

RMUTP

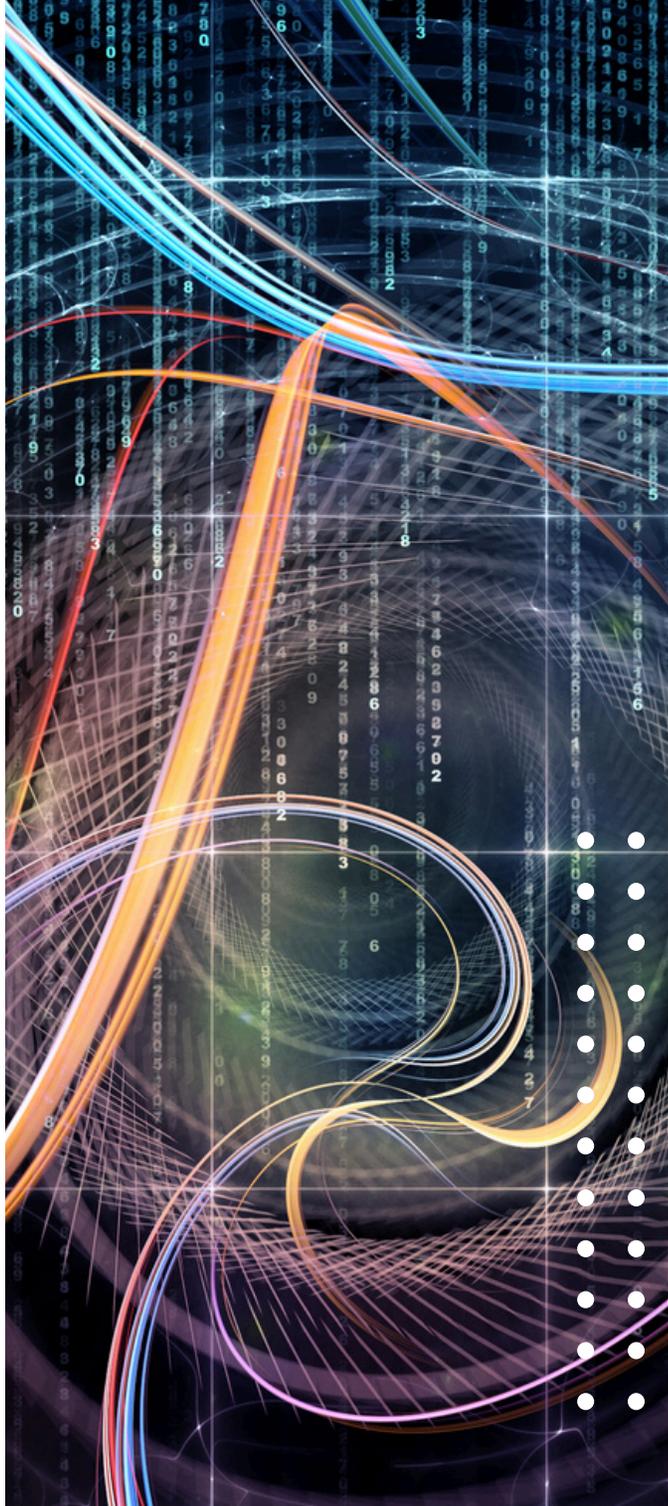
# RMUTP

RESEARCH JOURNAL  
*Sciences and Technology*

วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร  
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2568  
Vol. 19 No. 1 January - June 2025

E-ISSN : 3027-8260



วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
RMUTP RESEARCH JOURNAL Sciences and Technology

ที่ปรึกษา

ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่เรือตรี ดร.ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

กองบรรณาธิการ จากหน่วยงานภายนอก

|                             |                  |  |
|-----------------------------|------------------|--|
| ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ    | เกียรติศิริโรจน์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                       |
| ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย        | วงศ์วิเศษ        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี      |
| ศาสตราจารย์ ดร.อรธกร        | เก่งพล           | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| ศาสตราจารย์ ดร.สันติ        | แมนศิริ          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                |
| ศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์    | เพ็ชรมิตร        | มหาวิทยาลัยมหิดล                           |
| ศาสตราจารย์ ดร.รัตติก       | ยี่มนิรัฐ        | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                |
| รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย    | อมรศักดิ์ชัย     | มหาวิทยาลัยมหิดล                           |
| รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย     | พองสมุทร         | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                       |
| รองศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา | รัตนวิไล         | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์                   |
| รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ     | แววศักดิ์        | มหาวิทยาลัยทักษิณ                          |
| รองศาสตราจารย์ ดร.พนิดา     | กั้งซุ่น         | มหาวิทยาลัยทักษิณ                          |
| รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล    | กลีนบุญ          | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ         |

กองบรรณาธิการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

|  |  |
|--|--|
| รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งอรุณ พรเจริญ           | รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนพล มงคลรัตนาสีทธี      |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ |
| ดร.ชลากร อุดมรักษาสกุล                       | ดร.สิงห์แก้ว ป็อกเท็ง                        |
| ดร.วราพร ทองจีน                              | นางสาวพัชรนันท์ ยั่งรวริเชียร                |

## สารบัญ

วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2568 ISSN 3027-8260 (Online)

---

หน้า

### บทความวิจัย:

- สมบัติของภาชนะชีวภาพเคลือบพอลิแลกติกแอซิด (PLA) ผสมพอลิบิวทิลีน  
ซัคซิเนต (PBS)  
มนตรี ขาวสุข ปริยานุช แยมจินดา และ ธณัฐชัย สมใจ 1
- ผลของสารไดบิวทิลทินและโมนิบิวทิลทินต่อการเจริญเติบโต การตายและ  
การพัฒนาอวัยวะเพศผู้ของหอยหวาน (*Babylonia areolata*) เพศเมีย  
สุภัณฑิต นิมรัตน์ กณิกนันต์ ศรีสวัสดิ์ ไตรมาศ บุญไทย และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย 15
- การอัปเดตเซลล์ของแผ่นฟิล์มจากโรงงานเป็นอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์วัดความชื้น  
กาญจนา ลือพงษ์ เลิศลักษณ์ แก้ววิมล และ เสาวณีย์ อารีจงเจริญ 28
- พฤษเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตำรับยาแผนไทย: อัคคินิวคณะ  
ชวลิต โยงรัมย์ ภาณุพันธ์ ศรีพันธุ์ สุวดี โชคชัยศิริ รัมภ์รดา มีบุญญา  
อรรรรณ วงษ์อนันต์ พิมลวรรณ ศิริปรุ สุธิดา ดาถ้ำ จุฑามาศ รดา  
เพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง และ ปัญญาดา ปัญญาทิพย์ 39
- การสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งและมาใช้ประโยชน์ในการผลิต  
เป็นสารเคลือบบริโภคได้เพื่อรักษาคุณภาพการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง  
ระหว่างการเก็บรักษา  
นาฎกาญจน์ จักรานวัฒน์ อรสา สีดาจิตร อังคณา ทักษิณากร และ ศุภกร หวังศิริกำโชค 51
- นวัตกรรมสีย้อมจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อม  
กรณีศึกษาร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร  
ประพาฬภรณ์ อีรมงคล และ พัดชา อุทิศวรรณกุล 64

## สารบัญ

วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2568 ISSN 3027-8260 (Online)

---

หน้า

### บทความวิจัย:

- ผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสด้วยน้ำตาลอิริทริทอลต่อการยอมรับและคุณภาพ  
ทางประสาทสัมผัสของดาร์กช็อกโกแลตผสมสารสกัดรากโสมอินเดียในกลุ่มผู้ใหญ่  
ที่มีปัญหาการนอนไม่หลับ 78  
สิริชาญ รัตน์โชติช่วง ชุตติกาญจน์ วิริยะเสริมสุข ศรัญญา ฉวีสุข จิระเดช บุตรโม  
มณีรัตน์ เตชะวิเชียร ญาณิศา ทับเจริญ และ ฉัตรภา หัตถโกศล
- Depletion of Total Solar Ultraviolet (TUV) Radiation (260–400 nm) and 87  
Erythematous Weighted Solar Ultraviolet (EUV) Radiation by Aerosols  
Under Clear Sky Conditions: A Case Study from Data Collected at  
Nakhon Pathom Station in Thailand  
Wijitra Kangwanwit Sumaman Buntoung and Serm Janjai
- การออกแบบ สร้าง และประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกิ่งไม้ที่ใช้งานตัด 2 ใบมีด 3 93  
ใบมีด และ 4 ใบมีด  
ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน ณฑพร จินดาประเสริฐ ฐณพล เวียงทอง และ  
ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท
- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา-อะไมเลส และแอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัด 104  
ด้วยเอทานอลจากใบหนานเฉาเหว่ย  
ณพัชรอร บัวฉุน
- การพัฒนาวิธีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยสารสกัดใบบัวหลวงและเทคนิค 115  
อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี  
อุษารัตน์ คำทับทิม เกษมณี พลุกคล้าย นภาพร รัศมีเฟื่องฟู และ รัฐพล หงส์เกรียงไกร

## สารบัญ

วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2568 ISSN 3027-8260 (Online)

---

หน้า

### บทความวิจัย:

- ผลของ pH เวลา และอุณหภูมิต่อปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (สารกาบ้า)  
ของข้าวหลากสายพันธุ์ในพื้นที่ปลูกจังหวัดนครสวรรค์  
ณัฐพงศ์ เพชรอำไพ และ ศิริกาญจนา ศรินนทร์ 129
- การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยผงเปลือกงาขาว  
สุปรียา กันยาประสิทธิ์ ประยูร ประเทศ และ ศิริรัตน์ แจ้จรรย์ 141
- การคัดแยกกราและยีสต์จากลูกแป้งเพื่อใช้ในการพัฒนาและยกระดับผลิตภัณฑ์สาโท  
จากข้าวพันธุ์พื้นเมืองบุรีรัมย์และสุรินทร์  
ประภาพันธ์ ศิริจันทร์แสง ประภัสสรา ศิริจันทร์แสง และ ณัฐพงษ์ สวัสดิ์ 154
- การเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกความสูงของทุเรียนด้วยการตัดภาพ  
พื้นหลังแบบไฮบริด  
รติพร จันทร์กลั่น กิระชาติ สุขสุทธิ เกตุกาญจน์ โพธิจิตติกานต์ พรภัสสร อ่อนเกิด  
และ อภิชาติ ตีรประเสริฐสิน 167
- สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลและถ่านจากเศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม  
ทางการเกษตร  
นริศ ประทินทอง สร้อยดาว วินิจนันท์รัตน์ นารีรัตน์ สุขชี พิสิฐพงษ์ อินทรพงษ์  
และ อัจฉรีย์ มานะกิจ 181

# สมบัติของภาชนะชีวภาพเคลือบพอลิแลกติกแอซิด (PLA) ผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS)

มนตรี ชาวสุข ปรียานุช แยมจินดา และ ธัญญ์ยศ สมใจ\*

คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี  
129 หมู่ 21 ตำบลเนินหอม อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 25230

รับบทความ 15 มิถุนายน 2566 แก้ไขบทความ 25 ตุลาคม 2566 ตอรับบทความ 30 พฤศจิกายน 2566

## บทคัดย่อ

ภาชนะชีวภาพเคลือบพอลิแลกติกแอซิด(PLA) ผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต(PBS) เริ่มจากการเตรียมเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ด้วยกระบวนการโซดาทำการปั่น โดยผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ต่อเปลือกข้าวโพดในอัตราส่วน 20:80 ตามลำดับ และขึ้นรูปกระดาษทำมือ ทำการเคลือบด้วยฟิล์ม PLA ผสม PBS ด้วยการอัดรีดร้อน จากการวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษที่ไม่เคลือบและเคลือบพื้นผิวด้วย PLA ผสม PBS พบว่า กระดาษที่ผ่านการเคลือบมีความหนาแน่นลดลง มีความเป็นมันเงา ในส่วนของการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกล พบว่า ความต้านแรงดึง และร้อยละการยืดของขึ้นทดสอบที่จุดขาด และความต้านแรงดึงเปียกมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่เคลือบ เมื่อทำการอัดขึ้นรูปภาชนะเพื่อการทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะ ผลการทดสอบภาชนะที่ผลิตจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบ PLA ผสม PBS ไม่เกิดการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะได้ทุกเงื่อนไข ผลการทดสอบทั้งหมดระบุว่ากระดาษทำมือเคลือบ PLA ผสม PBS สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตภาชนะได้ดี

คำสำคัญ : ภาชนะชีวภาพ; PLA ผสม PBS; กระดาษเส้นใยธรรมชาติทำมือ

# The Properties of Biological Container Coated with Polylactic Acid (PLA) Blends with Polybutylene Succinate (PBS)

Montri Kawsuk Preeyanut Yamjinda and Thanutyot Somjai\*

Faculty of Industrial Technology and Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus

129 Moo 21 Tambon Noen Hom, Muang Prachin Buri, Prachin Buri, 25230

---

*Received 15 June 2023; Revised 25 October 2023; Accepted 30 November 2023*

## Abstract

Biological container coated with Polylactic Acid (PLA) blended with Polybutylene Succinate (PBS) was produced by corn husk fiber and bamboo sprout fiber. Both fibers were mixed in soda process by spinning at ratio 20:80 (%w/w) of bamboo sprout fiber and corn husk fiber, respectively. Then, paper container was formed by hot compression handmade with and without coated. By investigation physical properties of paper container both with and without coated with PLA blended with PBS, the results of paper container coated with PLA blended with PBS showed less surface roughness and more shiny skin. In term of mechanical properties evaluation, Tensile Strength, %Elongation at Break and Wet Tensile Strength also showed better if comparing with paper container without coating. Besides, paper container was formed by compression process to test leakage and deformation resistant. The results of paper container which produced by corn husk fiber and bamboo sprout then coated with PLA blended with PBS showed no water leakage and no deformation in any conditions. By the overall research evaluation, the handmade paper container coated with PLA blended with PBS could be usefully applied to produce food container products.

**Keywords :** Biological Container; Polylactic Acid (PLA)/Polybutylene Succinate (PBS); Natural Fibers  
Paper Handmade

---

\* *Corresponding Author. Tel.: +668 9693 9301, E-mail Address: Thanutyot.s@itm.kmutnb.ac.th*

## 1. บทนำ

ขยะพลาสติกในประเทศไทยจากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยในประเทศไทยปี 2564 ของกรมควบคุมมลพิษ ระบุว่าขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 24.98 ล้านตัน พบขยะพลาสติกใช้ครั้งเดียว (Single-use Plastics) จำพวกถุงพลาสติกมากที่สุด อาทิ ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว และมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ประเทศไทยได้ประกาศ Roadmap การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561 – 2573 โดยมีเป้าหมายที่ 1 ลดและเลิกใช้พลาสติกเป้าหมายด้วยการใช้วัสดุทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป้าหมายที่ 2 นำขยะพลาสติกเป้าหมายกลับมาใช้ประโยชน์เข้าสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน โดยมีมาตรการที่ต้องอาศัยความร่วมมือของภาคส่วนต่างๆ เพื่อจัดการกับปัญหาพลาสติกใช้ครั้งเดียวทิ้ง [1] การใช้พลาสติกบรรจุอาหารประเภทสารประกอบจากปิโตรเลียมถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในบรรจุภัณฑ์อาหารประเภทใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นและต้นทุนที่ต่ำ แต่ก็ไม่ง่ายที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ [2] และไบโอเมอร์ที่เป็นพิษสามารถรั่วไหลออกจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งนำไปสู่มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอย่างร้ายแรง และปัญหาด้านความปลอดภัยของอาหาร [3] วัสดุที่มาจากชีวมวลและย่อยสลายได้กลายเป็นทางเลือกทดแทนวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อลดวิกฤตสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย [4] กระดาษจัดเป็นวัสดุสีเขียว ปลอดภัย ย่อยสลายได้ ทำให้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานบรรจุภัณฑ์อาหาร กระดาษเซลลูโลสถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในบรรจุภัณฑ์อาหารจานด่วน เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ย่อยสลายง่าย และรีไซเคิลได้ [5] อย่างไรก็ตาม การใช้งานมีข้อจำกัดเนื่องจากไม่กันน้ำหรือกันน้ำมัน กระดาษดูดซับความชื้นได้ง่ายในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงหรือเมื่อสัมผัสกับอาหารที่มีความชื้นสูง และไม่มีคุณสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นรูพรุน ดังนั้น จึงมักถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบที่ไม่ชอบน้ำ เช่น โพลีเอทิลีน

