม่เกิน 20, 100, 0.5 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณสังกะสีในหอยนางรมในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานอาหาร ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดของทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม มีค่าเท่ากับ 0.0040, 0.025, 0.0016 และ 0.0028 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าร้อยละการกลับคืนของสารละลายมาตรฐานทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 81-98 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การประเมินความปลอดภัยในการบริโภคหอยเศรษฐกิจที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย

คำสำคัญ: โลหะหนัก หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม จังหวัดจันทบุรี

Abstract

Copper, zinc, lead and cadmium were determined in blood cockles, mussels and oysters from Chanthaburi province in dry and wet seasons. These samples were collected from the Namphu market, Charoen Suk market, Khao Rai Ya Local Market, Laem Sing pier, and Khlung pier during dry and wet seasons in 2020.

The samples were digested by the wet degradation method (AOAC, 2005). The results showed that the concentrations of copper, lead and cadmium in edible bivalves mollusks were 2.087-28.413, 0.003-0.034, and 0.032-0.846 mg kg⁻¹ (Wet weight) respectively, and were lower than the standard limitation in sea food of the Ministry of Public Health (20, 100, 0.5 and 2.0 of copper, zinc, lead, and cadmium, respectively). The concentration of zinc in oysters in the wet season were higher than the standard limitation. The method detection limit of copper, zinc, lead and cadmium was 0.0040, 0.025, 0.0016 and 0.0028 mg kg⁻¹, respectively and the recoveries range was from 81-98. However, the safety assessments of heavy metals gained from consuming bivalves mollusks samples indicate safe levels.

Keywords: Heavy metals, Blood Cockles, Mussels, Oysters, Chanthaburi

¹ อาจารย์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

¹ Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

² Assist. Prof., Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

* Corresponding author; Dr.Sutthinee Mekprayoo, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000 Email: sutthinee.m@rbru.ac.th

บทนำ

เนื่องจากจังหวัดจันทบุรีเป็นจังหวัดทางชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย เป็นพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ทางเศรษฐกิจ มีผู้คนอาศัยอยู่มาก จึงมีการขยายตัวของแหล่งชุมชนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้สภาพแวดล้อมมีความเสื่อมโทรมและถูกทำลาย จากการปล่อยของเสีย ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูลและโลหะหนักต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสัตว์ที่อาศัยอยู่ตามชายฝั่งทะเล เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา ฯลฯ (Velusamy *et al.*, 2014) ในปัจจุบันหอยได้รับความนิยมในการบริโภคมากขึ้น โดยเฉพาะหอยที่มีเนื้อที่นุ่ม และมีเนื้อในปริมาณมาก ส่งผลให้หอยที่หาจากแหล่งทะเลมีจำนวนไม่เพียงพอต่อการบริโภค จึงทำให้เกิดการเพาะเลี้ยงหอย เพื่อการค้าและการส่งออก หอยจึงกลายเป็นสัตว์เศรษฐกิจ แต่เนื่องจากหอยเป็นสัตว์ที่หากินตามโคลนตมผิวหน้าดินในทะเล กินซากพืช ซากสัตว์เป็นอาหาร จึงทำให้หอยที่นำมาบริโภคเกิดการปนเปื้อน เช่น โลหะหนัก และเชื้อโรคที่สะสม ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการอาหารเป็นพิษ ถ้าสะสมอยู่ในร่างกายมนุษย์จะเกิดเป็นโรคร้ายแรงได้ โดยเฉพาะในหอยสองฝา เช่น หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรมที่พบการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปปรอท สารหนู และแคดเมียม เชื้อแบคทีเรียก่อโรคอาหารเป็นพิษ เช่น เชื้อไวรัสโอบี คอเลอเร (*Vibrio cholerae*) เป็นต้น (กระทรวงสาธารณสุข, 2559)

โลหะหนักสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการสัมผัส การหายใจ และการรับประทาน ซึ่งมีความเป็นพิษต่อร่างกาย เป็นสาเหตุของการเจ็บป่วย เช่น โรควิลสัน ไข้ควินโลหะ พิษจากโลหะหนักเป็นปัญหาสำคัญของประเทศ โดยเฉพาะในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงใต้ แต่จากข้อมูลจำนวนผู้ป่วยจากพิษของโลหะหนักที่ถูกรายงาน พบว่ามีค่อนข้างน้อย เนื่องจากการวินิจฉัยค่อนข้างยากและผู้ป่วยอาจไม่แสดงอาการช่วงแรกๆ หรืออาการที่ไม่จำเพาะ (ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ, 2557)

การปนเปื้อนของโลหะหนักในทรัพยากรสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหอยสองฝา ซึ่งจัดเป็นดัชนีบ่งชี้มลพิษในสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าสัตว์น้ำประเภทอื่นๆ เนื่องจากกินอาหารโดยการกรองจากน้ำทะเล การหายใจเข้าออกและมีน้ำผ่านเข้าออกร่างกายตลอดเวลา (แวตทา ทองระอา และคณะ, 2557) อีกทั้งหอยสองฝามีวงจรชีวิตอยู่บริเวณดินตะกอน ไม่เคลื่อนที่ไปไหน หอยสองฝาจึงมีโอกาสสะสมโลหะหนักได้มาก (Cajaraville *et al.*, 2000; Funes *et al.*, 2006; Abdullah *et al.*, 2007) นอกจากนี้การศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของหอยสองฝา พบว่างานวิจัยของ ณิชวร ชันธิกุล และคณะ (2020) มีการปนเปื้อนทองแดงและสังกะสีในดินตะกอนบริเวณอ่าวไทยสูงขึ้นจากการศึกษาของ ฉลวย

มุสิกะ และคณะ (2014) หากนำมาบริโภคอาจเป็นอันตรายร้ายแรงได้ เมื่อสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อเป็นเวลานานจะส่งผลกระทบต่อร่างกาย เช่น ต่อระบบประสาท ตับ ไต ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และเป็นสารก่อมะเร็งปอดได้ (สุวิจน์ ธีวรุต, 2549)

ดังนั้น งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาหอยเศรษฐกิจที่คนไทยนิยมบริโภคเป็นอาหาร ได้แก่ หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม เพื่อตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งมีความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์และเป็นสาเหตุของการเจ็บป่วย โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะหนักที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝน เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคหอยที่ปนเปื้อนของโลหะหนัก และเพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพและการบริหารจัดการทรัพยากรสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศชายฝั่งต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในหอยเศรษฐกิจ
2. เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพในการบริโภคหอยที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

การเก็บตัวอย่างหอย โดยวิธีการสุ่มเก็บอย่างง่าย จากจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 5 จุด ในจังหวัดจันทบุรี ได้แก่

- จุดที่ 1 ตลาดน้ำพุ
- จุดที่ 2 ตลาดเจริญสุข
- จุดที่ 3 ตลาดนัดเขาไร่ยา
- จุดที่ 4 ท่าเรือแหลมสิงห์ พิกัด 12°29'31"N, 102°04'08"E
- จุดที่ 5 ท่าเรือขลุ้ง พิกัด 12°26'21"N, 102°13'06"E

ในการศึกษาค้างนี้เลือกเก็บตัวอย่างหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม ซึ่งเป็นหอยที่คนไทยนิยมรับประทาน และสามารถหาซื้อได้ง่าย โดยมีระยะเวลาการเก็บตัวอย่างหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม ในฤดูแล้งของเดือนมีนาคม 2563 และฤดูฝนของเดือนกันยายน 2563

2. วิธีการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างหอยสองฝาทั้ง 3 ชนิด จาก ตลาดน้ำพุ ตลาดเจริญสุข ตลาดนัดเขาไร่ยา ท่าเรือแหลมสิงห์ และท่าเรือขลุ้ง จังหวัดจันทบุรี ในแต่ละที่เก็บ 2 ฤดู คือ ฤดูแล้ง

(เดือนมีนาคม 2563) และฤดูฝน (เดือนกันยายน 2563) โดยทำการเก็บตัวอย่างหอยทั้ง 3 ชนิดๆ ละ 1 กิโลกรัม และคัดเลือกตัวอย่างหอยที่มีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกันมาศึกษา นำตัวอย่างหอยมาล้างให้สะอาด แคะเอาเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อแช่ไว้ในที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 วัน เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการเตรียมตัวอย่างต่อไป

3. การเตรียมตัวอย่างหอยสองฝา

เตรียมตัวอย่างตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2005) นำตัวอย่างหอยมาสับให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 5.0XXX กรัม จำนวน 3 ซ้ำ หลังจากนั้นนำมาใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร เติมกรดไนตริกเข้มข้น (Nitric Acid, HNO₃) จำนวน 2.5 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric Acid, H₂SO₄) จำนวน 2.5 มิลลิลิตร ย่อยบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หรือสารละลายตัวอย่างใส แล้วทิ้งให้เย็น จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 540 แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ทั้งนี้เครื่องแก้วทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองผ่านการทำความสะอาดด้วย 10% HNO₃ โดยการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงและสังกะสีที่ความยาวคลื่น 324.8 และ 213.9 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตด้วยเครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer (FAAS) รุ่น 3110, Perkin Elmer อัตราส่วนของแก๊สอะเซทาลีนต่อออกซิเจนเท่ากับ 1:3 และวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วและแคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นที่มีปริมาณน้อย โดยไอโซโทปของธาตุแคดเมียมมีมวลต่อประจุเท่ากับ 114 และไอโซโทปของธาตุตะกั่วมีมวลต่อประจุที่ 206, 207 และ 208 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) รุ่น Plasma Quant MS Elite บริษัท Analytikjena ใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นแก๊สเชื้อเพลิง อัตราการไหลของพลาสมาเท่ากับ 9 ลิตรต่อนาที (Figure 1)

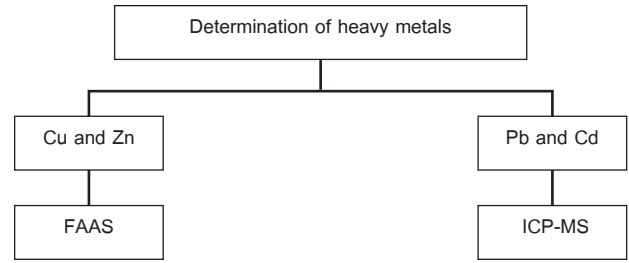


Figure 1 Analysis of heavy metals by FAAS and ICP-MS

4. การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Analytical Method Validation)

ทำการศึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ ให้มีความถูกต้อง แม่นยำ โดยมีรายละเอียด ได้แก่ ค่าร้อยละการกลับคืนมา (% Recovery) และการทดสอบขีดจำกัดการตรวจวัด (Method Detection Limit, MDL)

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม จากตลาดน้ำพุ ตลาดเจริญสุข ตลาดนัดเขาไร่ยา ท่าเรือแหลมสิงห์ และท่าเรือขลุง จังหวัดจันทบุรี โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในฤดูแล้ง เดือนมีนาคม 2563 และฤดูฝน เดือนกันยายน 2563 (Table 1)

Table 1 The average wet weight of heavy metals of Blood Cockles, Mussels and Oysters in dry and wet seasons from Chanthaburi province (n=3)

Stations	Season	Bivalve tissue samples	Heavy metals (mg kg ⁻¹ -wet weight)			
			Cu	Zn	Pb	Cd
Namphu market	Dry	Blood Cockles	2.180±0.0374	11.70±0.3298	0.007±0.0012	0.059±0.0036
		Mussels	2.087±0.0906	7.668±0.2201	0.008±0.0017	0.035±0.0033
		Oysters	8.751±0.1100	54.58±0.0336	0.011±0.0021	0.483±0.0332
	Wet	Blood Cockles	4.439±0.0355	23.14±0.1636	0.014±0.0021	0.072±0.0045
		Mussels	3.843±0.0478	17.97±0.2559	0.021±0.0025	0.067±0.0041
		Oysters	28.41±0.3051	231.8±2.2647	0.023±0.0045	0.648±0.0232

Table 1 The average wet weight of heavy metals of Blood Cockles, Mussels and Oysters in dry and wet seasons from Chanthaburi province (n=3) (cont.)

Stations	Season	Bivalve tissue samples	Heavy metals (mg kg ⁻¹ -wet weight)			
			Cu	Zn	Pb	Cd
Charoen Suk market	Dry	Blood Cockles	2.255±0.0547	16.77±0.3644	0.008±0.0037	0.053±0.0049
		Mussels	2.177±0.1517	7.029±0.1809	0.007±0.0039	0.032±0.0045
		Oysters	11.47±0.2786	91.67±1.5551	0.015±0.0081	0.574±0.0434
	Wet	Blood Cockles	4.593±0.302	23.01±0.3112	0.017±0.0041	0.112±0.0066
		Mussels	24.385±0.2679	19.66±0.7317	0.016±0.0029	0.069±0.0069
		Oysters	25.92±0.4415	252.3±3.8178	0.034±0.0057	0.846±0.0609
KhaO Rai Ya Local Market	Dry	Blood Cockles	2.204±0.1230	13.18±0.1838	0.007±0.0034	0.071±0.0054
		Mussels	2.157±0.0587	11.38±0.2246	0.004±0.0021	0.038±0.0062
		Oysters	9.261±0.1220	64.48±0.5216	0.016±0.0054	0.431±0.0118
	Wet	Blood Cockles	4.428±0.0398	22.61±0.3655	0.016±0.0050	0.087±0.0069
		Mussels	3.516±0.0362	7.21±0.3317	0.008±0.0046	0.062±0.0049
		Oysters	27.35±0.4124	224.8±5.1545	0.027±0.0062	0.635±0.0355
Laem Sing pier	Dry	Blood Cockles	3.118±0.0957	10.04±0.5177	0.004±0.0021	0.054±0.0080
		Mussels	3.105±0.1334	8.634±0.4548	0.005±0.0025	0.033±0.0051
		Oysters	7.952±0.1880	42.57±0.6557	0.010±0.0039	0.386±0.0152
	Wet	Blood Cockles	4.402±0.0474	19.48±0.5123	0.012±0.0037	0.063±0.0092
		Mussels	4.341±0.1236	15.62±0.5016	0.008±0.0024	0.056±0.0033
		Oysters	24.36±0.6963	175.9±3.6175	0.019±0.0041	0.545±0.0551
Khlung pier	Dry	Blood Cockles	2.924±0.1366	9.434±0.0956	0.004±0.0037	0.058±0.0079
		Mussels	3.175±0.1283	8.193±0.1353	0.003±0.0029	0.047±0.0102
		Oysters	7.262±0.1834	36.72±1.331	0.013±0.0029	0.273±0.0537
	Wet	Blood Cockles	3.332±0.2686	18.94±0.6818	0.008±0.0027	0.069±0.0079
		Mussels	3.303±0.2171	17.16±0.5311	0.007±0.0024	0.058±0.0053
		Oysters	21.76±1.0130	167.2±6.2976	0.018±0.0054	0.430±0.0759