(PE) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ น้ำยาง และฟลูออโรคาร์บอน เพื่อปรับปรุงการกันไอน้ำหรือคุณสมบัติกันน้ำ [6] หนึ่งในการใช้งานที่สำคัญของกระดาษแข็งเคลือบวัสดุที่ไม่ชอบน้ำคือ ถ้วยกระดาษแบบด้านเดียวที่ใช้แล้วทิ้ง แม้ว่าถ้วยกระดาษที่ใช้แล้วมีโอกาสสูงในการรีไซเคิลเนื่องจากผลิตจากเยื่อธรรมชาติ 100% แต่วัสดุเคลือบพลาสติกสังเคราะห์ เช่น PE และไฮพาราฟินทำให้ยากต่อการแยกรีไซเคิล หรือทำปุ๋ยหมักหลังการใช้งาน ซึ่งไม่เพียงทำให้เสียทรัพยากรธรรมชาติ แต่ยังเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม [7] เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดจากวัสดุเคลือบพลาสติกสังเคราะห์ โพลีเมอร์ชีวภาพหลายชนิดที่น่ากลับมาใช้ใหม่ได้และย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้พยายามแทนที่การเคลือบโพลีเมอร์สังเคราะห์บนกระดาษแข็งสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร [8-10] เนื่องจากโพลีเมอร์ชีวภาพธรรมชาติส่วนใหญ่ที่ได้จากพืชหรือสัตว์มีลักษณะที่ชอบน้ำ ความพยายามส่วนใหญ่ในการเพิ่มการกันน้ำของวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากกระดาษโดยการเคลือบด้วยโพลีเมอร์ชีวภาพตามธรรมชาติดังกล่าวจึงประสบผลสำเร็จค่อนข้างจำกัด [11]

ไม้เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นวัสดุเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเป็นส่วนใหญ่ อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษแบ่งเนื้อไม้เพื่อแยกเซลลูโลสออกจากสารที่ไม่ใช่เซลลูโลสโดยใช้วิธีการทางกลและทางเคมี ซึ่งนำไปสู่การเกิดสารละลาย สารละลายเยื่อกระดาษนี้จะถูกฉีดพ่นและทำให้แห้งในภายหลังโดยใช้เครื่องจักรเพื่อผลิตแผ่นกระดาษ [12] ในขณะที่ปริมาณการใช้กระดาษทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทรัพยากรป่าไม้ทั่วโลกกำลังลดน้อยลงในอัตราที่สูงยิ่งขึ้น ประเทศที่ขาดแคลนป่าไม้กำลังมองหาแหล่งเส้นใยทดแทนโดยเฉพาะที่ไม่ใช่ไม้ [13] เพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นของการผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งกระดาษในประเทศที่ไม่มีไม้เพียงพอ พืชที่ไม่ใช่ไม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ แม้ว่าในปัจจุบันฟาง ธัญพืช และขานอ้อยเป็นพืช

สำคัญ และยังมีพืชจากแหล่งอื่นๆ เช่น ปอ ป่าน ป่านครนารายณ์กล้วย ปอ ฯลฯ อาจกลายเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับการผลิตกระดาษในอนาคตได้เช่นกัน

เส้นใยที่ไม่ใช่เนื้อไม้ถูกนำมาใช้ในการผลิตกระดาษ โดยเฉพาะในจีนและอินเดีย ไม่มีคุณสมบัติซึ่งมีเกือบ 70% [14] เมื่อเทียบกับแหล่งไม้ พืชที่ไม่ใช่ไม้และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีข้อดีหลายอย่าง เช่น วงจรการเจริญเติบโตสั้น การชลประทานในระดับปานกลาง ความต้องการปุ๋ยและปริมาณลิกนินต่ำ ส่งผลให้พลังงานลดลงและการใช้สารเคมีที่อ่อนลงระหว่างการผลิตเยื่อกระดาษ อย่างไรก็ตาม แหล่งที่มาที่ไม่ใช่เนื้อไม้มีข้อเสียบางประการเมื่อเทียบกับไม้ รวมถึงความพร้อมตามฤดูกาล และปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวม การขนส่ง และการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษา [15] การพัฒนากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษที่ไม่ใช่ไม้ให้ประสบความสำเร็จจะต้องสามารถใช้ศักยภาพของกระบวนการสำรวจพืชใหม่ที่ไม่ใช่ไม้ที่เติบโตอย่างรวดเร็วเป็นวัสดุทางเลือก ไม้ยืนต้นที่โตเร็วหลายชนิด (ไม้ และหญ้าอ้อยักษ์) ได้รับการจำแนก เพาะปลูก และศึกษาความเหมาะสมสำหรับการผลิตเยื่อและกระดาษแล้ว [16] หน่อไม้ไผ่ตงและข้าวโพดที่มีความสำคัญในจังหวัดปราจีนบุรี [17] ในการบริโภคหน่อไม้ไผ่ตงและข้าวโพดจะต้องมีการตัดแต่งเปลือกออก ซึ่งการจัดการเปลือกหน่อไม้ไผ่ตงและเปลือกข้าวโพดจะนำไปฝังกลบ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้เกิดภาวะโลกร้อน มนตรี ชาวสุขและธณัฐยศ สมใจ[18] ศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อเส้นใยเปลือกหน่อไม้ และระยะเวลาของการต้มเส้นใยต่อการผลิตกระดาษเส้นใยเปลือกหน่อไม้ และกระดาษเปลือกข้าวโพดทำมื่อการสร้างบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม [19] M. O .Aremu, et al. [20] แสดงให้เห็นว่าการนำเปลือกข้าวโพดและกากน้ำตาลที่ผสมกันเป็นการเพิ่มศักยภาพในการเป็นเส้นใยทดแทนในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ

การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาสมบัติของกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมเปลือกหน่อไม้ มีเคลือบด้วย PLA ผสม PBS เพื่อผลิตภาชนะทางชีวภาพ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

เปลือกหน่อไม้ไผ่ตง และเปลือกข้าวโพด เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตรของจังหวัดปราจีนบุรี

### 2.1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใย

วิธีการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษได้แก่ กระบวนการโซดา (Soda Process) เป็นกระบวนการที่ใช้โซดาไฟ (NaOH) เป็นน้ำยาในการต้มย่อยเยื่อ โดยเยื่อกระดาษที่ได้เมื่อนำไปพอกขาวแล้วจะเหมาะสมสำหรับทำกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษจดหมาย และกระดาษที่ต้องการความนุ่มฟู นอกจากนั้นการผลิตกระดาษชนิดพิเศษเช่น กระดาษสา ในการเตรียมเส้นใยแต่ละอัตราส่วนใช้น้ำ 13 ลิตร ต้มจนน้ำมีอุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส ทำการจับเวลาการต้ม และทำการล้างเส้นใย วัดค่า pH โดยใช้กระดาษลิตมัส จนมีความเป็นกลาง

#### 2.1.1 การเตรียมเส้นใยจากเปลือกข้าวโพด

ธมลวรรณ ไบพลูทอง และคณะ [21] ได้ทำการพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษจากเปลือกข้าวโพดพบว่ากระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด อัตราส่วน NaOH : เส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.5 : 9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการต้ม 120 นาที และ ที่อัตราส่วน 1:9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการต้ม 60 และ 120 นาที มีสมบัติที่ดีในการทำกระดาษ

#### 2.1.2 การเตรียมเส้นใยจากเปลือกหน่อไม้ไผ่ตง

จิราภรณ์ ผาวันดี และสิริวรรณ จันอินทร์ [22] ได้ศึกษากระดาษจากเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบด้วยพลาสติกชีวภาพ ในอัตราส่วน NaOH : เส้นใยเปลือกหน่อไม้ที่ 1.5:14 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการต้ม 120 นาที เป็นสถานะที่เหมาะสมกับการผลิตกระดาษ

## 2.2 การขึ้นรูปกระดาษ

1) นำเยื่อเปลือกข้าวโพดในอัตราส่วน NaOH : เส้นใยเปลือกข้าวโพด

1.1) 0.5:9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาต้ม 120 นาที (P1)

1.2) 1:9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาต้ม 60 นาที (P2)

1.3) 1:9 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาต้ม 120 นาที (P3)

ปั่นเยื่อปริมาณ 120 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการปั่นเยื่อเปลือกข้าวโพด 1 นาที

2) นำเยื่อเปลือกหน่อไม้ที่อัตราส่วน NaOH : เส้นใยเปลือกหน่อไม้ที่ 1.5:14 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาต้ม 120 นาที ปั่นเยื่อปริมาณ 30 กรัม โดยใช้ระยะเวลาในการปั่นเยื่อหน่อไม้ 3 นาที

3) เทเยื่อที่ปั่นแล้วผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ผสมเปลือกข้าวโพดในอัตราส่วน 20:80 [23] ลงในเฟรมตะขாய ขนาด 210 × 297 มม. จากนั้นตีเยื่อในน้ำให้เยื่อกระจายตัวออกจากกันแล้วร่อนเฟรมให้เยื่อมีความหนาเท่าๆ กัน นำเฟรมตะขாயที่ร่อนเยื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วไปตากแดดโดยวางท่ามุม 45 องศา จนกระดาษมีความหนา นำกระดาษที่หมาดไปรีดร้อนด้วยเครื่องรีดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

## 2.3 การเคลือบกระดาษทำมือ PLA ผสม PBS

กระดาษทำมือจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ถูกเคลือบด้วยฟิล์ม PLA ผสม PBS [24] โดยนำฟิล์ม PLA ผสม PBS มาตัดให้ได้ขนาดที่พอดีกับกระดาษทั้ง 2 ด้าน แล้วนำเข้าเครื่องอัดรีดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเคลือบ 20 นาที และนำมาพัก แสดงดังรูปที่ 1 กระดาษทำมือที่ถูกเคลือบ และไม่ถูกเคลือบ นำมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมบัติ



รูปที่ 1 กระดาษที่เคลือบ PLA ผสม PBS

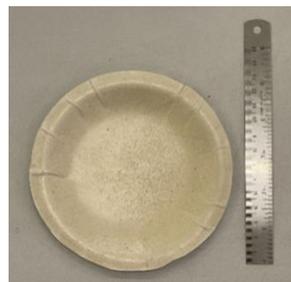
ตารางที่ 1 สรุปสัดส่วนโดยน้ำหนัก NaOH และเส้นใย และระยะเวลาในการต้มเส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ และกระดาษที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของกระดาษในอัตราส่วนต่างๆ

| Condition   | Corn Husk       |                    | Bamboo Sprout Coat       |                    |
|-------------|-----------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
|             | NaOH: Corn Husk | Boiling Time (min) | NaOH: Bamboo Sprout Coat | Boiling Time (min) |
| P1          | 0.5:9           | 120                | 1.5:14                   | 120                |
| P1+PLA/PBS  | 0.5:9           | 120                | 1.5:14                   | 120                |
| P2          | 1:9             | 60                 | 1.5:14                   | 120                |
| P2+ PLA/PBS | 1:9             | 60                 | 1.5:14                   | 120                |
| P3          | 1:9             | 120                | 1.5:14                   | 120                |
| P3+ PLA/PBS | 1:9             | 120                | 1.5:14                   | 120                |

## 2.4 การอัดขึ้นรูปกระดาษ

กระดาษทำมือที่ถูกเคลือบด้วย PLA ผสม PBS และไม่ถูกเคลือบ วางกระดาษบนแม่พิมพ์แล้วใช้แม่แรงกดจนกระดาษขึ้นเป็นรูปภาชนะทิ้งไว้ 10 วินาที ได้มาเป็นภาชนะจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ทั้งแบบเคลือบ PLA ผสม PBS และไม่เคลือบ ขนาดรัศมี 7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาชนะที่ผ่านการขึ้นรูป

## 2.5 การทดสอบสมบัติของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้

ตัวอย่างกระดาษทำมือที่ถูกเคลือบด้วย PLA ผสม PBS และไม่ถูกเคลือบ ถูกตัดสำหรับการทดสอบความหนา (Thickness) ความชื้น (Moisture Content; %M<sub>0</sub>) ความต้านแรงดึง (Tensile Strength; TS) และ

ร้อยละการยืดของขึ้นทดสอบที่จุดขาด (Percentage Elongation at Break; %E) ความต้านแรงดึงเปียก (Wet Tensile Strength) และสัญญาณวิทยาของทั้งพื้นผิวและมุมมองภาคตัดขวาง

1) ความหนาของกระดาษ: ใช้เครื่องมือวัดไมโครคาลิปเปอร์ ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร รุ่น Series 293 ยี่ห้อ Mitutoyo ความหนาถูกกำหนดที่ 5 ตำแหน่งบนตัวอย่างตามความยาวของแถบตัวอย่างและรายงานค่าเฉลี่ย

2) ความชื้น: เตรียมขึ้นทดสอบนำเศษกระดาษในแต่ละอัตราส่วน ใช้เครื่องชั่งดิจิทัลที่มีความละเอียดถึง 0.001 กรัม รุ่น TD-016 ยี่ห้อ Digital Scale ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้น 1 กรัม นำเศษกระดาษเข้าตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) อบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $105 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าความชื้นด้วยสมการที่ (1)

$$M_d = \frac{W-d}{d} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

W = น้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)

d = น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

M<sub>d</sub> = ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)

3) ความต้านแรงดึง (TS) และร้อยละการยืดของขึ้นทดสอบที่จุดขาด (%E): ตัวอย่างกระดาษแต่ละแผ่นได้รับการประเมินด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบเอนกประสงค์รุ่น Cometech LRK-5KN (Cometech Testing Machines Co., Ltd., Taiwan) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ตัวอย่างทดสอบแรงดึงถูกตัดเป็นแถบสี่เหลี่ยมขนาด  $2.54 \times 10$  เซนติเมตร และตั้งค่าความเร็วครอสเฮดไว้ที่ 50 มิลลิเมตร/นาที TS ปริมาณการยืดของขึ้นทดสอบที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบแรงดึง เป็นข้อมูลแสดงสมบัติความเหนียว

การวัดค่า TS และ %E สำหรับกระดาษแข็งแต่ละประเภทถูกทำซ้ำ 3 ครั้ง

4) ความต้านทานแรงดึงเปียกของกระดาษ: วัดตามวิธีมาตรฐาน Tappi (T494. om-88) โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ Cometech LRK-5KN โดยมีเงื่อนไขการทดสอบเดียวกันกับการทดสอบแรงดึงตัวอย่างกระดาษ ได้แก่ กระดาษที่ไม่เคลือบผิว และเคลือบ PLA ผสม PBS แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 30 นาที วัดความต้านทานแรงดึงหลังจากซับน้ำออก

5) การทดสอบสัญญาณวิทยา : ขึ้นงานกระดาษทำมือที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบ PLA ผสม PBS ขึ้นตัวอย่างไม่นำไฟฟ้าจึงต้องทำการเคลือบทอง (Au-coated) ก่อนที่จะนำไปทดสอบสัญญาณวิทยาของทั้งพื้นผิวและมุมมองภาคตัดขวางของวัสดุที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบ PLA ผสม PBS ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Axia ChemiSEM, ThermoScientific, Germany)

## 2.6 การทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะ

การทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะ: จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ภาชนะจากพีซี มผช.๑๕๕๗/๒๕๖๓ กำหนดให้ การทดสอบการรั่วซึมและการทดสอบความคงรูปโดยการนำตัวอย่างภาชนะจากพีซี หน่วยภาชนะบรรจุละ 1 ขึ้น วางบนกระดาษสีขาวที่เรียบและแห้ง ใส่น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส ให้เต็มจนถึงขอบปากภาชนะ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที แล้วตรวจพิจารณาการรั่วซึมของน้ำ และให้ตรวจพิจารณาเปลี่ยนแปลงของภาชนะตัวอย่างทันที [25]

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 การเคลือบกระดาษทำมือผสม

J.W. RHiM and J.H. Kim [7] อธิบายการก่อตัวของสารเคลือบผิวกระดาษจะได้รับผลกระทบจากปัจจัย

ต่าง ๆ เช่น ตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย เคลือบ อุณหภูมิในการเคลือบและการทำให้แห้ง และ อัตราการทำให้แห้ง กระดาษแข็งเคลือบ PLA ผสม PBS ทั้งหมดมีพื้นผิวเรียบและชั้นของ PLA ผสม PBS ยังยึดติดกับกระดาษได้ดีโดยไม่เกิดการหลุดร่อน ในการศึกษา นี้เป็นการเคลือบกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดและเปลือกหน่อไม้ กระดาษที่ผ่านการเคลือบ และอัดรีดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ช่วยให้ PLA ผสม PBS ติดกับกระดาษได้ดี ทั้งหมดมีพื้นมันเงา ชั้นของ PLA ผสม PBS ยังยึดติดกับกระดาษได้ดีโดยไม่เกิดการหลุดร่อนแม้ว่าพื้นผิวของกระดาษแข็ง ดังนั้น PLA ผสม PBS มีความสามารถในการเคลือบกระดาษได้เป็นอย่างดี รูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ากระดาษ P1-P3 ที่ไม่ผ่านการเคลือบลักษณะผิวหน้าจะเห็นได้ว่าผิวมีลักษณะเส้นใยที่สามารถมองเห็นได้ มีเส้นใยที่ผสมกันอยู่ ลักษณะผิวเรียบ เป็นระนาบเดียวกัน ในส่วนกระดาษทำมือที่ผ่านการเคลือบ PLA ผสม PBS ลักษณะผิวหน้าจะเห็นได้ว่าพื้นผิวมีลักษณะที่เรียบและมันเงา สามารถมองเห็นความมันเงาได้อย่างชัดเจนกว่า

ตารางที่ 2 ความหนาและความชื้นของกระดาษ

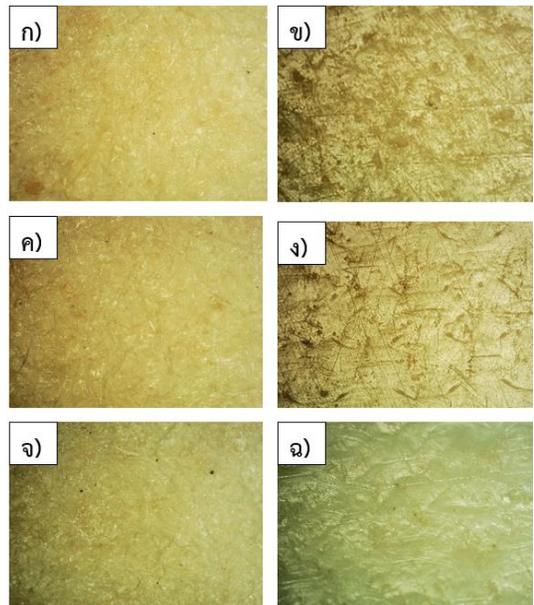
| Condition   | Thickness (mm) | Moisture content (% db.) |
|-------------|----------------|--------------------------|
| P1          | 0.825±0.300    | 5.99±1.26                |
| P1+PLA,PBS  | 0.855±0.354    | 5.25±0.80                |
| P2          | 0.501±0.049    | 5.82±1.10                |
| P2+ PLA,PBS | 0.516±0.058    | 5.24±0.52                |
| P3          | 0.625±0.101    | 4.86±0.64                |
| P3+ PLA,PBS | 0.679±0.200    | 2.38±0.31                |

ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลลัพธ์เกี่ยวกับความหนาและความชื้นของกระดาษในอัตราส่วนต่างๆ ที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS และไม่ถูกเคลือบ แสดงไว้ในตารางที่ 2 ค่าความชื้นของกระดาษในแต่ละอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ภาชนะ

จากพีช มพช.๑๕๕๗/๒๕๖๓ และกระดาษทำมือจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เมื่อถูกเคลือบด้วย PLA ผสม PBS จะมีความหนาเพิ่มขึ้น

การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยเยื่อกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเปลือกหน่อไม้ ที่ได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ในรูปที่ 4 ก)-ค) แสดงตัวแทนของตัวอย่างกระดาษทำมือแสดงเส้นใยพื้นผิวหน้าแต่ละเส้นถูกจัดเรียงแบบสุ่มเพื่อสร้างเครือข่ายที่เชื่อมโยงกัน การมีเส้นใยยาวและเส้นใยที่เชื่อมต่อกันช่วยเพิ่ม



ก) กระดาษ P1 ข) กระดาษเคลือบ P1+PLA,PBS

ค) กระดาษ P2 ง) กระดาษเคลือบ P2+PLA,PBS

จ) กระดาษ P3 ฉ) กระดาษเคลือบ P3+PLA,PBS

รูปที่ 3 ภาพกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเปลือกหน่อไม้

ความแข็งแรงให้กับแผ่นกระดาษทำมือ ลักษณะของเส้นใยมีที่บดจ่อ เสียหาย และม้วนงอ อาจเกิดจากแรงทางกลและปฏิกิริยาทางเคมี/พันธะทางเคมี ระหว่างการประมวลผลเส้นใยและการทำกระดาษ จากการศึกษา งานวิจัยเรื่อง การเตรียม องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะ และคุณสมบัติของแผ่นกระดาษหญ้าเนเปียร์ [12] ได้

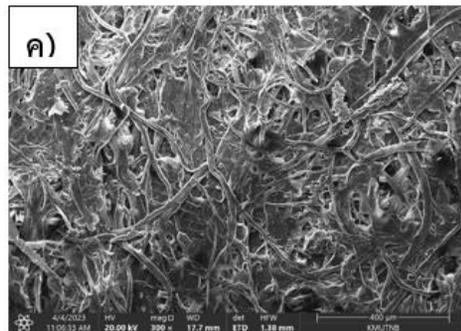
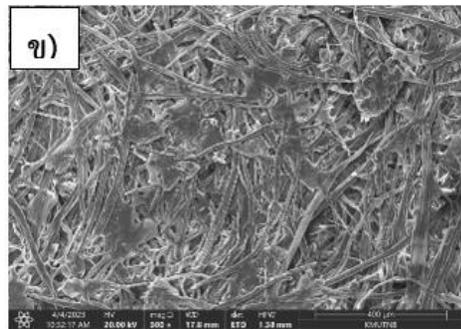
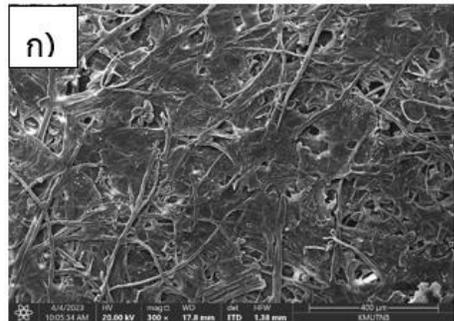
อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาระหว่างเส้นใย หนาติดกับเยื่อกระดาษที่ได้ โดยทั่วไปเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติส่วนใหญ่มีโครงสร้างหลายเซลล์และประกอบด้วยเซลลูโลสล้อมรอบและประสานกันด้วย ลิกนินและเอมิเซลลูโลส ในระหว่างกระบวนการผลิตเยื่อ ลิกนินและเอมิเซลลูโลสส่วนใหญ่ถูกกำจัดออก รูปถ่าย จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนยังบ่งชี้ถึงโครงสร้าง คล้ายเครือข่ายที่มีเส้นใยสูงซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสไมโครไฟบริล การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของ พื้นผิวเส้นใยเกิดจากการกำจัดเอมิเซลลูโลสและลิกนิน ด้วยการบำบัดทางเคมี ส่งผลให้พื้นผิวขรุขระปรากฏ ขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้การยึดเกาะเพิ่มขึ้นที่ส่วนต่อประสาน ระหว่างเส้นใยและการดูดซึมน้ำในกระบวนการผลิต กระดาษ

จากรูปที่ 5 ผลของการเคลือบ PLA ผสม PBS บนกระดาษปรากฏอย่างชัดเจนผ่านการวิเคราะห์ภาพ โครงสร้างจุลภาค ซึ่งแสดงให้เห็นพื้นผิวที่เรียบ รูป SEM ระบุว่าโครงสร้างเส้นใยที่มีรูพรุนของกระดาษทำมือถูก หุ้มและเคลือบ PLA ผสม PBS วัสดุเคลือบทำหน้าที่ เหมือนสารตัวเติม เช่น ดินเหนียว กล่าวคือ เติมในพื้นที่ว่างบนพื้นผิวของกระดาษแข็งเพื่อให้พื้นผิวเรียบ กระดาษที่เคลือบด้วย WPI Han and Krochta [26] พบว่ากระดาษที่เคลือบด้วย WPI ให้พื้นผิวเคลือบที่เป็น เนื้อเดียวกันและเรียกว่ากระดาษที่ไม่เคลือบ ซึ่งเป็นที่ น่าสนใจที่ได้เห็นเส้นขอบระหว่างชั้นเคลือบและ กระดาษที่แสดงในมุมมองภาคตัดขวางของกระดาษที่ เคลือบด้วย PLA ผสม PBS เนื่องจาก PLA ผสม PBS สามารถเข้ากันได้กับเส้นใยที่ชอบน้ำมากกว่าเพื่อแทรก ซึมเข้าไปในชั้นไฟเบอร์ของกระดาษทำมือมากขึ้น

### 3.2 ความต้านแรงดึง (TS) และร้อยละการยืด ของชิ้นทดสอบที่จุดขาด (%E)

เพื่อให้เข้าใจถึงความแตกต่างเชิงกล ข้อดีและ ข้อเสีย ระหว่างกระดาษทำมือและกระดาษเคลือบด้วย

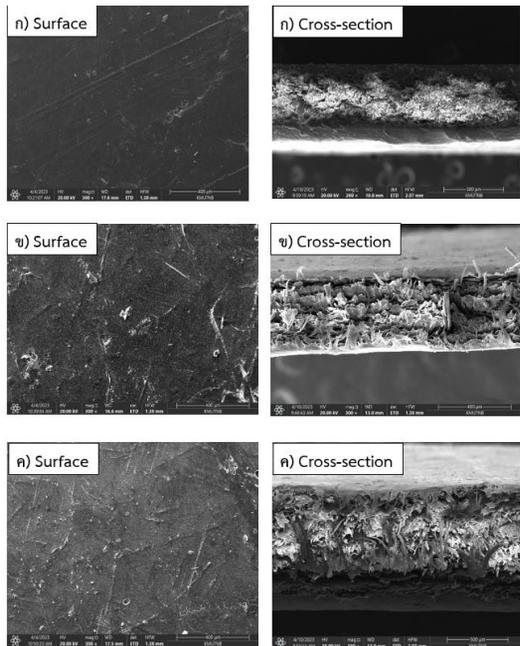
PLA ผสม PBS จึงได้ทำการทดสอบความต้านแรงดึง (TS) และร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาด(%E) ของกระดาษสองชนิดแบบ มีการทดสอบซ้ำสามครั้ง สำหรับกระดาษแต่ละแบบ เพื่อลดข้อผิดพลาดในการ ทดสอบ ข้อมูลแรงดึงและร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบ ที่จุดขาดของตัวอย่างเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ ตัวอย่าง



ก) กระดาษผสม P1 ข) กระดาษผสม P2  
ค) กระดาษผสม P3

รูปที่ 4 ภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของพื้นผิวของกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเส้นใยเปลือกหน่อไม้

จากรูปที่ 6ก) จะเห็นได้ว่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือ ค่าความต้านแรงดึงของกระดาษที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS นั้นสูงกว่ากระดาษทำมือที่ไม่มีการเคลือบ ความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS ที่สภาวะ P2+PLA,PBS จะดีที่สุด จากการเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือที่ไม่มีการเคลือบพบว่า P3 มีค่าเท่ากับ 232.33 MPa มีค่าสูงสุดสำหรับการผลิตทำมือจากเส้น



ก) กระดาษผสม P1+PLA,PBS  
 ข) กระดาษผสม P2+PLA,PBS  
 ค) กระดาษผสม P3+PLA,PBS

**รูปที่ 5** ภาพโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของพื้นผิวของกระดาษทำมือที่ผสมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ผ่านการเคลือบ PLA

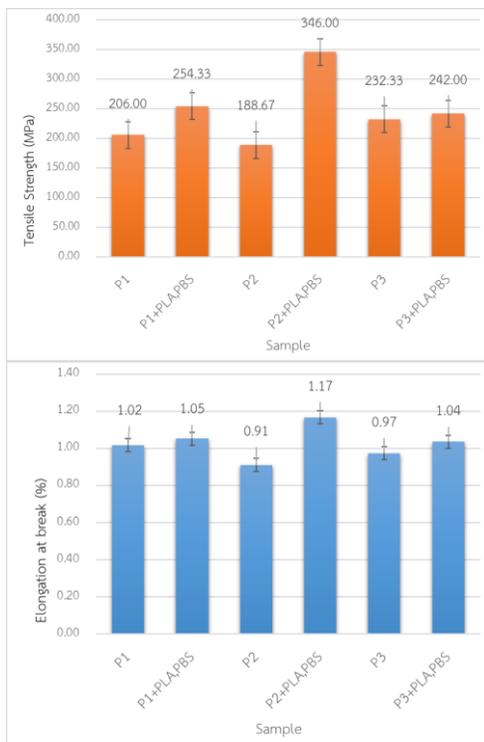
ใยเปลือกข้าวโพดผสมเปลือกหน่อไม้ จากรูปที่ 4 ค) สังเกตได้ว่ากระดาษทำมือ P3 มีเส้นใยที่ใหญ่และยาวกว่า ซึ่งเส้นใยขนาดใหญ่จะเพิ่มความเหนียวของกระดาษ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ดี [27] ความต้านทานแรงดึงของกระดาษมากกว่ากระดาษ P1

และ P2 เมื่อเทียบกับความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือและกระดาษทำมือเคลือบด้วย PLA ผสม PBS ความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือเคลือบ PLA ผสม PBS จะดีกว่าในทุกชนิดกระดาษ จากรูปร่างพื้นผิวและรูปตัดขวางของกระดาษในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเส้นใยของกระดาษทำมือเคลือบ PLA ผสม PBS มีความพรุนลดลง การเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยมีความแน่น และการมี PLA ผสม PBS เคลือบผิวช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงของกระดาษ จากรูปที่ 6ข) การยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาดของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเปลือกหน่อไม้ และ กระดาษทำมือที่เคลือบ PLA ผสม PBS ค่าการยืดของชิ้นของกระดาษ P2+PLA,PBS มีค่ามากที่สุด 1.17% เมื่อพิจารณากระดาษทำมือเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเปลือกหน่อไม้ กระดาษ P1 มีค่าการยืดตัวของวัสดุ 1.02% มากที่สุดเมื่อเทียบกับกระดาษแบบเดียวกัน และกระดาษทำมือ P2+PLA,PBS มีค่าความแตกต่างของการยืดของชิ้นทดสอบอย่างชัดเจน เนื่องจากการเคลือบกระดาษทำมือ P2+PLA,PBS มีชั้นสารเคลือบที่มีความหนาสม่ำเสมอช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงแสดงดังรูปที่ 5 ข)

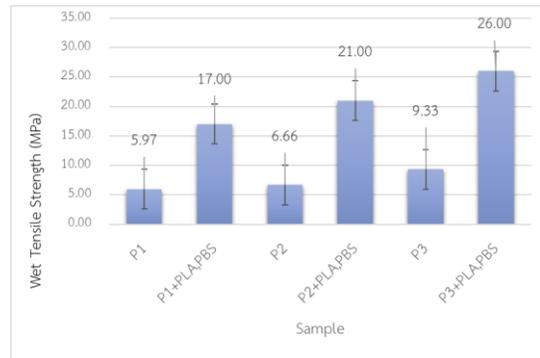
ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระดาษค่า TS แสดงถึงความสามารถของกระดาษแข็งในการต้านทานการแตกหักภายใต้แรงดึง ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใย พื้นที่ผิวและความยาว และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยทั้งสอง ในขณะที่ %E แสดงถึงความแข็งแรงของกระดาษแข็ง ทั้ง TS และ %E เพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากการเคลือบ PLA ผสม PBS ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ J.-W. Rhim and J.-H. Kim [7] พบว่า TS ของกระดาษแข็งเคลือบ PLA เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเคลือบ PLA ผสม PBS ต่ำกว่า 0.5% ของสารละลายเคลือบ PLA ผสม PBS และ %E ของกระดาษแข็งยังเพิ่มขึ้นด้วยการเคลือบด้วย PLA ผสม PBS และเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ PLA ผสม PBS ที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้บ่งชี้ว่าความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น