Table 2 The permission standard limit in of heavy metal in seafood of the international organization

The international organization	Heavy metals (mg kg ⁻¹ -wet weight)				Reference
	Cu	Zn	Pb	Cd	
Ministry of Public Health, Thailand	20	100	0.5	2.0	PCD (1999)
WHO	30	100	2.0	1.0	WHO (1982)
Brazilian Ministry of Health	150	250	10	5.0	Heidari <i>et al.</i> (2013)
FAO	30	30	0.5	0.005	FAO (1983)
FAO/WHO	30	150	1.5	0.5	FAO/WHO (1984)

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบปริมาณทองแดงในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรมมีค่าอยู่ในช่วง 2.180-4.593, 2.087-4.385 และ 7.262-28.413 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ พบปริมาณตะกั่วในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรมมีค่าอยู่ในช่วง 0.004-0.017, 0.003-0.021 และ 0.010-0.034 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ

พบปริมาณแคดเมียมในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรมมีค่าอยู่ในช่วง 0.033-0.087, 0.032-0.072 และ 0.273-0.846 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) (Table 2) ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับ สุภาน้อย ทรัพย์สินเสริม และคณะ (2563) และ Potipat *et al.* (2015) ในขณะที่พบปริมาณ

สังกะสีในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรมมีค่าอยู่ในช่วง 9.434-23.138, 7.029-19.664 และ 36.721-252.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) ที่ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ผลการศึกษาสอดคล้องกับทิพย์วรรณ แซ่มา (2551) และ Potipat *et al.* (2015) ที่รายงานว่า ปริมาณสังกะสีจะพบมากในอาหารทะเลโดยเฉพาะหอยนางรม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม จากตลาด

น้ำพุ ตลาดเจริญสุข ตลาดนัด เขาไร่ยา ท่าเรือแหลมสิงห์ และท่าเรือขลุ้ง จังหวัดจันทบุรี ในฤดูแล้งของเดือนมีนาคม และฤดูฝนของเดือนกันยายน 2563 พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรมในฤดูฝนมีการสะสมโลหะหนักมากกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากในฤดูฝน กระแสน้ำมีการพัดพาโลหะหนักจากแหล่งต่างๆ เช่น พื้นที่ทำการเกษตร ประมง โรงงานอุตสาหกรรม และเหมืองแร่ไหลลงสู่แหล่งน้ำซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของหอยเศรษฐกิจ (Figure 2)

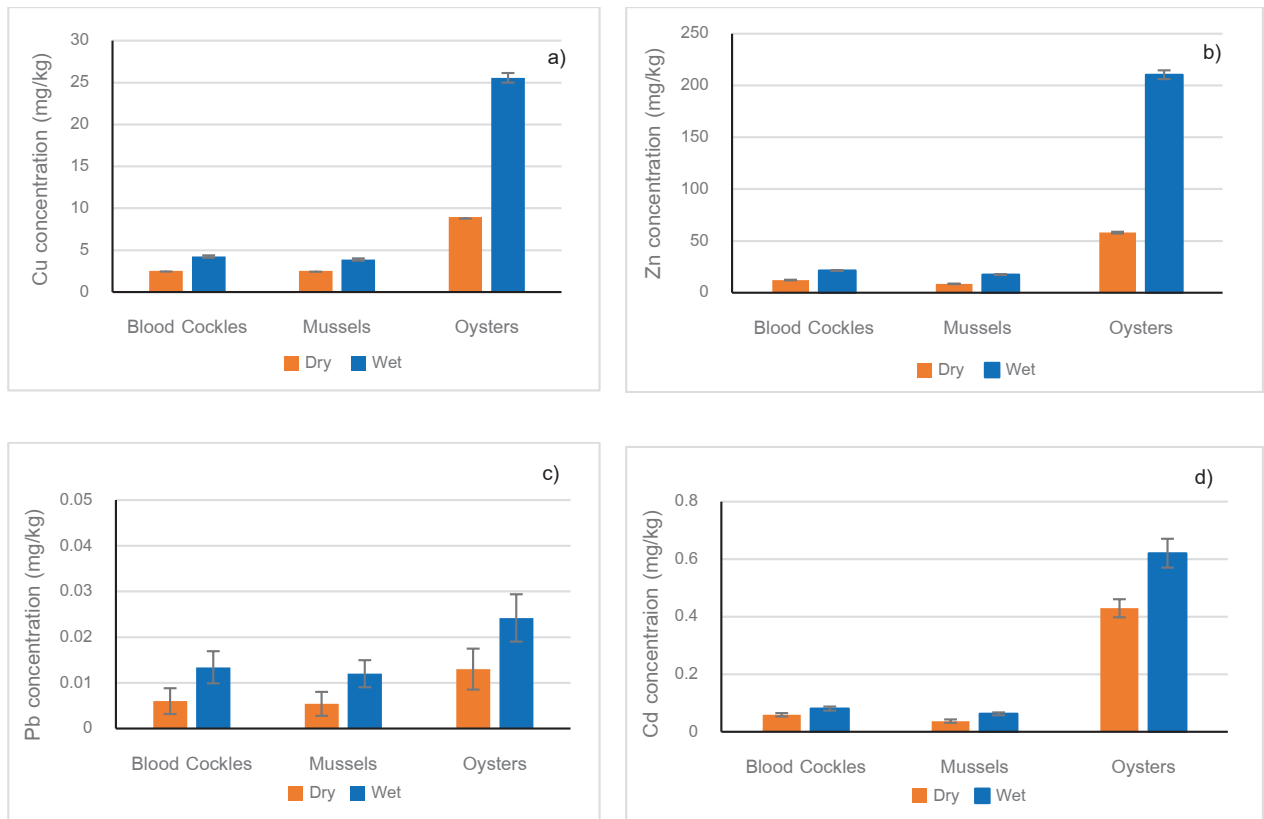


Figure 2 The average concentration of a) Cu b) Zn c) Pb and d) Cd in Blood Cockles, Mussels and Oysters in dry and wet seasons from Chanthaburi province

จาก Figure 2 ซึ่งให้เห็นว่าฤดูฝนมีการสะสมของโลหะหนักมากกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำมีการพัดพาโลหะหนักจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตชายฝั่งทะเลของจันทบุรี ได้แก่ พื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้ง (45.3%), นาข้าว (24.5%), สวนผลไม้ (14.2%), ป่าชายเลน (6.1%), สวนยางพารา (4.9%) และป่าดงดิบ (3.5%) (Raine, 1994) อีกทั้งการขยายตัวของเมืองอย่างแพร่หลายกิจกรรมท่องเที่ยวและนันทนาการอย่างต่อเนื่องเพิ่มขึ้นทั้งพื้นที่ชายทะเลและริมฝั่งแม่น้ำจันทบุรี มาสะสมในแหล่งอาศัยของหอย อีกทั้งพฤติกรรมการกินอาหารโดยการกรองของหอย จึงสามารถ

กรองเอาโลหะหนักเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อได้สูง (แหวตาทองระอา และคณะ, 2557) นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณสังกะสีในหอยนางรมในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) อย่างไรก็ตามการนำหอยนางรมมาบริโภคยังคงมีความปลอดภัย เนื่องจากมีรายงานของพิพัฒน์ นพคุณ (2541) ได้ทำการสำรวจพฤติกรรมการบริโภค (Dietary survey) พบว่า คนไทยบริโภคปลาและอาหารทะเลเฉลี่ยเพียงวันละ 34.8 กรัมต่อคนเท่านั้น แต่ได้รับประทานเป็นประจำ โดยเฉพาะหอยนางรมและหอยแมลงภู่ และมีปัจจัยเสี่ยงด้านอื่นๆ เช่น

สูญบุหรือ การทำงานที่ต้องสัมผัสโลหะหนักดังกล่าว อาจส่งผลให้มีความปลอดภัยลดลง (ทิพย์วรรณ แซ่มา, 2551)

นอกจากนี้ดำเนินการศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ โดยทำการทดลองและคำนวณหาค่าขีดจำกัดการตรวจวัดและร้อยละการกลับคืน (Table 3) สำหรับการทดสอบขีดจำกัดการตรวจวัด ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของ Blank จำนวน 10 ชุด ชุดละ 3 ชั่วโมง และการทดสอบร้อยละการกลับคืน ทำการเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นและปริมาณที่แน่นอนลงในตัวอย่าง ละ 3 ชั่วโมง

Table 3 Method Detection Limit (MDL) and Recoveries for the determination of Cu, Zn, Pb and Cd

Elements	MLD (mg kg ⁻¹)	%Recovery
Cu	0.0040	92-98
Zn	0.025	92-95
Pb	0.0016	81-86
Cd	0.0028	91-93

ผลการศึกษาพบว่าค่าขีดจำกัดการตรวจวัด ของทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม มีค่าเท่ากับ 0.0040, 0.025, 0.0016 และ 0.0028 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าร้อยละการกลับคืนของสารละลายมาตรฐานทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 81-98 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ของมาตรฐานทางอาหารและยา (AOAC, 2002) กำหนดให้ร้อยละการกลับคืนมีค่าที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงร้อยละ 80-115 แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์นี้มีความถูกต้องแม่นยำ

สรุปผลการวิจัย

การปนเปื้อนทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียม ในหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม จากตลาดน้ำพุตลาดเจริญสุข ตลาดนัดเขาไระยา ท่าเรือแหลมสิงห์ และท่าเรือขลุ่ย จังหวัดจันทบุรี ในฤดูแล้งของเดือนมีนาคม และฤดูฝนของเดือนกันยายน 2563 พบว่าทองแดง ตะกั่ว และแคดเมียมมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529) ในขณะที่ปริมาณสังกะสีในหอยนางรมในช่วงฤดูฝนมีค่ามากกว่ามาตรฐาน เนื่องจากอิทธิพลของกระแส น้ำที่พัดพาโลหะหนักจากแหล่งต่างๆ สะสมบริเวณที่อยู่อาศัยของหอยเศรษฐกิจ รวมถึงการกินอาหารโดยการกรองของหอยจึงสามารถกรองเอาโลหะหนักเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อได้

ดังนั้น เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคหอยนางรมควรบริโภคในปริมาณที่พอเหมาะ ไม่บริโภคต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานานๆ รวมถึงไม่มีปัจจัยเสี่ยงด้านอื่นๆ เช่น ปัญหาสุขภาพหรือปัจจัยจากการสัมผัสโลหะหนักดังกล่าวจากแหล่งอื่นจะไม่ส่งผลที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค ตลอดจนไม่ปรากฏผู้ที่ได้รับอันตรายหรือผู้ป่วยเป็นโรคพิษเฉียบพลันโลหะสังกะสีจากการบริโภคหอยสองฝาดังกล่าว นอกจากนี้ข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักสามารถเป็นดัชนีชี้วัดการปนเปื้อนของสารมลพิษที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมตามแนวชายฝั่งของภาคตะวันออกและการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยต่อการบริโภคสัตว์น้ำต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการวิเคราะห์หาการปนเปื้อนของโลหะหนักในหอยอื่นๆ เพิ่มเติม ที่นอกเหนือจากหอยที่มาจากทะเล เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องด้านการประเมินความเสี่ยงที่ได้รับจากการรับประทานหอยที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

2. ควรมีการศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำ ดิน ตะกอน และสัตว์เศรษฐกิจอื่นๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อป้องกันระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางทะเล ที่มีผลกระทบต่อทรัพยากรทางทะเล และสุขภาพของประชาชนได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและสารเคมีจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศูนย์วิจัยและพัฒนาวัตกรรมการสินค้าเกษตรและอาหารภาคตะวันออก คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. (2529). *พระราชบัญญัติโลหะหนักในอาหาร*. กระทรวงสาธารณสุข.
- ณัฐวร ชันธิกุล, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ และณิศา ภาวโรธศิริ. (2020). การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอน ตามฤดูกาลและพื้นที่บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน. *Thai Science and Technology Journal*. <https://doi.org/10.14456/tstj.2020.138>.
- ทิพย์วรรณ แซ่มา. (2553). การปนเปื้อนโลหะหนักในหอยสองฝาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ บริเวณดอนหอยหลอด จังหวัดสมุทรสงคราม. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48* (หน้า 191-198).