### 3.3 ความต้านทานแรงดึงเปียกของกระดาษ

ความต้านทานแรงดึงเปียกของกระดาษแสดงถึงความสามารถของกระดาษทำมือเส้นใยเปลือกข้าวโพดและเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ทั้งไม่เคลือบ และเคลือบ PLA ผสม PBS ในการต้านทานแรงดึงเมื่อสัมผัสกับน้ำ รูปที่ 7 แสดงความต้านทานแรงดึงแบบเปียกของกระดาษทำมือหลังจากสัมผัสกับน้ำทั้งสองหน้าจะเห็นได้ว่ากระดาษทำทั้งหมดที่สัมผัสกับน้ำความต้านทานแรงดึงของกระดาษลดลงอย่างมาก สำหรับกระดาษทำมือไม่เคลือบลดลง 96-97% สำหรับกระดาษทำมือที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS ลดลง 89-93% เมื่อเทียบกับค่า TS แบบแห้ง (รูปที่ 6 ก)) ผลลัพธ์นี้บ่งชี้ว่าความแข็งแรงเปียกของกระดาษแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยการเคลือบด้วย PLA ผสม PBS สาเหตุหลักมาจากการปรับปรุงความสามารถในการกั้นน้ำของพื้นผิวของกระดาษแข็งที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS



รูปที่ 6 ก) ค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษทำมือ (TS) ข) ร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบที่จุดขาดของกระดาษทำมือ (%E)



รูปที่ 7 ความต้านทานแรงดึงเปียกของกระดาษ

### 3.4 การทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะ

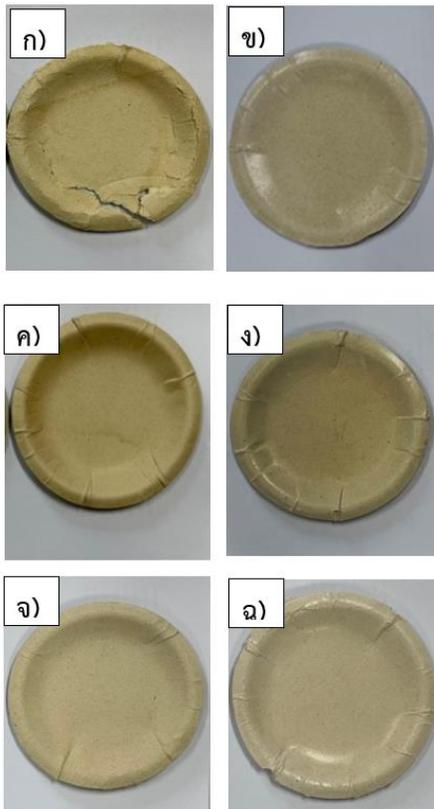
ในการขึ้นรูปภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ (P1, P2 และ P3) กระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ ที่ผ่านการเคลือบ PLA ผสม PBS (P1+PLA,PBS, P2+PLA,PBS และ P3+PLA,PBS) นำกระดาษมาอัดขึ้นรูปภาชนะวงกลมที่แม่พิมพ์รัศมีขนาด 7 เซนติเมตร

1) ภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ไม่เคลือบพลาสติก (P1) ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากกระดาษเกิดการขาดก่อนจากภาพถ่าย SEM (รูปที่ 4ก) เห็นได้ว่า เส้นใยมีลักษณะสั้น ทำให้ไม่มีการเกาะกลุ่มกันจึงขาดจากกัน ดังรูปที่ 8 ก) ส่วนภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบด้วย PLA ผสม PBS (P1+PLA,PBS) สามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 8 ข)

2) ภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ (P2) สามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 8 ค) เนื่องจากลักษณะเส้นใยมีเส้นใยยาว จึงมีการเกาะกลุ่มกัน ภาชนะกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบด้วย PLA ผสม PBS (P2+PLA, PBS) สามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 8 ง)

3) ภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ (P3) สามารถขึ้นรูปได้ดังรูปที่ 8 จ) เนื่องจากลักษณะเส้นใยมีเส้นใยยาว จึงมีการเกาะ

กลุ่มกัน ภาชนะกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้เคลือบด้วย PLA ผสม PBS (P3+PLA,PBS) สามารถขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 8 ณ)



ก) กระดาษผสม P1 ข) กระดาษผสมเคลือบP1+PLA,PBS  
ค) กระดาษผสม P2 ง) กระดาษผสมเคลือบP2+PLA,PBS  
จ) กระดาษผสม P3 ฉ) กระดาษผสมเคลือบP3+PLA,PBS  
รูปที่ 8 ภาชนะจากกระดาษเส้นใย

ผลการทดสอบภาชนะจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ โดยนำภาชนะมาทดสอบการรั่วซึม และทดสอบความคงรูป โดยเทน้ำปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงในภาชนะ จับเวลา 15 นาที สังเกตความเปลี่ยนแปลงของภาชนะ หรือจนกว่าจะมีน้ำซึมไปจนถึงกระดาษที่ใช้รองภาชนะจึงทำการหยุดเวลา และบันทึกผล พบว่า ภาชนะจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้ (P2, P3) ไม่สามารถทนน้ำได้จนครบเวลา ไม่สามารถคงรูปเดิม ในส่วนของภาชนะจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือก

หน่อไม้เคลือบด้วย PLA ผสม PBS ทุกแบบ สามารถทนน้ำได้จนครบเวลาโดยไม่มีน้ำซึมออกมา และยังมีรูปทรงที่คงเดิม

#### 4. สรุป

เส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเส้นใยเปลือกหน่อไม้สามารถเป็นแหล่งทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตเยื่อกระดาษ ถูกผลิตด้วยกระบวนการโซดา ทำการทดสอบสมบัติของกระดาษทำมือที่เคลือบผิวและที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS ในด้านความหนา กระดาษที่เคลือบจะมีความหนาเพิ่มขึ้น ความชื้นลดลง ความต้านแรงดึง และร้อยละการยืดของขึ้นทดสอบที่จุดขาดของกระดาษที่เคลือบ PLA ผสม PBS มีค่ามากกว่าความต้านแรงดึงเปียกจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำชิ้นงานไปอัดขึ้นรูป และทดสอบการทดสอบการรั่วซึมและความคงรูปของภาชนะกระดาษที่เคลือบด้วย PLA ผสม PBS สามารถผ่านการทดสอบได้ในทุกประเภท

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เลขที่ สัญญา Fitm-6507001-01

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Hunthanee, "Single use plastic packaging is not the culprit," [Online]. Available: [https://www.tei.or.th/th/article\\_detail.php?bid=125](https://www.tei.or.th/th/article_detail.php?bid=125). [Accessed: May 14, 2023].
- [2] R. Jambeck, R. Geter, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, and K. L. Law, "Plastic waste inputs from land into the ocean," *Science*,

- vol. 347, no. 6223, pp. 768–771, Feb. 13, 2015.
- [3] I. E. Napper and R. C. Thompson, “Marine plastic pollution: Other than microplastic,” in *Waste*, 2nd ed., 2019, pp. 425–442.
- [4] P. Cazón and M. Vázquez, “Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: A review,” *Food Hydrocolloids*, vol. 113, Apr. 2021.
- [5] E. Divsalar, H. Tajik, M. Moradi, M. Forough, M. Lotfi, and B. Kuswandi, “Characterization of cellulosic paper coated with chitosan zinc oxide nanocomposite containing nisin and its application in packaging of UF cheese,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 109, pp. 1311–1318, Apr. 2015.
- [6] G. L. Robertson, “Paper and paper based packaging materials,” in *Food Packaging: Principles and Practice*, G. L. Robertson, Ed. New York: Marcel Dekker Inc., 1993, pp. 144–172.
- [7] J. W. Rhim and J. H. Kim, “Properties of poly(lactide)-coated paperboard for the use of 1 way paper cup,” *Journal of Food Science*, vol. 74, no. 2, pp. 105–111, 2009.
- [8] S. Y. Lin and J. M. Krochta, “Plasticizer effect on grease barrier and color properties of whey-protein coatings on paperboard,” *Journal of Food Science*, vol. 68, no. 1, pp. 229–233, 2003.
- [9] M. Krook, M. Gällstedt, and M. S. Hedenqvist, “A study on montmorillonite/polyethylene nanocomposite extrusion coated paperboard,” *Packaging Technology and Science*, vol. 18, no. 1, pp. 11–20, Jan./Feb. 2005.
- [10] J. W. Rhim, J. H. Lee, and S. I. Hong, “Increase in water resistance of paperboard by coating with poly(lactide),” *Packaging Technology and Science*, vol. 20, no. 6, pp. 393–402, Nov./Dec. 2007.
- [11] J. W. Rhim, J. H. Lee, and S. I. Hong, “Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards,” *LWT – Food Science and Technology*, vol. 39, no. 7, pp. 806–813, Sep. 2006.
- [12] K. O. Reddy, C. U. Maheswari, M. Shukla, and E. Muzenda, “Preparation, chemical composition, characterization, and properties of Napier grass paper sheets,” *Separation Science and Technology*, vol. 49, pp. 1527–1534, 2014.
- [13] A. Ashori, “Nonwood fibers: A potential source of raw material in papermaking,” *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 45, no. 10, 2006.
- [14] L. Jiménez, E. Ramos, A. Rodríguez, M. J. De la Torre, and J. L. Ferrer, “Optimization of pulping conditions of abaca: An alternative raw material for producing cellulose pulp,” *Bioresource Technology*, vol. 96, no. 9, pp. 977–983, Jun. 2005.
- [15] K. L. Kadam, L. H. Forrest, and W. A. Jacobson, “Rice straw as a lignocellulosic resource: collection, processing,

- transportation, and environmental aspects,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 18, no. 5, pp. 369–389, 2000.
- [16] P. Girouard and R. Samson, “The potential role of perennial grasses in the pulp and paper industry,” in *Proceedings of the Americas*, Oakland, CA, Canada, 2000, pp. 85–89.
- [17] Land Development Department, “Appropriate agricultural promotion guidelines based on the proactive agriculture map database (Agri-Map) Prachin Buri,” [Online]. Available: <https://www.ldd.go.th/Agri-Map/Data/E/pri.pdf>. [Accessed: May 14, 2023].
- [18] M. Kawsuk and T. Somjai, “The study parameters the effect of paper from fiber of bamboo shoot sheath,” in *Proceedings of the 7th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference*, Thailand, 2022.
- [19] P. Tongngam, P. Jeedeeyod, and W. Vongthep, *Handmade Corn Husk Paper, Creating Environmentally Friendly Packaging*. Kaewpanya, Thailand: KBS Knowledge BookStore, 2018.
- [20] M. O. Aremu, S. O. Aperolola, and O. O. Dabonyan, “Suitability of Nigerian corn husk and plantain stalk for pulp and paper production,” *European Scientific Journal*, vol. 11, no. 30, pp. 146–152, Oct. 2015.
- [21] T. Baipluthong, B. Yodkaew, and A. Tatsana, “Developmental production of biodegradable container from mixture of rough bamboo shoot sheath and corn husk,” B. Ind. Tech. project, Dept. Industrial Management, KMUTNB Univ., Prachin Buri, Thailand, 2022.
- [22] J. Phawande and S. Jungin, “Study of properties of paper from bamboo shoot fibers coated with bioplastic,” B. Ind. Tech. project, Dept. Industrial Management, KMUTNB Univ., Prachin Buri, Thailand, 2020.
- [23] M. Kawsuk and T. Somjai, “Properties of paper from mixed fiber of bamboo sprout coat and corn husk,” *Journal of Manufacturing and Management Technology*, vol. 1, no. 2, pp. , Jul.–Dec. 2022.
- [24] C. Arpavate, J. Wongon, N. Srisawat, and N. Kaabbuathong, “The improvement of impact strength of PLA blends with PBS,” in *Proceedings of IE Network Conference 2011*, Thailand, 2011, pp. 1419 – 1423.
- [25] Thai Community Product Standard, “Plant-based container,” [Online]. Available: <https://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>. [Accessed: May 10, 2022].
- [26] J. H. Han and J. M. Krochta, “Wetting properties and water vapor permeability of whey-protein-coated paper,” *Transactions of the ASAE*, vol. 42, no. 5, pp. 1375 – 1382, 1999.
- [27] W. Kongtud, S. Witayakran, J. Boonyarit, and R. Chollakup, “Comparative study

on mechanical and physical properties of handmade paper from oil palm empty fruit bunches and mulberry coated with glucomannan,” in *Proceedings of the 57th Kasetsart*

*University Annual Conference: Science and Genetic Engineering, Architecture and Engineering, Agro-Industry, Natural Resources and Environment*, Kasetsart University, Thailand, 2019, pp. 754–762.

# ผลของสารไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทินต่อการเจริญเติบโต การตาย และการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ของหอยหวาน (*Babylonia areolata*) เพศเมีย

สุภัณฑิต นิมรัตน์\* กณิกนันต์ ศรีสวัสดิ์ ไตรมาศ บุญไทย และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

รับบทความ 19 พฤษภาคม 2565 แก้ไขบทความ 1 พฤศจิกายน 2566 ตอรับบทความ 30 พฤศจิกายน 2566

## บทคัดย่อ

สารประกอบบิวทิลทิน ได้แก่ สารไตรบิวทิลทิน ไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทิน เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบต่อมไร้ท่อและระบบสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ของหอยฝาเดียวเพศเมีย เนื่องด้วยความเป็นพิษสูงและไม่จำเพาะเจาะจงในสิ่งมีชีวิตต่างๆ จึงได้มีการประกาศห้ามใช้สีที่มีส่วนผสมของสารไตรบิวทิลทินทาอยู่บนตัวเรือทั่วโลกตั้งแต่ พ.ศ. 2551 แต่สารประกอบนี้ยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมและภาคการเกษตรและปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล การศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นการประเมินผลของสารไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทินต่อการเจริญเติบโต การตายและการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ของหอยหวาน (*Babylonia areolata*) เพศเมีย โดยพบว่าสารไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร สามารถสะสมและเกิดการเปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อหอยหวานโดยไม่มีผลต่อความยาวเปลือกของหอยหวาน แต่มีผลทำให้น้ำหนักลดลงและอัตราการตายเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้สารไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทินยังเหนี่ยวนำให้เกิดการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในหอยหวานเพศเมียได้ร้อยละ 10.00-13.33 และกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของ Pseudopenis ได้ถึงระดับ 1-2 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสารไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทินมีผลต่อการเจริญเติบโต อัตราการตายและการพัฒนาของอวัยวะเพศผู้ในหอยหวาน ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐจึงควรมีมาตรการและการบังคับใช้กฎหมายอย่างเคร่งครัด เพื่อลดการปนเปื้อนสารประกอบบิวทิลทินในสิ่งแวดล้อมทางทะเลและป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อผลผลิตในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงหอยในอนาคค

คำสำคัญ : สีกันเปรียง; หอยฝาเดียว; สารบิวทิลทิน; ดีบุก; การเพาะเลี้ยงหอย

# Effects of Dibutyltin and Monobutyltin on Growth, Mortality and Development of Imposex in Female Spotted Babylon (*Babylonia areolata*)

Subuntith Nimrat\* Kaniknun Srisawat Traimat Boonthai and Verapong Vuthiphandchai

Faculty of Science, Burapha University

169 Long-Had Bangsaen Road, Saensuk, Mueang, Chonburi, 20131

---

Received 19 May 2022; Revised 1 November 2023; Accepted 30 November 2023

## Abstract

Organotin compounds, e.g. tributyltin, dibutyltin and monobutyltin cause changes in the endocrine and reproductive systems of marine organisms, especially imposex in female gastropods. Due to high toxicity to non-target species, tributyltin-based antifouling paints were banned for the use in all vessels since 2008. However, organotin compounds are used in a variety of industrial and agricultural applications, and subsequently discharged into coastal environment. This study aimed to assess the effects of dibutyltin and monobutyltin on growth, mortality rate, and development of imposex in female spotted babylon (*Babylonia areolata*). Dibutyltin and monobutyltin (5 and 10 mg/L) could accumulate and metabolic transform in the tissues without deleterious effect on shell length, but significantly ( $p < 0.05$ ) decreased whole body weight and increased mortality rate of spotted babylon. Additionally, dibutyltin and monobutyltin induced development of imposex (10.00-13.33%) in spotted babylon and promoted development stage of pseudopenis to the level 1-2 dependent on the chemical concentrations. The results demonstrated that dibutyltin and monobutyltin had effects on growth, mortality, and imposex incidence of spotted babylon. Therefore, government authorities should implement stringent measures and enforce a law to reduce the contamination of organotin compounds in marine environment, and simultaneously prevent undesirable consequences on production of shellfish culture in the future.

**Keywords :** Antifouling Paint; Gastropod; Butyltins; Tin; Shellfish Culture

---

\* Corresponding Author. Tel.: +66 3810 3120, E-mail Address: subunti@buu.ac.th

## 1. บทนำ

สารประกอบบิวทิลทินเป็นสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อและมีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ สารไดบิวทิลทิน (Dibutyltin) และโมนอบิวทิลทิน (Monobutyltin) เป็นสารในกลุ่มนี้ที่ถูกนำมาใช้เป็นสารให้มีความคงตัวในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์ชนิดพีวีซี และส่วนผสมแก้วให้แข็งแรงมากขึ้น [1] ส่วนสารอีกชนิดหนึ่งที่รู้จักดีในกลุ่มนี้ คือ สารไตรบิวทิลทิน นิยมนำมาใช้เป็นองค์ประกอบในสีทาเรือเดินทะเลเพื่อป้องกันสิ่งมีชีวิตที่เกาะก้างเรือ เช่น เพรียงและหอยสองฝาบางชนิด ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 1960 จึงทำให้สารไตรบิวทิลทินหลุดออกมาจากสีทาเรือปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล เนื่องจากคุณสมบัติไม่ชอบน้ำจึงทำให้สารนี้จับกับอนุภาคดินตะกอนและสะสมในตะกอนดินได้เป็นเวลานาน โดยมีค่าครึ่งชีวิตในดินตะกอนทะเลประมาณ 1-8.7 ปี [2] และค่าครึ่งชีวิตของสารไตรบิวทิลทินจะยาวนานมากขึ้นกว่า 10 ปี หากสะสมในดินตะกอนภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน [3] ส่วนสารไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทินมีค่าครึ่งชีวิตในดินและดินตะกอนตั้งแต่ 0.9-15 และ 0.6-8 ปี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดินและดินตะกอน [4] เป็นที่ทราบดีว่าการสัมผัสสารไตรบิวทิลทินแม้ความเข้มข้นต่ำมีผลโดยตรงต่อการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อของสิ่งมีชีวิตในทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในเพศเมีย (Imposex) ของหอยฝาเดียว โดยการสร้าง Pseudopenis และท่อนำสเปิร์ม (Vas Deferens) อวัยวะที่เกิดขึ้นนี้จะขัดขวางท่อนำไข่ ทำให้ท่อนำไข่อุดตัน ส่งผลให้หอยเพศเมียบางชนิดเป็นหมันเพราะไม่สามารถวางไข่ได้ จนเป็นสาเหตุของการตาย ลดจำนวนประชากรและสูญพันธุ์ของหอยหลายชนิด เช่น หอย Baltic Macoma (*Macoma balthica*) และหอย Peppery Furrow (*Scrobicularia plana*) [1], [5] ในปัจจุบันมีรายงานถึงความเป็นพิษเรื้อรังด้วยการเหนี่ยวนำให้เกิดการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในหอยฝาเดียวเพศเมียกว่า 260 ชนิดทั่วโลก [6] สารชนิดนี้ยังเป็นพิษอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในทะเล เช่น การพัฒนา

ของตัวอ่อนและการเจริญของเปลือกหอยผิดปกติในหอยนางรมและภาวะการสะสมไขมันในร่างกายมากเกินไปของปลาทะเล เป็นต้น [5] นอกจากนี้สารไตรบิวทิลทินยังสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหารและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ผ่านทางบริโภคอาหารทะเลที่มีการปนเปื้อน [1] ดังนั้นองค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (International Maritime Organization) ได้ประกาศสนธิสัญญาการห้ามใช้สีกันเปรียงที่มีสารไตรบิวทิลทินเป็นส่วนประกอบ (The Global Antifouling Treaty) ในปี พ.ศ. 2546 และห้ามมีสีที่มีส่วนผสมของสารไตรบิวทิลทินทาทอยู่บนตัวเรือทั่วโลกตั้งแต่ พ.ศ. 2551

อย่างไรก็ตามสารไตรบิวทิลทินและอนุพันธ์ยังคงมีการตรวจพบในสิ่งแวดล้อมทางทะเลทั่วโลก ทั้งๆ ที่มีประกาศห้ามใช้มาแล้วกว่า 10 ปี เช่น ดินตะกอนบริเวณท่าเรือประมง Qianzhen ประเทศไต้หวันมีการปนเปื้อนด้วยสารประกอบบิวทิลทินรวมอยู่ในช่วง 14.2-807 นาโนกรัมต่อบุกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยดินตะกอนเหล่านี้ปนเปื้อนด้วยสารไตรบิวทิลทินเป็นหลักด้วยความเข้มข้นเฉลี่ยประมาณ 300 นาโนกรัมต่อบุกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และตัวอย่างดินตะกอนกว่าร้อยละ 80 ปนเปื้อนสารไตรบิวทิลทินในระดับที่สร้างผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ของหอยฝาเดียว [5] และหอย Dog Whelk (*Nucella lapillus*) บริเวณชายฝั่งประเทศโปรตุเกสมีการสะสมของสารไตรบิวทิลทินในช่วง 1.5-55 นาโนกรัมต่อบุกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) [7] สำหรับประเทศไทยมีรายงานการตรวจพบสารไตรบิวทิลทินอย่างต่อเนื่องในตลอด 10 ปีที่ผ่านมา ในปี พ.ศ. 2554 สารประกอบบิวทิลทินในหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณปากอ่าวปัตตานีมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 27 -36 นาโนกรัมต่อบุกต่อกรัม โดยตรวจพบสารไตรบิวทิลทินในหอยแมลงภู่กว่าร้อยละ 60 [8] หอยแมลงภู่ที่เพาะเลี้ยงบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี ระยองและตราดยังตรวจพบสารประกอบบิวทิลทินเฉลี่ย 1.04, 5.98 และ 0.95 นาโนกรัมต่อบุกต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ [9] ในปี พ.ศ. 2559 พบการปนเปื้อนของสารไตรบิวทิลทินร้อยละ 37-56 ของตัวอย่างดินตะกอนที่เก็บจากท่าเรือ

ต่างๆ ตามแนวชายฝั่งเมืองเก่าสงขลา [10] และในปีเดียวกัน สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษพบว่าตะกอนดินชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกและอ่าวไทยตอนใน โดยเฉพาะบริเวณอยู่ต่อเรือซ่อมเรือ ท่าเทียบเรือ และเส้นทางการเดินเรือหนาแน่นบริเวณปากน้ำระยอง จังหวัดระยอง ท่าเรือแหลมฉบังและพัทยาใต้ จังหวัดชลบุรี ปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ บางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร และปากคลองบ้านบางตะบูน จังหวัดเพชรบุรี มีการปนเปื้อนของสารไตรบิวทิลทินอยู่ในช่วง 0.5-14.6 ไมโครกรัมต่อลิตรน้ำหนักแห้ง [11] การปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมทางทะเลอย่างต่อเนื่องทำให้สารไตรบิวทิลทินและอนุพันธ์ยังคงเป็นสารมลพิษที่ถูกเฝ้าระวังโดยโปรแกรมสิ่งแวดล้อมขององค์การสหประชาชาติ (United Nation Environmental Program: UNEP) ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และแปซิฟิก อันเนื่องมาจากความไม่เข้มงวดในการใช้กฎหมายของประเทศต่างๆ เป็นที่ทราบกันดีว่าสารไตรบิวทิลทินและโมนิบิวทิลทินเป็นสารตัวกลางที่เกิดจากการย่อยสลายสารไตรบิวทิลทิน การปนเปื้อนของสารไตรบิวทิลทินในสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศไทยก็อาจจะส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ สร้างความเสียหายต่อทรัพยากรสัตว์น้ำและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อันเนื่องมาจากสารตัวกลางที่เกิดจากการย่อยสลายของสารไตรบิวทิลทิน ดังนั้นเพื่อเป็นการตระหนักและเฝ้าระวังอันตรายที่เกิดจากการปนเปื้อนสารเคมีอันตราย การศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาผลของสารไตรบิวทิลทินและโมนิบิวทิลทินต่อการสะสม การเจริญเติบโต การตาย และการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ของหอยหวาน (*Babylonia areolata*) เพศเมีย ซึ่งเป็นหอยฝาเดียวที่สำคัญและมีการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์บริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การเหนี่ยวนำให้เกิดการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในหอยหวานเพศเมีย

เตรียมตู้กระจกขนาด 30 x 30 x 60 เซนติเมตร โดยเติมทรายหยาบหนาประมาณ 4 เซนติเมตร และน้ำทะเลปริมาณ 34 ลิตร ลงในตู้กระจก มีการเติมอากาศตลอดเวลาและมีการหมุนเวียนน้ำแบบระบบปิดโดยใช้ลูกบอลชีวภาพ (Bioball) เป็นตัวกรอง จากนั้นแบ่งตู้กระจกออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ยกเว้นชุดควบคุมที่มีจำนวน 2 ซ้ำ ได้แก่ 1) ชุดควบคุม ไม่เติมสารเคมีใด 2) เติมสารไตรบิวทิลทินไตรคลอไรด์ 5 ไมโครกรัมต่อลิตร 3) เติมสารไตรบิวทิลทินไตรคลอไรด์ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร 4) เติมสารโมนิบิวทิลทินไตรคลอไรด์ 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 5) เติมสารโมนิบิวทิลทินไตรคลอไรด์ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร คัดเลือกหอยหวานเพศเมียอายุ 1 ปี โดยพิจารณาจากช่องบริเวณเท้าของหอยหวาน จากสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ที่มีขนาดความยาวเปลือก 4-5 เซนติเมตร มาเลี้ยงในตู้กระจกจำนวน 30 ตัวต่อใบหอยหวานแต่ละตัวถูกติดฉลากหมายเลข 1-30 ไว้บนเปลือกหอย ตู้กระจกแต่ละใบปิดคลุมด้วยตาข่ายกรองแสงเพื่อลดความเข้มแสงและตั้งตู้กระจกภายในโรงเพาะฟัก ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา มีการทำความสะอาดพื้นทรายรองพื้นและพื้นตู้กระจกเป็นประจำทุกสัปดาห์ การให้อาหารวันละ 1 ครั้ง ด้วยเนื้อปลาข้างเหลืองสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ 3-4 ชิ้นต่อใบ เศษอาหารและของเสียถูกกำจัดทิ้งด้วยไซฟอนหลังการให้อาหารประมาณ 1 ชั่วโมง ดำเนินเพาะเลี้ยงหอยหวานนาน 112 วัน และเติมสารประกอบบิวทิลทินเพียงครั้งเดียวในวันแรกของการทดลอง

## 2.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบบิวทิลทินในเนื้อเยื่อหอยหวาน

เก็บตัวอย่างหอยหวานในวันแรกของการทดลองหลังเติมสารประกอบบิวทิลทินลงในน้ำประมาณ 15 นาที และเก็บหอยหวานทุก 7 วัน โดยสุ่มเก็บหอยหวานครั้งละ 1 ตัวต่อใบ นำมาสกัดสารประกอบบิวทิลทินในเนื้อเยื่อตามวิธีการของ Kan-Atireklap et al. [12] สารมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ไดบิวทิลทินไดคลอไรด์และโมนอบิวทิลทินไดคลอไรด์ การหาประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หรือร้อยละการกลับคืน (% Recovery) โดยการเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนลงในตัวอย่าง นำไปสกัดและวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารด้วยวิธีการเดียวกัน ประสิทธิภาพการวิเคราะห์สารไดบิวทิลทินไดคลอไรด์ และโมนอบิวทิลทินไดคลอไรด์ในหอยหวานเท่ากับร้อยละ 82.62 และ 81.59 ตามลำดับ

## 2.3 การตรวจวัดการเจริญเติบโตและการตายของหอยหวาน

จับหอยหวานจำนวน 10 ตัว เพื่อนำมาวิเคราะห์การเจริญเติบโต โดยนำหอยหวานมาวัดความยาวของเปลือกด้วยเครื่องมือ Caliper และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง (Balance analytical; Mettler Toledo PG802-S, Greifensee, Switzerland) และตรวจนับจำนวนหอยหวานที่ตายในแต่ละชุดการทดลองทุกวัน แล้วคำนวณเป็นอัตราการตายสะสม (ร้อยละ)

## 2.4 การพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในเพศเมีย

นำหอยหวานที่ติดฉลากหมายเลข 1-30 มาพิจารณาการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในเพศเมีย โดยวัดความยาวของ Pseudopenis ด้วยเครื่องมือ Caliper และพิจารณาระดับการพัฒนาของ Pseudopenis ได้แก่ ระดับ 0: ไม่เกิดลักษณะเพศผู้ (ไม่มี Pseudopenis),

ระดับ 1: พบติ่งเนื้อเล็กๆ บริเวณเดียวกับที่มี Penis ในหอยเพศผู้, ระดับ 2: ติ่งเนื้อ มีลักษณะใหญ่ขึ้นและโครงสร้างเปลี่ยนแปลง และระดับ 3: มีการพัฒนาของติ่งเนื้อ มีโครงสร้างคล้ายกับอวัยวะเพศผู้แต่มีขนาดเล็กกว่าอวัยวะเพศผู้ที่โตเต็มวัย [13]

## 2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความยาวของเปลือก น้ำหนักและอัตราการตายของหอยหวานที่ได้รับสารไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทินถูกเปรียบเทียบด้วยการวิเคราะห์ Analysis of Variance (ANOVA) แบบ One-way ANOVA และเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วย Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 19.0

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

คุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็มและค่าความเป็นกรด-ด่างมีการตรวจติดตามทุกวัน ตลอดระยะเวลา 112 วันของการศึกษา โดยมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละวันและชุดการทดลอง และมีค่าเท่ากับ 28.3-30.5°C, 30-33 พีพีที และ 6.80-8.20 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับการเพาะเลี้ยงหอยหวาน [14]

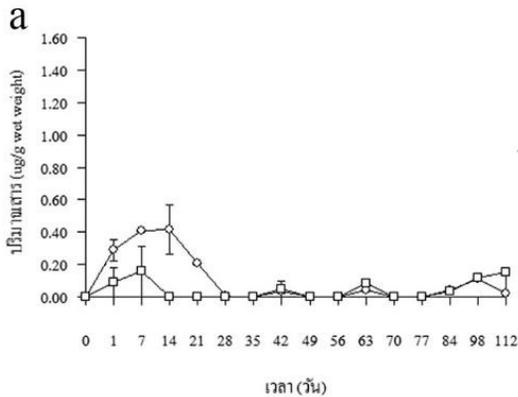
### 3.1 การเปลี่ยนแปลงของสารไดบิวทิลทินและโมนอบิวทิลทินในหอยหวาน

#### 3.1.1 การเปลี่ยนแปลงของสารไดบิวทิลทิน

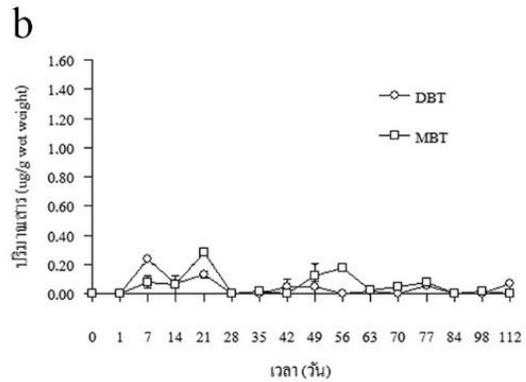
หอยหวานที่เติมสารไดบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัม ต่อลิตร ตรวจพบสารไดบิวทิลทินสูงสุดเท่ากับ  $0.42 \pm 0.15$  ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักเปียก) ในวันที่ 14 ของการทดลอง จากนั้นปริมาณสารไดบิวทิลทินมีแนวโน้มลดลง ส่วนสารโมนอบิวทิลทินมีการตรวจตั้งแต่วันที่ 1 ของการทดลอง เท่ากับ  $0.09 \pm 0.09$  ไมโครกรัมต่อกรัม จากนั้นตรวจพบในปริมาณระหว่าง

$0.00 \pm 0.00 - 0.15 \pm 0.03$  ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักเปียก) (รูปที่ 1a)

การสะสมของสารไดบีฟิลาทินและสารตัวกลางในหอยหวานที่เติมสารไดบีฟิลาทินความเข้มข้นสูง 10 ไมโครกรัมต่อลิตร พบการสะสมของสารไดบีฟิลาทินในปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ  $0.27 \pm 0.01$  ไมโครกรัมต่อกรัม