- พิพัฒน์ นพคุณ. (2541). แคดเมียมในอาหารทะเล. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, 40 (3), 341-345.
- แววตา ทองระอา ฉวย มุสิกะ วันชัย วงศ์ดาวรรณ และ อาวุธ หมั่นหาผล. (2557). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการได้รับโลหะหนักจากการบริโภคอาหารทะเลบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 19 (2), 39-54.
- ศุภลักษณ์ พวงสุวรรณ. (2557). ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในปลาทุ่นบริเวณแนวสันเขาใต้น้ำ 90° E. [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์].
- สุภาณ้อย ทรัพย์สินเสริม ประทุมวัลย์ เจริญพร ภัสราภา แก้วเนิน และนิศานาถ ตันตัยย์. (2563). ปริมาณโลหะหนักสารชีวพิษ และเชื้อ *Escherichia coli* ในหอยสองฝาของประเทศไทย. กองตรวจสอบคุณภาพสินค้าประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สุวัจน์ ธีธร. (2549). โลหะหนัก, มลพิษทางทะเลและชายฝั่ง. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์.
- Abdullah, M.H., Sidi, J., & Aris, A.Z. (2007). Heavy metals (Cd, Cu, Cr, Pb and Zn) in Meretrix Roding, water and sediments from estuaries in Sabah, North Borneo. *Inter Journal of Environmental and Science Education*, 2 (3), 69-74.
- AOAC. (2005). *Official method of analysis* (15th ed.), Arlington: The Association of Official Analytical Chemists.
- Cajaraville, M.P., Bebianno, M.J., Blasco, J., Porte, C., Sarasquete, C., & Viarenge, A. (2000). The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian peninsula: a practical approach. *Science of the Total Environment Journal*, 247, 295-311.
- FAO. (1983). *Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products*. FAO Fishery Circular No.464. Food and Agriculture Organization.
- Funes, V., Alhama, J., Navas, J.I., Lopez-Barea, J., & Peinado, J. (2006). Ecotoxicological effects of metal pollution in two mollusk species from the Spanish south atlantic littoral. *Journal of Environmental Pollution*, 139, 214-223.
- Heidari, B., Bakhtiari, A.R., & Shirneshan, G. (2013). Concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in soft tissue of oyster (*Saccostrea cucullata*) collected from the Lengeh Port coast, Persian Gulf, Iran: A comparison with the permissible limits for public health. *Food Chemistry*, 141, 3014-19.
- Musika, C., Wongsudawan, W. and Thongra-ar, W. (2014). Distribution and accumulation of heavy metals in sediments of the Inner Gulf of Thailand, *Proceedings of the 4th Marine Science: Blue Ocean Science*, 569-580. Prince of Songkla University, Songkla,
- PCD. (2015). *The report of the water pollution situation and management year 1998-1999*. Ministry of Natural Resources and Environment. Thailand.
- Potipat, J., Tangkrock-olan, N., Helander, H.F. (2015). Bioconcentration factor (BCF) and depuration of heavy metals of oysters (*Saccostrea cucullata*) and mussels (*Perna viridis*) in the river basins of coastal area of Chanthaburi province, Gulf of Thailand. *EnvironmentAsia*, 8 (2), 118-128.
- Raine, R.M. (1994). Current land use and changes in land use over time in the coastal zone of Chanthaburi Province, Thailand. *Biological Conservation*, 67 (3), 201-04.
- Velusamy, A., Kumar, P.S., Ram, A., & Chinnadurai, S. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in commercially important marine fishes from Mumbai harbor, India. *Journal of Marine Pollution Bulletin*, 81, 218-224.
- WHO. (1984) *List of maximum levels recommended for contaminants by the joint FAO/WHO codex alimentarius commission*. Second Series. WHO.
- WHO. (1982). *Toxicological evaluation of certain food additives*. World Health Organization.

การผลิตไบโอดีเซลชนิดไหลอย่างต่อเนื่องด้วยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ

Continuous flow biodiesel production using microwave heating

อินทวิทย์ งามอาจ¹, อติศักดิ์ ปัตติยะ², จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์^{3*}
Intarak Ongart¹, Adisak Pattiya², Jindaporn Jamradloedluk^{3*}

Received: 22 May 2022 ; Revised: 7 June 2022 ; Accepted: 14 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการผลิตไบโอดีเซลชนิดไหลอย่างต่อเนื่องโดยใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งความร้อน ปาล์มน้ำมันถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ผ่านการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ (600 และ 800 วัตต์) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (1 นาที และ 2 นาที) และอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำมันปาล์ม (60 และ 80 องศาเซลเซียส) ที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) และจากผลการศึกษา พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ลดลง และการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ยังพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือ ที่กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 800 วัตต์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 นาที และอุณหภูมิเริ่มต้น 60 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ได้ปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด (86.13%) สำหรับสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ความหนาแน่น จุดวาบไฟ และจุดขุ่น มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน กำหนด

คำสำคัญ: น้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซล ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เมทิลเอสเทอร์ ไมโครเวฟ

Abstract

Continuous flow biodiesel production using microwaves as a heat source is proposed. Palm oil was converted into methyl ester via transesterification using potassium hydroxide (KOH) as a catalyst. Methanol to oil molar ratio and catalyst amount were set at 6:1 and 1%wt, respectively. Influences of microwave power (600 and 800 W), reaction time (1 and 2 min), and initial temperature (60 and 80°C) on yield of biodiesel (methyl ester, ME) were experimentally studied. The experimental results indicated that the longer reaction time led to a higher ME yield while the initial. However, influence of microwave power was not significant. The highest yield (86.31%) was found at microwave power of 800 W, reaction time of 2 min and initial temperature of 60°C. Properties in terms of density, flash point, and cloud point were in the acceptable ranges of biodiesel (methyl ester of fatty acid) standard set by Department of Energy Business, Ministry of Energy, Thailand.

Keywords: Biodiesel, Methyl ester, Microwave, Palm oil, Transesterification

¹ นิสิตปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150

² รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 44150

¹ Master Degree, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 44150

² Associate Professor, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 44150

³ Assistant Professor, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Maha Sarakham, 44150

* Corresponding author, e-mail: jindaporn.msu@gmail.com

บทนำ

จากวิกฤตราคาน้ำมันปาล์มตกต่ำตั้งแต่ปลายปี 2560 ทำให้รัฐบาลเร่งรัดนโยบายการเพิ่มสัดส่วนการผลิตไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซล ซึ่งเดิมมีการผสมอยู่ที่สัดส่วนไม่เกินร้อยละ 7 และในปี 2561 ได้เริ่มมีการใช้น้ำมัน B20 ซึ่งมีไบโอดีเซลผสมในสัดส่วนร้อยละ 20 สำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มอุปสงค์การใช้น้ำมันปาล์มที่ล้นตลาด ทำให้มียอดใช้ไบโอดีเซลรวมทั้งสิ้นราว 4.3 ล้านลิตร/วัน จากปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล 65.8 ล้านลิตร/วัน อย่างไรก็ตามกำลังการผลิตไบโอดีเซลรวมทั้งประเทศในปี 2561 อยู่ที่ 7.7 ล้านลิตร/วัน จึงจำเป็นต้องหามาตรการเพื่อเพิ่มอุปสงค์ในการใช้ไบโอดีเซล กระทรวงพลังงานจึงมีเป้าหมายการเพิ่มสัดส่วนไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซลทั่วไปจากร้อยละ 7 เป็น 10 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มคุณภาพไบโอดีเซล เพื่อให้ได้การยอมรับจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ (กระทรวงพลังงาน, 2561) ทั้งนี้ในแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 กำหนดเป้าหมายการใช้ไบโอดีเซลที่ 14 ล้านลิตร/วัน ภายในปี 2579 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ผ่านปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า “ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน” ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิที่เหมาะสม ได้ผลผลิตหลักออกมาเป็น “แอลคิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล)” และไดกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ (สุหรีดี นิเช็ง, 2563) โดยในทางทฤษฎีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันคือ 3:1 (Figure 1)



Figure 1 Transesterification reaction
ที่มา: Ma & Hanna, 1999

เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตจากวัสดุชีวภาพ ดังนั้นจึงไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องปรับแต่ง อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานกว่า เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลจะช่วยให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่า น้ำมันดีเซล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) สำหรับน้ำมันที่สามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการ

ผลิตไบโอดีเซลนั้นจะมีสมบัติเบื้องต้นและราคาที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต โดยจะนิยมใช้น้ำมันที่ต่างกันตามศักยภาพของแต่ละพื้นที่ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้ถั่วเหลืองซึ่งมีการปลูกเป็นจำนวนมาก ยุโรปนิยมใช้เมล็ดเรพและเมล็ดทานตะวัน สำหรับประเทศไทยนิยมใช้น้ำมันที่ได้จากปาล์มน้ำมันเนื่องจากการปลูกในโซนภาคใต้ของประเทศเป็นจำนวนมาก สมบัติของน้ำมันประเภทต่างๆ แสดงไว้ใน Table 1