(น้ำหนักเปียก) ในวันที่ 7 ของการทดลอง หลังจากนั้นมีความโน้มลดลงอยู่ในช่วง  $0.00 \pm 0.00 - 0.12 \pm 0.03$  ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักเปียก) ส่วนสารโมโนบีฟิลาทินมีการสะสมในปริมาณใกล้เคียงกับสารไดบีฟิลาทิน มีปริมาณเท่ากับ  $0.00 \pm 0.00 - 0.25 \pm 0.05$  ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักเปียก) ในระหว่างการเลี้ยง 112 วัน (รูปที่ 1b)



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารไดบีฟิลาทินและสารตัวกลาง (สารโมโนบีฟิลาทิน) ในเนื้อเยื่อหอยหวานที่เติมสารไดบีฟิลาทิน (a) 5 และ (b) 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตลอดการเลี้ยงนาน 112 วัน

### 3.1.2 การเปลี่ยนแปลงของสารโมโนบีฟิลาทิน

สารโมโนบีฟิลาทินถูกตรวจพบในหอยหวานที่เติมสารโมโนบีฟิลาทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตั้งแต่วันแรกของการทดลอง หอยหวานที่เติมสารโมโนบีฟิลาทินความเข้มข้นต่ำพบปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ  $1.08 \pm 0.03$  ไมโครกรัมต่อกรัม ในวันที่ 14 ของการทดลอง จากนั้นค่อย ๆ ลดลงและตรวจไม่พบในวันที่ 70 ของการทดลอง ส่วนหอยหวานที่เติมสารโมโนบีฟิลาทินความเข้มข้นสูง (10 ไมโครกรัมต่อลิตร) ตรวจพบสารโมโนบีฟิลาทินสูงที่สุดเท่ากับ  $1.26 \pm 0.07$  ไมโครกรัมต่อกรัม ตั้งแต่วันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นตรวจพบในปริมาณต่ำมาก (ไม่เกิน  $0.02$  ไมโครกรัมต่อกรัม) ตั้งแต่วันที่ 28 (รูปที่ 2)

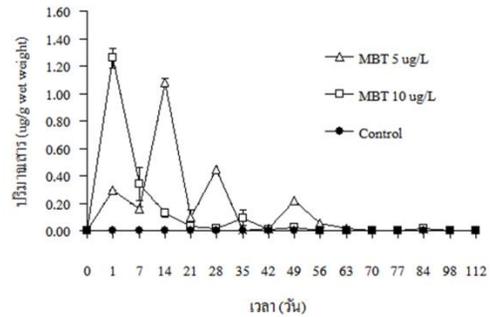
สารไดบีฟิลาทินมีคุณสมบัติละลายได้ดีในไขมัน ทำให้มีการสะสมในปริมาณสูงในเนื้อเยื่อหรือเซลล์ที่มีไขมันสูง สารพิษชนิดนี้ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ

ได้ เพื่อกำจัดออกจากร่างกายและช่วยลดความเป็นพิษกลไกลดความเป็นพิษในสิ่งมีชีวิตต่ออวัยวะกระบวนการเมแทบอลิซึมเกิดเป็นสารตัวกลางและสุดท้ายได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบดีบุกอนินทรีย์ที่มีความเป็นพิษลดลงและกำจัดออกจากร่างกายได้ง่าย ตามลำดับ โดยเฉพาะสัตว์น้ำกลุ่มครัสเตเชียน แอนนิลิดและปลาจะมีระบบเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายสารกลุ่มนี้ได้อย่างรวดเร็วกว่าสัตว์น้ำกลุ่มหอย ซึ่งมีระบบเอนไซม์ที่ใช้ย่อยสลายได้ช้ากว่า กระบวนการเมแทบอลิซึมของสารบีฟิลาทินมีความสัมพันธ์กับการเจริญของอวัยวะเพศของหอยฝาเดียว (Gastropods) เพศเมียและความผิดปกติของเปลือกหอย [15], [16] การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าหอยหวานที่ได้รับสารไดบีฟิลาทินและโมโนบีฟิลาทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร มีการสะสมของสารเหล่านี้ตั้งแต่วันแรกของการทดลอง ตามธรรมชาติแล้วหอยหวานเป็นสัตว์น้ำที่กินอาหารด้วยวิธี

กรองกิน รวมทั้งสารบิวทิลทินสามารถซึมผ่านชั้นผิวหนังเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารและแพร่กระจายไปสะสมในเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ ที่มีไขมันสูงได้ดี [17] หอยหวานที่ได้รับสารไดบิวทิลทินทั้ง 2 ความเข้มข้นมีการสะสมของสารไดบิวทิลทินมากในช่วงแรก หลังจากนั้นปริมาณลดลงพร้อมกับการเกิดขึ้นของสารตัวกลางผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารไดบิวทิลทินเปลี่ยนแปลงได้ด้วยกระบวนการเมแทบอลิซึมของหอยหวาน สอดคล้องผลการศึกษาในหอย Dog whelk (*Nucella lapillus*) ที่สามารถเปลี่ยนสารบิวทิลทินเป็นสารตัวกลางภายในต่อมย่อยอาหารได้ [18]

การศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่าสารโมโนบิวทิลทินถูกเปลี่ยนแปลงในหอยหวานได้รวดเร็วกว่าสารไดบิวทิลทิน โดยตรวจไม่พบตั้งแต่วันที่ 98 ของการเพาะเลี้ยง น่าจะเป็นเพราะสารชนิดนี้มีความเป็นพิษและละลายในไขมันได้น้อยกว่าจึงทำให้ถูกเปลี่ยนสภาพด้วยกระบวนการเมแทบอลิซึมได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับสารไดบิวทิลทิน การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสารไดบิวทิลทินสามารถสะสมอยู่ในหอยหวานได้เป็นเวลานานและเกิดการเปลี่ยนแปลงผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึมได้อย่างช้าๆ จึงทำให้น่าจะสร้างความกังวลให้กับผู้บริโภค ตามปกติแล้วหอยหวานที่นำมาบริโภคในประเทศไทยมาจาก 2 แหล่งด้วยกัน คือ จัปจากธรรมชาติและการเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ทั้งบริเวณชายฝั่งทะเล ดังนั้นหากบริเวณที่หอยหวานอาศัยอยู่หรือบริเวณเพาะเลี้ยงมีการปนเปื้อนด้วยสารไดบิวทิลทินดังรายงานการตรวจพบในหลายๆ พื้นที่ของประเทศไทย เช่น พื้นที่ทะเลสาบสงขลา และชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกและอ่าวไทยตอนใน ได้แก่ จังหวัดระยอง ชลบุรี สมุทรปราการและเพชรบุรี เป็นต้น [9]-[11] น่าจะทำให้เกิดการสะสมของสารประกอบบิวทิลทินเหล่านี้ในหอยหวานและสะสมผ่านห่วงโซ่อาหารในผู้บริโภคอันดับสุดท้าย เช่น มนุษย์ จนอาจส่งผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนและภูมิคุ้มกันให้อ่อนแอลง [1] ในกรณีที่น่า

หอยหวานที่ปนเปื้อนสารประกอบบิวทิลทินมารับประทาน สารเหล่านี้จะไม่ถูกกำจัดหรือลดความเป็นพิษลงด้วยกรรมวิธีในการปรุงอาหารด้วยไมโครเวฟ การทอดและการต้ม โดยพบว่าการประกอบอาหารด้วยวิธีทั้ง 3 นี้จะยังคงพบตกค้างเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 55, 67 และ 76 ตามลำดับ [19]



รูปที่ 2 ปริมาณสารโมโนบิวทิลทินในเนื้อเยื่อหอยหวานที่เติมสารโมโนบิวทิลทินความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตลอดการเลี้ยงนาน 112 วัน

### 3.2 การเจริญเติบโตและการตายของหอยหวาน

#### 3.2.1 ความยาวเปลือกของหอยหวาน

ความยาวเปลือกของหอยหวานในวันเริ่มต้นการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง  $4.25 \pm 0.07 - 4.32 \pm 0.06$  เซนติเมตร ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ระหว่างชุดการทดลอง ในทำนองเดียวกันความยาวเปลือกของหอยหวาน ณ วันที่ 112 ของการทดลองก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ระหว่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง  $4.42 \pm 0.03 - 4.57 \pm 0.05$  เซนติเมตร

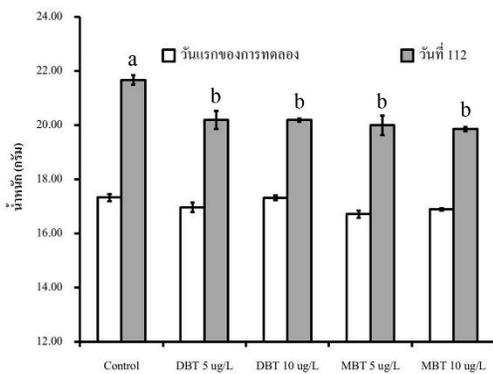
#### 3.2.2 น้ำหนักของหอยหวาน

น้ำหนักของหอยหวานของทุกชุดการทดลองในวันเริ่มต้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง  $16.71 \pm 0.13 - 17.32 \pm 0.13$  กรัม หลังเลี้ยงนาน 112 วัน หอยหวานในชุด

ควบคุมมีน้ำหนักสูงสุด ( $21.66 \pm 0.17$  กรัม) ซึ่งสูงกว่าหอยหวานที่ได้รับสารไดบีวิทิลทินและโมโนบีวิทิลทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง  $20.18 \pm 0.06 - 20.19 \pm 0.33$  และ  $19.85 \pm 0.08 - 19.99 \pm 0.36$  กรัม ตามลำดับ (รูปที่ 3)

### 3.2.3 อัตราการตายของหอยหวาน

หลังการเพาะเลี้ยงนาน 112 วัน หอยหวานที่ได้รับสารไดบีวิทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร มีอัตราการตายสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีความเท่ากับร้อยละ  $15.56 \pm 1.93$  รองลงมาคือ หอยหวานที่ได้รับสารไดบีวิทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และโมโนบีวิทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่มีอัตราการตายเท่ากับร้อยละ  $11.44 \pm 2.50$  และ  $10.00 \pm 0.00$  ตามลำดับ สำหรับหอยหวานในชุดควบคุมมีอัตราการตายต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เท่ากับร้อยละ  $1.11 \pm 1.92$



รูปที่ 3 น้ำหนักของหอยหวานที่ได้รับสารไดบีวิทิลทินหรือโมโนบีวิทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ระหว่างชุดการทดลอง ณ ช่วงเวลาเดียวกัน

สารไดบีวิทิลทินและโมโนบีวิทิลทิน ความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อความยาวเปลือกแต่มีผลทำให้น้ำหนักของหอยหวานลดลง

อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Widdows and Page [20] ที่ยืนยันว่าสารไดบีวิทิลทินมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของหอยแมลงภู่น้ำจืด (*Mytilus edulis*) โดยการเจริญเติบโตลดลงเมื่อได้รับสารไดบีวิทิลทิน ความเข้มข้นสูงกว่า 20 ไมโครกรัมต่อกรัม การยับยั้งการเจริญเติบโตของสารบีวิทิลทินและอนุพันธ์ยังมีรายงานใน หอย Common Whelk (*Buccinum undatum*) [13] และยังทำให้การสะสมของแคลเซียมในเปลือกหอย Great Pond Snail (*Lymnaea stagnalis*) ลดลง จนทำให้เปลือกหอยอ่อนนุ่มกว่าปกติแตกหักง่ายและน้ำหนักลดลง [21]

การศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่าสารไดบีวิทิลทินและโมโนบีวิทิลทินมีผลต่อการตายของหอยหวาน โดยสารไดบีวิทิลทินความเข้มข้นสูงมีความเป็นพิษต่อหอยหวานสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของสารไดบีวิทิลทินและโมโนบีวิทิลทินในสัตว์น้ำยังมีรายงานน้อยมาก Horiguchi et al. [22] ยืนยันได้ว่าสารไดบีวิทิลทินและโมโนบีวิทิลทินมีความเป็นพิษต่อหอย Rock Shell (*Thais clavigera*) แตกต่างกัน โดยทำให้หอยชนิดนี้มีอัตราการตายร้อยละ 20 และ 10 ตามลำดับ หลังได้รับสารความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักหอย นาน 24 วัน และการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันในสัตว์น้ำกลุ่มครัสเตเชียน คือ ไรน้ำ (*Daphnia magna*) พบว่าสารทั้ง 2 ชนิดนี้มีค่า Lethal concentration (LC<sub>50</sub>) เท่ากับ 900 และ 49,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังการได้รับนาน 24 ชั่วโมง [23] ซึ่งความเป็นพิษเฉียบพลันในหอยหวานยังไม่มีรายงานและควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

หอยหวานที่ได้รับสารไดบีวิทิลทินและโมโนบีวิทิลทินมีน้ำหนักลดลงและอัตราการตายเพิ่มขึ้นอาจเกิดจากสารประกอบบีวิทิลทินมีความเป็นพิษต่อระบบประสาทที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเหงือกและระบบกรองกินส่งผลให้หอยกินอาหารได้ลดลง ความเป็นพิษ

ของสารประกอบชนิดนี้ยังทำให้การใช้ออกซิเจนของเซลล์เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากสารประกอบบิวทิลทินจับหรือมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในระบบการสังเคราะห์พลังงานของไมโทคอนเดรีย [20] รวมทั้งมีผลให้ห้องค้ประกอบภายในเซลล์ได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง เช่น ไมโทคอนเดรียมีลักษณะบวมจนมีขนาดใหญ่กว่าปกติ 3-4 เท่า และเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียรั่วและบางส่วนเกิดเยื่อหุ้มหลายชั้น เป็นต้น ทำให้ไมโทคอนเดรียไม่สามารถสังเคราะห์ ATP ได้ [24] ตามปกติแล้วการตอบสนองต่อความเข้มข้นของสารประกอบบิวทิลทินในหอยฝาเดียวแต่ละชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับและกลไกการกำจัดออกจากเซลล์ของหอย

### 3.4 การพัฒนาอวัยวะเพศผู้ของหอยหวานเพศเมีย

#### 3.4.1 การพัฒนาอวัยวะเพศผู้ของหอยหวานที่ได้รับสารไดบิวทิลทิน

หอยหวานที่ได้รับสารไดบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร เริ่มเกิดการพัฒนาของ Pseudopenis ในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยง โดยเกิดการพัฒนาของ Pseudopenis ถึงระดับ 1 ร้อยละ 10.00±0.00 เมื่อเลี้ยงหอยหวานนาน 112 วัน (รูปที่ 4a) ส่วนหอยหวานที่ได้รับไดบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร เริ่มเกิดการพัฒนาของ Pseudopenis ในวันที่ 14 ของการ

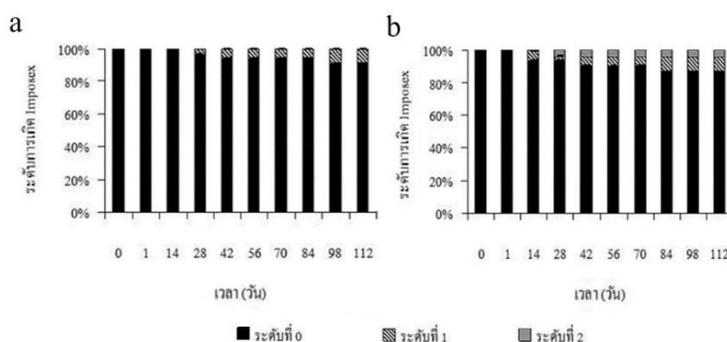
เพาะเลี้ยง และพัฒนาไปถึงระดับที่ 2 โดยมีการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ระดับ 1 และ 2 ร้อยละ 10.00±0.00 และ 3.33±0.00 ตามลำดับ เมื่อเลี้ยงหอยหวานนาน 112 วัน (รูปที่ 4b)

#### 3.4.2 การพัฒนาอวัยวะเพศผู้ของหอยหวานที่ได้รับสารโมโนบิวทิลทิน

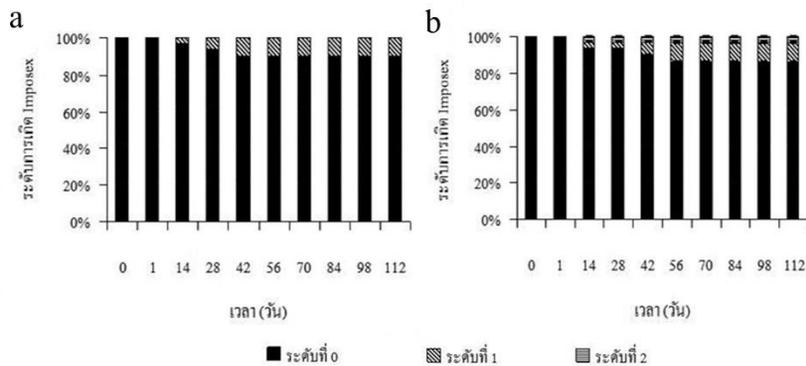
หอยหวานที่ได้รับสารโมโนบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร มีการพัฒนาของ Pseudopenis ถึงระดับที่ 1 ร้อยละ 10.00±0.00 เมื่อเลี้ยงหอยหวานนาน 112 วัน (รูปที่ 5a) ส่วนหอยหวานที่ได้รับสารโมโนบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร เริ่มเกิดการพัฒนาของ Pseudopenis ในวันที่ 14 โดยพัฒนาในระดับที่ 1 และ 2 ร้อยละ 10.00±0.00 และ 3.33±0.00 ตามลำดับ เมื่อเลี้ยงหอยหวานนาน 112 วัน (รูปที่ 5b)

#### 3.4.3 ความยาว Pseudopenis ของหอยหวานที่เติมสารไดบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทิน

หลังเลี้ยงนาน 112 วัน หอยหวานในชุดควบคุมไม่พบการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ โดย Pseudopenis ของหอยหวานที่เติมสารไดบิวทิลทิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร มีความยาวสูงที่สุดเท่ากับ 0.80± 0.61 มิลลิเมตร ซึ่งยาวกว่าหอยหวานที่เติมสารไดบิวทิลทิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร และโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ที่มีค่าเท่ากับ 0.37±0.32, 0.33±0.20 และ 0.39±0.34 มิลลิเมตรตามลำดับ



รูปที่ 4 ระดับการพัฒนาของ Pseudopenis ในหอยหวานเพศเมียที่ได้รับสารไดบิวทิลทิน ความเข้มข้น a) 5 และ b) 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ระหว่างการเพาะเลี้ยงนาน 112 วัน



รูปที่ 5 ระดับการพัฒนาของ Pseudopenis ในหอยหวานเพศเมียที่ได้รับสารโมโนบิวทิลทิน ความเข้มข้น a) 5 และ b) 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ระหว่างการเพาะเลี้ยงนาน 112 วัน

สารไตรบิวทิลทินและอนุพันธ์มีความเป็นพิษรุนแรงต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศแม้ได้รับในปริมาณน้อยในระดับไมโครกรัมต่อลิตร สารประกอบเหล่านี้ไม่เพียงทำให้เกิดการเจริญเติบโตลดลงและเพิ่มอัตราการตาย แต่ยังก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ของหอยฝาเดียวอีกด้วย โดยทำให้เกิดการพัฒนาลักษณะเพศผู้คือการสร้าง Pseudopenis และท่อนำสเปิร์มทำให้จำนวนประชากรหอยลดลง จนเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่ออุตสาหกรรมเพาะเลี้ยง [1] การศึกษาในครั้งนี้ยืนยันได้ว่าสารไตรบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทินสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในหอยหวานเพศเมีย และสามารถกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของ Pseudopenis จนถึงระดับ 2 เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นความเป็นพิษเรื้อรังของสารไตรบิวทิลทินด้วยการเหนี่ยวนำให้เกิดการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ได้มีรายงานอย่างกว้างขวางในหอยฝาเดียวเพศเมียหลายชนิดทั่วโลก เช่น หอย Common whelk มีการพัฒนาของ Pseudopenis เมื่อได้รับสารไตรบิวทิลทิน [13] หอย Rock Shell ที่ได้รับสารไตรบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทินมีการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในระดับที่เห็นได้ชัดเจน [22] การพัฒนาของลักษณะเพศผู้ของหอยหวานเพศเมียอาจเกิดจากสารประกอบไตรบิวทิลทินยับยั้ง Cytochrome P 450-mediated Aromatase และกระตุ้นการขับ Penial Morphogenetic Factor จาก Pedal Glanglia ซึ่งอยู่

ภายใต้การควบคุมของ Cerebropleura ทำให้เพิ่มการหลั่งฮอร์โมนเพศชาย คือ ฮอร์โมนเทสโทสเตอโรน และเพิ่มการแสดงออกของลักษณะเพศผู้มากขึ้นในหอยเพศเมีย [13], [25] การปนเปื้อนสารไตรบิวทิลทินในสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงหอยหวานอาจส่งผลให้ผลผลิตหอยหวานลดลงจนเกิดความเสียหายต่ออุตสาหกรรมเพาะเลี้ยง และอาจส่งผลกระทบต่อทรัพยากรทางทะเลอื่นๆ ในระบบห่วงโซ่อาหารที่เป็นอาหารของมนุษย์ อีกทั้งยังอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากสารประกอบไตรบิวทิลทินมีผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนและภูมิคุ้มกันให้อ่อนแอลง ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐจึงควรมีมาตรการและการบังคับใช้กฎหมายอย่างเคร่งครัดและมีประสิทธิภาพ เพื่อลดการปนเปื้อนสารไตรบิวทิลทินและอนุพันธ์ในสิ่งแวดล้อมตามยุทธศาสตร์ของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่กำหนดเป้าหมายให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้รับการอนุรักษ์และฟื้นฟูให้อยู่ในระดับที่ยั่งยืนและเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของประชาชน

#### 4. สรุป

สารไตรบิวทิลทินและโมโนบิวทิลทิน 5 และ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อความยาวเปลือก แต่มีผลทำให้น้ำหนักลดลงและอัตราการตายของหอยหวาน

เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ไบวาทิลทินและโมโนไบวาทิลทินยังเหนียวน่าให้เกิดการพัฒนาอวัยวะเพศผู้ในหอยหวาน โดยกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของ Pseudopenis ได้ถึงระดับ 2 เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ปัจจุบันสารประกอบไบวาทิลทินยังถูกใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น การผลิตพลาสติกพอลิเมอร์และภาคการเกษตรเพื่อเป็นองค์ประกอบของสารกำจัดศัตรูพืชและการกำจัดเชื้อรา ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงหอยหวานและอันตรายต่อผู้บริโภค หน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบจึงควรมีมาตรการที่ชัดเจนและเข้มงวดในการควบคุมการใช้งานสารไตรไบวาทิลทินและอนุพันธ์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งนี้ได้มีประกาศห้ามใช้สีที่มีส่วนผสมของสารไตรไบวาทิลทินกับเรือตั้งแต่ พ.ศ. 2551 แต่ยังคงมีการตรวจพบการปนเปื้อนสารไบวาทิลทินในสิ่งแวดล้อมทางทะเล ทั้งนี้เพื่อให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้รับการรักษาให้ยั่งยืนและเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของประชาชนในประเทศไทย

## 5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ กองบริหารการวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยบูรพา คณะผู้แต่งขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยบางส่วนจากโครงการบัณฑิตศึกษา ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. O. Sunday, B. A. Alafara, and O. G. Oladele, "Toxicity and speciation analysis of organotin compounds," *Chemical Speciation and Bioavailability*, vol. 24, pp. 216–226, Jan. 2012.
- [2] I. Omae, "Review organotin antifouling paint and their alternatives," *Applied Organometallic Chemistry*, vol. 17, pp. 81–105, Jan. 2003.
- [3] P. H. Dowson, J. M. Bubbs, and J. N. Lester, "Persistence and degradation pathways of tributyltin in freshwater and estuarine sediments," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 42, pp. 551–562, May 1996.
- [4] J. H. Huang and E. Matzner, "Degradation of organotin compounds in organic and mineral forest soils," *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 167, pp. 33–38, Feb. 2004.
- [5] S. H. Lee, Y. S. Chen, C. F. Chen, F. P. J. B. Albarico, Y. C. Lim, M. H. Wang, C. W. Chen, and D. C. Dong, "Butyltin contamination in fishing port sediments after the ban of tributyltin antifouling paint: a case of Qianzhen Fishing Port in Taiwan," *Water*, vol. 14, p. 813, Mar. 2022.
- [6] C. P. Titley-O'Neal, K. R. Munkittrick, and B. A. Macdonald, "The effects of organotin on female gastropods," *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 13, pp. 2360–2388, Sep. 2011.
- [7] F. Laranjeiro, P. Sánchez-Marín, I. B. Oliveira, S. Galante-Oliveira, and C. Barroso, "Fifteen years of imposex and tributyltin pollution monitoring along the Portuguese coast," *Environmental Pollution*, vol. 232, pp. 411–421, Jan. 2018.
- [8] *Research report*, Distribution of butyltin (BTs) in water and some marine organism

- species from fishing port areas in the southern border provinces, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, 2011.
- [9] C. Klinklob, K. Shearman, N. Sudsiri, A. Boonmee, and S. Kingtong, "Butyltin compounds in green mussel (*Perna viridis*) from the coasts of Chonburi, Rayong and Trat provinces," *RMUTI Journal Science and Technology*, vol. 12, pp. 87–100, May 2019.
- [10] *Research report*, Contamination of organotin on Songkhla old-town coast, College of Innovation and Management, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 2016.
- [11] *Research report*, Monitoring of marine coastal sediment quality in 2016, Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, 2016.
- [12] S. Kan-ati-reklap, S. Tanabe, and J. Sanguansin, "Contamination by butyltin compounds in sediment from Thailand," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 34, pp. 894–899, Nov. 1997.
- [13] B. P. Mensink, H. Kratt, A. D. Vethaak, C. C. T. Hallers-Tjabbes, J. H. Koeman, B. van Hattum, and J. P. Boon, "Imposex induction in laboratory reared juvenile *Buccinum undatum* by tributyltin (TBT)," *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 11, pp. 49–65, Jan. 2002.
- [14] N. Chaithanawisut, S. Kritsanapuntu, W. Santhaweesuk, and S. Phopphet, *Commercial Farming and Aquaculture of Spotted Babylon in Thailand*. Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2013.
- [15] R. F. Lee, "Metabolism of tributyltin by aquatic organisms," in *Organotin*, M. Champ and P. F. Seligman, Eds. London: Chapman & Hall, 1995, pp. 369–382.
- [16] P. E. Gibbs and G. W. Bryan, "TBT-induced imposex in gastropod snails: masculinization to mass extinction," in *Tributyltin: Case Study of an Environment Contaminant*, S. J. De Mora, Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996, pp. 212–236.
- [17] H. Harino, S.C.M. O'Hara, G.R. Burt, B.S. Chesman and W.J. Langston, "Distribution of organotin compounds in tissues of mussels *Mytilus edulis* and clams *Mya Arenaria*," *Chemosphere*, vol. 58, pp. 877–881. Feb. 2005.
- [18] G.W. Bryan, D.A. Bright, L.G. Hummerstone and G.R. Burt, "Uptake, tissue distribution and metabolism of <sup>14</sup>C-labelled tributyltin (TBT) in the dog whelk, *Nucella lapillus*," *Journal of the Marine Biological Association UK*, vol. 73, pp. 889–912, Nov. 1993.
- [19] J.W. Short and F.P. Thrower, "Accumulation of butyltins in muscle tissue of Chinook salmon reared in sea pens treated with tri-n-butyltin," *Marine*

- Pollution Bulletin*, vol. 17, pp. 542-545. Dec. 1986.
- [20] J. Widdows and D.S. Page, "Effects of tributyltin and dibutyltin on the physiological energetics of the mussel, *Mytilus edulis*," *Marine Environmental Research*, vol. 35, pp. 233-249. Mar. 1993.
- [21] A. Giusti, A. Barsi, M. Dugué, M. Collinet, J.P. Thomé, C. Joaquim-Justo, B. Roig, L. Lagadic and V. Ducrot, "Reproductive impacts of tributyltin (TBT) and triphenyltin (TPT) in the hermaphroditic freshwater gastropod *Lymnaea stagnalis*," *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 32, pp. 1552-1560, Jul. 2013.
- [22] T. Horiguchi, H. Shiraishi, M. Shimizu and M. Morita, "Effects of triphenyltin chloride and five other organotin compounds on the development of imposex in the rock shell, *Thais clavigera*," *Environmental Pollution*, vol. 95, pp. 85-91. Feb. 1997.
- [23] M. Vighi, and D. Calamari, "QSARs for organotin compounds on *Daphnia magna*," *Chemosphere*, vol. 14, pp. 1925-1932. Jan. 1985.
- [24] H. Guolan and W. Yong, "Effects of tributyltin chloride on marine bivalve mussels," *Water Research*, vol. 29, pp. 1877-1884. Aug. 1995.
- [25] C. Bettin, J. Oehlmann and E. Stroben, "TBT-induced imposex in marine neogastropods is mediated by an increasing androgen level," *Helgolander Meeresunters*, vol. 50, pp. 299-317, Sep. 1996.

## การอัปเดตฟิล์มพลาสติกจากโรงงานเป็นอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์วัดความชื้น

กาญจนา ลือพงษ์<sup>1\*</sup> เลิศลักษณ์ แก้ววิมล<sup>1</sup> และ เสาวณีย์ อารีจงเจริญ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

<sup>2</sup>คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>1</sup> 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

<sup>2</sup> 517 ถนนนครสวรรค์ แขวงสวนจิตรลดา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

---

รับบทความ 15 พฤษภาคม 2566 แก้ไขบทความ 8 พฤศจิกายน 2566 ตอรับบทความ 30 พฤศจิกายน 2566

### บทคัดย่อ

การอัปเดตฟิล์มพลาสติกที่ใช้แล้วจากโรงงานให้กลายเป็นอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์วัดความชื้นมีจุดประสงค์หลักในการนำขยะพลาสติกจากอุตสาหกรรมกลับมาใช้ใหม่โดยการเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณขยะพลาสติก โดยพัฒนาเป็นอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถในการตรวจจับความชื้น โดยเริ่มจากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์ม จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปเคลือบด้วยกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ร้อยละ น้ำหนักต่อปริมาตร และศึกษาสมบัติของอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์ทั้งในด้านการตอบสนองทางไฟฟ้าโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี สันฐานวิทยา พื้นที่ผิวจำเพาะในการเกิดปฏิกิริยาของกราฟีนออกไซด์เซ็นเซอร์ และหาความสัมพันธ์ของความจุไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดแอลซีอาร์สำหรับการตรวจจับความชื้นสัมพัทธ์ ผลการศึกษาพบว่าแผ่นฟิล์มพลาสติกจากโรงงานเป็นซิลิโคนประเภทพอลิไดเมทิลไซลอคเซนมีความหนา 0.105 มิลลิเมตร มีความยืดหยุ่นสามารถปรับแต่งพื้นผิวได้ สามารถกรีนเลเซอร์ และเคลือบกราฟีนออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1.0 ร้อยละน้ำหนักต่อปริมาตร เซ็นเซอร์ที่ได้มีสมบัติด้านการนำไฟฟ้า และสามารถพัฒนาเป็นเซ็นเซอร์ในการวัดชื้นจากบรรยากาศได้ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสัมพัทธ์ (x) และความจุไฟฟ้า (y) ตามสมการพหุนามกำลังสองคือ  $y = 0.0013x^2 + 2.7902x - 51.17$  ที่ค่า  $R^2 = 0.971$  อนุภาคกราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มจะมีรูปทรงเป็นหกเหลี่ยมซ้อนชิดติดกัน และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 74.6269 ตารางมิลลิเมตรต่อกรัม

คำสำคัญ : อัปเดตฟิล์ม; พอลิไดเมทิลไซลอคเซน; อิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์; กราฟีนออกไซด์

---

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 9994 5959, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: : kanchana.l@mail.rmutk.ac.th

# Upcycling of the Used-Factory Film Sheets to Electrochemical Humidity Sensor

Kanchana Luepong<sup>1\*</sup> Lerdluck Kaewwimol<sup>1</sup> and Saowanee Areechongchareon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Engineering Faculty, Rajamangala University of Technology Krungthep

<sup>2</sup>Faculty of Industrial Textiles and Fashion Design, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

<sup>1</sup>2 Nang linchi Road, Thung Maha Mek, Sathorn, Bangkok, 10120

<sup>2</sup>517 Nakhonsawan Road, Suan Chitralada, Dusit, Bangkok, 10300

---

*Received 15 May 2023; Revised 8 November 2023; Accepted 30 November 2023*

## Abstract

The primary objective of this study was to upcycle used factory film sheets, thereby adding value to these materials and mitigating the accumulation of industrial waste. Specifically, our research focused on developing an electrochemical sensor for humidity measurement. Initially, the plastic sheets underwent a comprehensive analysis of their physical and chemical properties. Subsequently, they were coated with graphene oxide at varying concentrations (0.5%, 1.0%, 1.5%, and 2.0% w/v) to investigate the electrical response of the electrochemical sensor using cyclic voltammetry. Humidity measurements were conducted using the LCR meter based on the electric method. The study revealed that the waste film sheets were of Polydimethylsiloxane type, with a thickness of 0.105 mm, showcasing flexibility and suitability for surface modification through laser screening. To enhance the conductivity properties, the electrochemical sensor was coated with 1.0% w/v graphene oxide. This modification enabled accurate humidity measurements, establishing a relationship between humidity (x) and electric capacity (y) through a second-degree polynomial equation:  $y = 0.0013x^2 + 2.7902x - 51.17$ , with an  $R^2$  value of 0.971. Furthermore, the morphology analysis of the graphene oxide on the modified sensor surface revealed a stacked configuration with a hexagonal shape. The specific surface area of graphene oxide was calculated to be 74.6269 square millimeters per gram. This innovative approach not only showcases the flexibility and adaptability of Polydimethylsiloxane-based film sheets but also demonstrates the potential of graphene oxide coatings in developing efficient and reliable humidity sensors, contributing significantly to the field of environmental sustainability and sensor technology.