Table 1 Properties of various vegetable oil

Oil	Specific gravity (at 21°C)	Viscosity (at 21°C) (cSt)	Calorific value (kJ/kg)
Soybean	0.918	57.2	39,350
Sun flower	0.918	60.0	39,490
Coconut	0.915	51.9	37,540
Peanut	0.914	67.1	39,470
Palm	0.898	88.6	39,550
Palm seed	0.904	66.3	37,720
Jatropha seed	0.915	36.9 (at 38°C)	39,000
Diesel	0.845	3.8	46,800

ที่มา: (ชานนท์ โพธิ์เจริญ, 2550)

โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมักจะใช้เมทานอลเป็นสารทำปฏิกิริยาเนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีและราคาย่อมเยา ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง เพราะสามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาได้เป็นอย่างดี และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่จำเป็นต้องใช้ความร้อน โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ จุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ ซึ่งตามปกติแล้วมักให้ความร้อนกับระบบด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้า (Electrical heater) อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนด้วยวิธีดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่นาน จึงได้มีการศึกษาวิจัยในการนำคลื่นรังสีประเภทต่างๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เช่น ไมโครเวฟ อัลตราโซนิก และอินฟราเรด เป็นต้น (Nezihe & Aysegul, 2008)

คลื่นรังสีไมโครเวฟ หมายถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 0.3-300 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) และความยาวคลื่น 1 เมตร ถึง 1 มิลลิเมตร คลื่นรังสีไมโครเวฟมีคุณสมบัติเป็นกลุ่มและมีความเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าในทาง

ตรงข้ามกับคลื่นแสง (ส่วนหนึ่งของแสงเลเซอร์) คลื่นรังสีไมโครเวฟจะประพฤติตัวอยู่ในกฎของแสงและสามารถเคลื่อนที่ ดูดซับหรือสะท้อนกลับ การนำรังสีไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในการกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น สามารถใช้เครื่องไมโครเวฟโดยทั่วไปมาดัดแปลงโดยการเจาะรูด้านบน ติดตั้งคอนเดนเซอร์เพื่อให้ไอที่ลอยออกไปเกิดการควบแน่น แล้วตกลงมา เป็นการป้องกันเมทานอลหรือไบโอดีเซลไม่ให้ระเหยออกไป (Chen *et al.*, 2014) โดยทั่วไปการแผ่รังสีไมโครเวฟจะไปกระตุ้นโมเลกุลไอออนโดยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้โมเลกุลหรือไอออนมีขั้วเกิดการหมุนอย่างรวดเร็วและเกิดความร้อนต่อเนื่องจากแรงเสียดทาน

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยในการนำรังสีไมโครเวฟมาใช้ในการช่วยเร่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เช่น (ปรเมษฐ์ สิทธิสันต์, 2553) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลแบบไหลต่อเนื่องโดยใช้เครื่องไมโครเวฟตามบ้านเรือน โดยการนำสบู่ดำมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันต่อยับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล 1:10.2 เวลาในการทำปฏิกิริยา 31 วินาที และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.3% โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการศึกษาพบว่า ได้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซล 96.5% และไบโอดีเซลที่ได้มีจุดขุ่น 4°C จุดไหลเท 1°C ความหนืด 4.2 cSt จุดวาบไฟ 154°C และค่าความร้อน 37.76 kJ/g ซึ่งสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้สอดคล้องตามมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด

สำหรับน้ำมันสบู่ดำ ยังได้มีการศึกษาการนำไมโครเวฟ 800 วัตต์ มาใช้ในการช่วยเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 7.5:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5% เปรียบเทียบกับกรณีการให้ความร้อนด้วยวิธีดั้งเดิมซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 65°C จากผลการศึกษา พบว่า ไมโครเวฟสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 150 นาที เป็น 2 นาที (Shakinaz *et al.*, 2010)

นอกจากนี้ยังได้มีการนำไมโครเวฟ 600 วัตต์ มาช่วยเพิ่มผลผลิตไบโอดีเซลในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้วโดยมีถ่านหินดัดแปลง (Modified coal fly ash) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษาครั้งนี้พบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 9.67:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านหินดัดแปลง 3.99% และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง ทำให้ได้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุดที่ 94.91% และเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวมาใช้ซ้ำ 8 ครั้ง พบว่า ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซลยังคงมากกว่า 90% (Xiang & Wang, 2017)

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษารวบรวมผลงานวิจัยเกี่ยวกับการนำไมโครเวฟมาช่วยในการเร่งปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งพบว่า เพื่อให้ได้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุด ช่วงสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 300-700 วัตต์ อุณหภูมิ 55-65°C เวลาตอบสนอง 1-7 นาที และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH หรือ KOH) 1-1.3% โดยน้ำหนัก (Khedri *et al.*, 2019)

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาและทดสอบเตาปฏิกรณ์ไมโครเวฟสำหรับการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง
2. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณผลได้และสมบัติของไบโอดีเซล

วัสดุอุปกรณ์การวิจัย

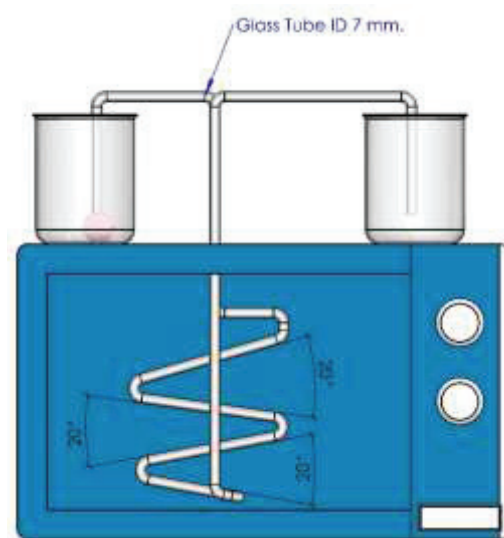


Figure 2 Microwave reactor for producing continuous flow biodiesel

สำหรับงานวิจัยนี้ เครื่องผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟได้พัฒนามาจากเครื่องไมโครเวฟที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป โดยทำการติดตั้งท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ความยาว 150 เซนติเมตร และขดทำมุม 20 องศา โดยเครื่องไมโครเวฟนี้สามารถปรับกำลังไฟฟ้าได้ 4 ระดับคือ 90, 360, 600 และ 800 วัตต์ และมีความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าตามความถี่ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Power density of microwave at different frequencies

Frequency (MHz)	Power density (mW/cm ²)
0.3-3	100
3-30	90/f ²
30-300	1.0
300-1,500	f/300
1,500-100,000	5.0

หมายเหตุ: f คือความถี่ที่มีหน่วยเป็น MHz (บัณฑิต โรจนอารยานนท์, 2559)

น้ำมันปาล์มยี่ห้ออมรทต เมทานอลความบริสุทธิ์ 99% (QRëC) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (UNIVAR)

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนและกระบวนการทดลอง

1. ชั่งน้ำมันปาล์ม 200 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วชั่งน้ำมันปาล์มให้ได้อุณหภูมิเริ่มต้นตามกำหนด จากนั้นนำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ใส่ลงในเมทานอลตามสัดส่วนที่กำหนด (1% โดยน้ำหนัก) แล้วกวนผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้เกิดเป็นสารละลายเมทอกไซด์

2. เปิดบีมซึ่งควบคุมการไหลโดยการปรับกระแสแรงดันที่จ่ายให้กับบีม (Power supply DC) เพื่อป้อนสารตั้งต้น (น้ำมันปาล์มและสารละลายเมทอกไซด์) ให้ไหลไปตามท่อทาง

ผ่านท่อปฏิกิริยาคอยล์แก้วที่อยู่ภายในห้องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ เพื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไหลออกมาตามท่อทางออก ไปรวมกันที่ภาชนะรองรับเพื่อรอทำการแยกเมทิลเอสเทอร์ออกจากผลิตภัณฑ์อื่นๆ ก่อนนำเมทิลเอสเทอร์ไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ต่อไป (Figure 3)

3. นำไบโอดีเซลที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดสารเคมีที่ตกค้าง โดยใช้ น้ำกลั่นปริมาตร 100-200 ml กวนเพื่อให้ น้ำเข้าไปล้างน้ำมันเป็นเวลา 20 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกตัว เทส่วนน้ำออก จากนั้นจึงนำส่วนผลิตภัณฑ์ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-120°C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อระเหยน้ำที่คงค้างออก

4. นำผลิตภัณฑ์เก็บในขวดใส่สาร แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ตาม Table 3

5. ทำการทดลองซ้ำตามการออกแบบการทดลอง ใน Table 4 โดยทำการทดลองสภาวะละ 2 ซ้ำ



Figure 3 Biodiesel production process

Table 3 Standard of biodiesel (methyl ester of fatty acid) set by Department of Energy Business, Ministry of Energy, Thailand

No.	Properties	Ranges	Test methods	
1	Methyl ester (%wt)	Not less than	96.5	EN 14103
2	Density at 15 °C (kg/m ³)	Not lower than and higher than	860 900	ASTM D 1298
3	Viscosity at 40 °C (cSt)	Not lower than and higher than	3.5 5.0	ASTM D 445
4	Flash point (°C)	Not lower than	120	ASTM D 93
5	Oxidation Stability at 110 °C (hr)	Not less than	10	EN 15751
6	Cloud point	Not higher than	16	ASTM D 2500
7	Pour point	Not higher than	10	ASTM D 97

ที่มา: (ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน, 2556)

Table 4 Experimental design

Lab. No.	Microwave power (W)	Factors	
		Time (min)	Initial temperature (°C)
1	600	1	60
2			80
3		2	60
4			80
5	800	1	60
6			80
7		2	60
8			80

แผนการทดลอง

การศึกษานี้วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ในวิธีการศึกษา โดยวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Two-way analysis of variance วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธีการใช้โปรแกรม SPSS และกำหนดค่าความเชื่อมั่นทางสถิติที่ $p < 0.05$ ดังปรากฏใน Table 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเตาปฏิกรณ์ไมโครเวฟชนิดไหลอย่างต่อเนื่องโดยใช้น้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของ 3 ปัจจัย (กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิเริ่มต้น) ที่มีต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ และได้ทดสอบสมบัติต่างๆ ของเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ ได้ข้อมูลดังแสดงใน Table 5

Table 5 Yield of methyl ester at different transesterification conditions

No.	Factors			ME yield
	Microwave power (W)	Time (min)	Initial temperature (°C)	Average
1	600	1	60	80.24±0.78 ^{abc}
2			80	78.32±1.26 ^{ab}
3		2	60	82.84±2.01 ^c
4			80	77.31±1.94 ^{ab}
5	800	1	60	77.14±1.03 ^{ab}
6			80	80.48±1.77 ^{bc}
7		2	60	86.31±1.44 ^d
8			80	76.70±0.86 ^a

* หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสมมติเดียวกัน คือมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ความแตกต่างของของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีนำข้อมูลป้อนใส่โปรแกรม SPSS หาค่าเฉลี่ยที่ได้ออกมาเป็น a,b,c,d และกำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ $p > 0.05$

อิทธิพลของกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ

ในการศึกษานี้ได้ใช้กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 2 ระดับ คือ 600 และ 800 วัตต์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การเพิ่มกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้น (Choedkiatsakul *et al.*, 2015) โดยเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟจาก 300 วัตต์ เป็น 700 วัตต์ ทำได้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มจาก 90% เป็น 97%

อย่างไรก็ตาม สำหรับงานวิจัยนี้ พบว่า การเพิ่มกำลังไฟฟ้าจาก 600 วัตต์ เป็น 800 วัตต์ ทำให้อัตราผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากว่า กำลังไฟฟ้าทั้งสองระดับมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

อิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 1 นาที เป็น 2 นาที ส่งผลให้อัตราผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่า การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้สารทำปฏิกิริยาอยู่ในไมโครเวฟเป็นระยะเวลาที่นานขึ้น ทำให้เกิดการปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากขึ้น ส่งผลให้อัตราผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shakinis *et al.* (2010) ซึ่งเป็นการ

ศึกษาการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ไมโครเวฟ 300-700 วัตต์ ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 และ 1.3% ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 1 นาที เป็น 7 นาที ทำให้อัตราผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มจาก 90.04% เป็น 98.85%

อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้น

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาถือเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งในทางทฤษฎี (Hong *et al.*, 2016) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 40 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส ทำให้ผลได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 83.5% เป็น 94.9% การใช้อุณหภูมิที่สูงมากมักส่งผลให้การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเปลี่ยนเป็นระลอกไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อน้ำมัน เนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่สูงเกินไป (Chen *et al.*, 2014.)

สำหรับในงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา แต่ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (60 และ 80 องศาเซลเซียส) ซึ่งจากผลการทดลองในตาราง 5 พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นจาก 60 เป็น 80 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ลดลงจากร้อยละ 77.14-86.31 เป็นร้อยละ 76.70-80.48 ทั้งนี้ อาจเนื่องจากว่าอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลกระทบต่อการระเหยของแอลกอฮอล์ ซึ่งจุดเดือดของแอลกอฮอล์ (เมทานอล) อยู่ที่ 64.5°C

สมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ

จากการเพิ่มกำลังไฟฟ้า 600 เป็น 800 วัตต์ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 1 นาที เป็น 2 นาที และใช้อุณหภูมิ

ตั้งต้น 60°C ส่งผลให้ค่าคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลเป็นไปตามที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากทุกสภาวะการทดลองไปทดสอบสมบัติเบื้องต้น ดังแสดงใน Table 6 พบว่าค่าความหนืด ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท และเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C มีค่าอยู่ในช่วง 4.22 - 5.84 cSt, 854.77 - 884.23 kg/m³, 140.5 - 169°C, 16.78 - 19.83%, 14.5 - 15°C, 7 - 8°C และ 9.26 - 25.20 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าความหนืดและค่าเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C ในบางสภาวะการทดลองมีค่าสูงกว่าเกณฑ์เล็กน้อย ในขณะที่สมบัติอื่นๆ เป็นไปตามมาตรฐานลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานกำหนด

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลการผลิตไบโอดีเซลที่พัฒนาขึ้น สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในปริมาณสูงสุด 34.94 มิลลิลิตรต่อหน้าที่ การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ลดลงและกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟไม่ได้ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญ โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา คือ กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 800 วัตต์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 นาที และอุณหภูมิเริ่มต้น 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 86.31

Table 6 Properties of methyl ester obtained from different transesterification conditions

Factors			Properties of methyl ester						
Microwave power (W)	Time (min)	Initial temperature (°C)	Viscosity (cSt)	Density (kg/m ³)	Flash point (°C)	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Oxidation Stability (hr.)	Calorific value (Cal/g)
600	1	60	4.22±0.02 ^a	884.23±0.03 ^a	169±1.0 ^a	15±0.0 ^a	7.5±0.5 ^a	25.20±0.96 ^a	9,459.78 ^{bc}
		80	4.25±0.01 ^a	854.77±0.02 ^b	156±0.0 ^d	14.5±0.5 ^a	8±0.0 ^a	18.87±0.99 ^d	9,420.25 ^{bc}
	2	60	4.54±0.02 ^a	861.69±0.02 ^e	165.5±0.5 ^f	15±0.0 ^a	7.5±0.5 ^a	15.19±1.35 ^b	9,406.29 ^{bc}
		80	4.35±0.05 ^a	868.85±0.03 ^f	140.5±0.0 ^a	14.5±0.5 ^a	8±0.0 ^a	19.02±0.92 ^d	9,314.51 ^{ab}
800	1	60	5.11±0.13 ^b	873.92±0.02 ^h	145±0.0 ^c	14.5±0.5 ^a	7.5±0.5 ^a	10.00±0.43 ^a	9,520.48 ^c
		80	5.26±0.08 ^{bc}	861.35±0.02 ^d	164±0.0 ^e	15±0.0 ^a	8±0.0 ^a	9.26±1.21 ^a	9,235.65 ^a
	2	60	5.78±0.08 ^d	861.25±0.03 ^c	143±0.0 ^b	14.5±0.5 ^a	7±0.0 ^a	18.13±0.42 ^d	9,422.65 ^{bc}
		80	5.84±0.63 ^{cd}	872.33±0.02 ^g	143±0.0 ^b	14.5±0.5 ^a	7±0.0 ^a	17.16±0.65 ^c	9,498.19 ^c

* หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในสมมติเดียวกัน คือมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p<0.05)

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. (2561). *แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2561-2580*. กระทรวงพลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). *แผนการพัฒนากำลังงานทดแทนและทางเลือก พ.ศ. 2558-2579*. กระทรวงพลังงาน.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2553). *คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน*. กระทรวงพลังงาน.

ชานนท์ โพธิ์เจริญ. (2550). *การพัฒนาเครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำขนาดเล็กโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ*. วท.ด. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. (2559). *วิศวกรรมไมโครเวฟ*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. (2556). *กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล*. กระทรวงพลังงาน.

ประเมษฐ์ สิทธิสันต์. (2553). *การผลิตไบโอดีเซลแบบกึ่งต่อเนื่องจากกระบวนการทรานเอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันสบู่ดำที่มีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุทธิ นีแข็ง. (2563). *การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันในน้ำเสียชุมชน เทศบาลเขารูปช้าง จังหวัดสงขลา*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

Chen, G., Shan, R., Shi, J., & Yan, B. (2014). Ultrasonic-assisted production of biodiesel from transesterification of palm oil over ostrich eggshell-derived CaO catalysts. *Bioresource Technology*, 171, 428-32.

- Choedkiatsakul., I., K. Ngaosuwan, S. Assabumrungart., S. Mantegna, and G. Cravotto. (2015). *Biodiesel production in a novel continuous flow microwave reactor. Renewable Energy, 83*, 25-29. Doi:10.1016/j.renene.2015.04.012.
- Hong, I., Jeon, H., Kim, H. & Lee, S. (2016). Preparation of waste cooking oil based biodiesel using microwave irradiation energy. *J. Ind. Eng. Chem, 42*, 107-112.
- Nezihe, A. & Aysegul, D. (2008). Microwave assisted transesterification of rapeseed oil. *Fuel, 87* (10-11), 1781-88.
- Khedri, Behzad, Mostafaei, M. & Ardebili, S. (2019). A review on microwave-assisted biodiesel production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 41* (19), 2377-95.
- Ma, F. & Hanna, M.A. (1999). Biodiesel production: A review. *Bioresource Technology, 70*, 1-15. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5).
- Shakinaz, A.El. Sherbiny, Ahmed, A. Refaat, & Shakinaz, T. & El Sheltawy. (2010). Production of Biodiesel Using the Microwave Technique. *Journal of Advanced Research, 1* (4), 309-14.
- Xiang, Y., Yukun X., & Lipeng, W. (2017). Microwave radiation improves biodiesel yields from waste cooking oil in the presence of modified coal fly ash. *Journal of Taibah University for Science 11* (6),1019-29.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่เรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษร่วมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

3.1 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.scjmsu.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

ชื่อผู้พิมพ์ [Author (s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงบรรณของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาท่อนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.scjmsu.msu.ac.th

เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). *ชื่อเรื่อง* (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฑฒิ. (2547). *หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่*. ปิตติศึกษา.

2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, เลขของปีที่ (เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /<https://doi.org/เลขdoi>

ตัวอย่าง:

มานะ สันธวงษานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารครุศาสตร์*, 18 (2), 115-116.

3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ใน/ชื่อบรรณานุกรม (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชราภา ตันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ* (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. ชื่อหนังสือพิมพ์, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เติลนิวส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑน์' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวส์*, 4.

5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี*. http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73h VYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are **Accepted** from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be **Revised** as appropriate to the standard. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

3. Browallia New font is required with font size as follows:

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name (s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission: online submission via www.scjmsu.msu.ac.th.

8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.

Research article / review article must be in sequence as follows:

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name (s) of the author (s) : denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

Keywords: Give 4-5 concise words to specify your article

Introduction: This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation

Results: Present the output. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

Tables, figures, diagrams: Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred in APA.

Reference are written in “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4th ed.). SAGE.

2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225>

3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9

4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. <http://www.nytimes.com>

5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. <https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html>

Aim and Scope:

The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and technology. The journal publishes both research article and review article.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Facilitation and Dissemination,
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4416 ext. 1754

Advisors

President of Maharakham University
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng
Professor Dr. Peerask Srinives

Editor-in-Chief

Professor Dr. Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr. Pairot Pramual
Maharakham University
Professor Dr. Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Professor Dr. Anongrit Kangrang
Maharakham University
Associate Professor Dr. Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr. Vallaya Sutthikhum
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr. Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr. La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr. Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr. Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr. Wongsak Laohasiriwong
Khon Kaen University
Professor Dr. Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University
Professor Dr. Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr. Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr. Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University

Associate Professor Dr. Chantana Aromdee
Khon Kaen University
Associate Professor Dr. Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration
Associate Professor Dr. Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr. Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr. Orawich Goompol
Maharakham University
Associate Professor Dr. Chawalit Boonpok
Maharakham University
Associate Professor Terdsak Khammeng
Nakhon Phanom University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Assistant Professor Dr. Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr. Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr. Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr. Walaiporn Tongjaroenbuengam
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Alongkorn Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Dr. Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr. Adrian Roderick Plant
Maharakham University

Secretary

Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary

Phakwilai Rungwisai
Jirarat Puseerit

Six issues per year

Number 1 January-February
Number 2 March-April
Number 3 May-June
Number 4 July-August
Number 5 September-October
Number 6 November-December