**Keywords:** Upcycle; Polydimethylsiloxane; Electrochemical sensor; Graphene oxide

---

*\* Corresponding Author. Tel.: +668 9994 5959, E-mail Address: kanchana.l@mail.rmutk.ac.th*

## 1. บทนำ

จากนโยบายการพัฒนาประเทศไทยด้วยการขับเคลื่อนตามโมเดลเศรษฐกิจ (BCG Model) เป็นการพัฒนาเศรษฐกิจที่สำคัญใน 3 ด้านได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bio economy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green economy) เป้าหมายที่สำคัญคือการลดใช้ทรัพยากรด้วยการหมุนเวียนทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเฉพาะการนำขยะจากภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีขยะที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่หลากหลายรูปแบบทั้งในรูปแบบเส้นใยสังเคราะห์ พิล์ม แผ่นพลาสติก และแผ่นยางซิลิโคนกลับมาใช้ใหม่ด้วยการรีไซเคิล หรืออัพไซเคิลเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ [1] ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่มีการนำแผ่นฟิล์มแบบต่าง ๆ ไปใช้งานเป็นเซนเซอร์ โดยเฉพาะเซนเซอร์ทางไฟฟ้าเคมี หรืออิเล็กโทรเคมีคัลเซนเซอร์ (Electrochemical sensor)

อิเล็กโทรเคมีคัลเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าในการทดสอบสมบัติ ความเสถียร และการเกิดปฏิกิริยา ด้วยการตรวจจับและแปลงข้อมูลเฉพาะทางเคมีที่เกิดขึ้นให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า [2]-[6] ที่สามารถแสดงค่าทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้ ตัวตรวจจับ ประเภทกราฟีนออกไซด์ นิยมนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูง [5] ร่วมกับเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic-voltammetry; C-V) ปัจจุบันมีงานวิจัยหลากหลายสาขาที่พัฒนาเซนเซอร์ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานค่อนข้างสูง สามารถตอบสนองการทำงานได้อย่างรวดเร็ว มีความถูกต้องและแม่นยำ [4], [6]-[9] ทดแทนวิธีวิเคราะห์แบบดั้งเดิมที่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพงในการผลิต เซนเซอร์ที่พัฒนาได้สามารถนำไปใช้ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารตามหลักการวิเคราะห์ทั้งทางตรง หรือทางอ้อมเช่น เซนเซอร์ความชื้น และเซนเซอร์ก๊าซ ทำงานโดยอาศัยกลไกการตรวจจับความ

ต้านทานทางไฟฟ้า และข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณไอน้ำหรือก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศไม่ว่าจะเป็นปริมาณสัมบูรณ์หรือปริมาณสัมพัทธ์ของจุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิหนึ่ง [10] สำหรับการวัดความชื้นในยางดิบ [12] ยางพารา [13] และไบโอเซนเซอร์ในการหาสารประกอบเคออสตินในน้ำผลไม้ [14] ปริมาณสารอาร์ทีมิซินิน [7]

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์คัลเซนเซอร์จากขยะเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าของตัวตรวจจับด้วยกราฟีนออกไซด์ โดยอาศัยสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดจากกราฟีนออกไซด์ในการตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 วัสดุและสารเคมี

งานวิจัยนี้ใช้แผ่นฟิล์มบางที่มีลักษณะเรียบ มีความโค้งงอคล้ายแผ่นพลาสติกจากโรงงานสิ่งทอขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นขยะที่เกิดจากกระบวนการสร้างลวดลายบนเสื้อผ้าด้วยเทคนิคการพิมพ์แบบถ่ายโอน (Transfer printing) แผ่นฟิล์มเหล่านี้ก่อนนำมาวิจัยต้องนำไปทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบริเวณผิวหน้า ด้วยการนำไปแช่ในสารละลายอะซิโตน ( $C_3H_6O$ , MERCK) เป็นเวลา 2 นาที เพื่อกำจัดฝุ่น และไขมันบนผิวหน้า จากนั้นนำไปแช่ต่อในสารละลายโพรพานอล ( $C_3H_8O$ , MERCK) เป็นเวลา 2 นาที เพื่อกำจัดสารละลายอะซิโตน เมื่อครบเวลานำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $50-60^{\circ}C$  ก่อนนำไปใช้งาน [15]

นอกจากนี้ในการทดลองยังใช้สารละลายกราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide; GO, Sigma-Aldrich) มอร์แคปโตเอทิลลามีน ( $C_2H_7NS$ , Tokyo chemical industry) และเตรียมสารละลายเฟอร์ริ-เฟอร์โร ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Ferri-ferro phosphate buffer) จากโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $NaH_2PO_4$ , MERCK) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $Na_2HPO_4$ , MERCK) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl,

MERCK) โพลีแซลไซมเฟอร์ไรโซยานด์(III) ( $K_3Fe(CN)_6$ )  
 MERCK) โพลีแซลไซมเฮกซะโซยานด์เฟอไรด์(II) ไตรไฮเดรต  
 ( $K_4(Fe(CN)_6) \cdot 3H_2O$ ) สารเคมีเหล่านี้สามารถนำมาใช้  
 โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์สำหรับการ  
 นำมาใช้ในการเตรียมกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

## 2.2 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของ แผ่นฟิล์ม

แผ่นฟิล์มนี้นำมาตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ  
 ด้วยการประเมินความหนาด้วยไดอัลเกจ, Mitutoyo รุ่น  
 2052S, Japan และตรวจสอบประเมินค่าสี (Color  
 coordinate) ตามมาตรฐาน CIE Lab scale ( $L^* a^* b^*$ )  
 เมื่อ  $L^*$  แทนค่าความมืด-ความสว่าง  $a^*$  แทนค่าสีแดง-สี  
 เขียว  $b^*$  แทนค่าสีเหลือง-น้ำเงิน ด้วยเครื่อง Spectraflash  
 รุ่น SF600 PLUS-CT, Datacolor international, USA  
 กำหนดให้ D65 เป็นแหล่งกำเนิดแสง ที่มุมมอง 10 องศา

## 2.3 การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างและ องค์ประกอบของแผ่นพลาสติก

การตรวจสอบลักษณะทางเคมีของแผ่นฟิล์มเทียบกับ  
 ข้อมูลมาตรฐานเพื่อหาชนิดของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง  
 วิเคราะห์อินฟราเรดในโหมดการให้แสงสะท้อน  
 (Attenuated Total Reflection Fourier Transform  
 Infrared Spectroscopy; ATR-FTIR) รุ่น Spectrum  
 One, Perkin Elmer, USA เทคนิคนี้เป็นการวิเคราะห์หมู่  
 ฟังก์ชันของสารตัวอย่างด้วยอินฟราเรดแบบแสงทะลุผ่าน  
 สารตัวอย่าง โดยอาศัยการดูดกลืนช่วงคลื่นอินฟรา-เรด  
 ทำให้เกิดการสั่นของพันธะโมเลกุลในการแยกหมู่ฟังก์ชัน

## 2.4 การพัฒนาอิเล็กโทรดเคมีคัลเซ็นเซอร์

### 2.4.1 การเตรียมแผ่นอิเล็กโทรด

แผ่นอิเล็กโทรดเตรียมจากนำแผ่นฟิล์มที่ผ่าน  
 การทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วมาตัดเป็นรูป  
 สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $20 \times 35$  มิลลิเมตร จากนั้นใช้  
 เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความยาวคลื่น 1060

นาโนเมตร กำลังสูงสุด 75 วัตต์ ฉายรังสีลงบนแผ่น  
 พลาสติก ความเร็วในการสแกนของเลเซอร์ตั้งให้คงที่  
 60 mm/s เพื่อให้ได้เป็นแผ่นพลาสติกเหนียวนำด้วย  
 เลเซอร์ (Laser induced plastic) ที่มีรูพรุนที่เหมาะสม  
 [2], [16] การศึกษานี้เลือกเตรียมเป็นอิเล็กโทรดแบบ  
 วงกลมเพื่อให้การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้ามีความ  
 สมบูรณ์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อิเล็กโทรดแบบวงกลม

จากนั้นนำแผ่นฟิล์มเหนียวนำด้วยเลเซอร์ที่ได้ไป  
 แช่ในสารละลายเมอร์แคปโตเอทิลลามีน ความเข้มข้น  
 0.1 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อสร้างโครงสร้างอะมิ  
 โนสำหรับการยึดเกาะกราฟีนออกไซด์ และต่อ  
 ลวดทองแดงเข้ากับปลายแผ่นพลาสติกเหนียวนำด้วย  
 เลเซอร์ทำเป็นแผ่นอิเล็กโทรดแบบวงกลม (Circle  
 electrode) ซึ่งมีความสามารถในการนำไฟฟ้า สำหรับ  
 สารละลายเมอร์แคปโตเอทิลลามีน 0.1 โมลาร์นั้น  
 เตรียมได้จากการละลายเมอร์แคปโตเอทิลลามีน  
 (C<sub>2</sub>H<sub>7</sub>NS; MERCK) 1.9288 กรัม ในน้ำปราศจาก  
 ไอออน (Deionized water; DI) 250 ซีซี และปรับ  
 ปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร

### 2.4.2 การเตรียมกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

เตรียมกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0,  
 1.5 และ 2.0 %w/v ตามลำดับ ในสารละลายฟอสเฟต  
 บัฟเฟอร์ (PSB) pH 9 จากนั้นนำสารละลายที่ได้เข้า  
 เครื่องอัลตราโซนิก (Digital ultrasonic cleaner) รุ่น GT  
 SONIC-D13, GuangDong GT Ultrasonic, China เป็น  
 เวลา 10 นาที เพื่อให้กราฟีนออกไซด์ละลายอย่างสมบูรณ์  
 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปตรึงบนร่องของแผ่น  
 อิเล็กโทรดแบบวงกลมที่เตรียมไว้ และทำให้แห้งจะได้

กราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ที่พร้อมใช้งาน สารละลาย บัฟเฟอร์ในการวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 1. สารละลาย ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PSB) pH 9 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เตรียมจากโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ; Sigma-Aldrich) ปริมาณ 0.1135 กรัม และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ; Sigma-Aldrich) ปริมาณ 35.5544 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน 100 ซีซี จากนั้นปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตรในขวดวัด ปริมาตร และ 2. สารละลายเฟอริ-เฟอร์โร ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ (Ferri-ferro PSB) pH 9 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เตรียมจากการเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl; Sigma-Aldrich) ปริมาณ 3.7279 กรัม โพแทสเซียมเฟอริไซยาไนด์(III) ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ; MERCK) ปริมาณ 1.6411 กรัม และโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต(II)ไตรไฮเดรต ( $\text{K}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ; MERCK) ปริมาณ 1.864 กรัม ลงใน สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (PSB) และปั่นกวนด้วย เครื่องกวนแบบแม่เหล็กจนได้สารละลายสีเหลืองใส [16]

### 2.4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

นำกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ทั้ง 4 ความเข้มข้น ตรวจสอบคุณสมบัติการนำไฟฟ้า โดยให้ปลายกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ด้านหนึ่งจุ่มในสารละลายเฟอริ-เฟอร์โร ฟอสเฟต (Ferri-ferro PSB) อีกด้านหนึ่งต่อกับขั้ววัด กระแสไฟฟ้าเพื่อวัดการตอบสนองกระแสไฟฟ้าโดยใช้ เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry; CV) พารามิเตอร์เครื่องวิเคราะห์ทางไฟฟ้า คืออัตราการ แสแกน 0.025 โวลต์ต่อวินาที เมื่อตั้งทิศทางการแสกน ระหว่าง -0.5 ถึง 0.7 โวลต์ ที่ 25°C

## 2.5 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

### 2.5.1 การเตรียมสารละลายเกลืออิมิตัวมาตรฐาน

เตรียมเส้นโค้งการสอบเทียบ (Calibration curve) ของสารละลายเกลืออิมิตัวที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์

(RH) ร้อยละ 11-97 เป็นตัวอ้างอิงสำหรับการวัดผลตอบสนองทางไฟฟ้าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (RH) และความจุไฟฟ้า [16] โดยเตรียมจากการละลายสารประกอบเกลือในน้ำปราศจากไอออน จนเกลือไม่สามารถละลายได้อีก จากนั้นปิดฝา และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายเกลือตกผลึกเป็นสารละลายเกลืออิมิตัวพร้อมใช้งาน

ตารางที่ 1 การเตรียมสารละลายเกลืออิมิตัว

| สารละลาย  | ปริมาณสาร (g) : ปริมาตรน้ำกลั่น (ml) | %RH |
|---|--------------------------------------|-----|
| ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl; MERCK)                                  | 88.7 : 100                           | 11  |
| โพแทสเซียมอะซิเตด ( $\text{CH}_3\text{COOK}$ ; Sigma-Aldrich) | 80.2 : 25                            | 23  |
| แมกนีเซียมคลอไรด์ ( $\text{MgCl}_2$ ; Sigma-Aldrich)          | 235 : 100                            | 33  |
| โพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ; MERCK)        | 56 : 50                              | 43  |
| โซเดียมโบรไมด์ ( $\text{NaBr}$ ; MERCK)                       | 35.10 : 100                          | 59  |
| โซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ; MERCK)                       | 37.85 : 50                           | 75  |
| โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl; Sigma-Aldrich)                        | 35.90 : 100                          | 84  |
| โพแทสเซียมไนเตรต ( $\text{KNO}_3$ ; Sigma-Aldrich)            | 33.97 : 100                          | 93  |
| โพแทสเซียม ซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; Sigma-Aldrich)  | 2.00 : 100                           | 97  |

### 2.5.2 การทดสอบการนำความชื้น

การวัดค่าการนำไฟฟ้าจากความชื้นของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางไฟฟ้า คือ ค่าความจุไฟฟ้า และความชื้นสัมพัทธ์จากสารเคมีเกลืออิมิตัวด้วยเครื่องวัดแอลซีอาร์ (LCR meter) รุ่น LCR-9063, Lutron, Japan ที่ทำงานด้วยหลักการวัดอิมพีแดนซ์ หรือการต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรซึ่งเป็นผลรวมทางเวกเตอร์ของความต้านทาน และค่ารีแอกแตนซ์ โดยการวัดแรงดัน (V) ตกคร่อม, กระแส (I) ที่ไหลผ่าน และมุมเฟสที่แตกต่างกันระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า เลือกใช้ความถี่ทดสอบที่ 100 เฮิร์ตเป็นตัวแทนในการหาสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

ในการวัดค่าความจุไฟฟ้าทำโดยเริ่มจากจุ่มกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ในสารละลายเกลืออิมิตัวที่ 11%RH จากนั้นใช้เครื่อง LCR และที่ขั้วอิเล็กโทรดเพื่ออ่านค่าความจุไฟฟ้า และเปลี่ยนสารละลายเกลืออิมิตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่อมาจนครบ และนำค่าความจุไฟฟ้าไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ต่อไป

### 2.6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

กราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ที่เตรียมขึ้นมาจะถูกนำมาตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น JSM-IT300, JEOL, Japan ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า โดยลำอิเล็กตรอนจะส่องกราดไปบนผิวของวัตถุ เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่าง ลวดลายบนผิวตัวอย่าง และพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของกราฟีนออกไซด์ที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีทางไฟฟ้า ตามสมการที่ (1)

$$S = \frac{A}{m} \tag{1}$$

โดยที่

$S$  = พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางมิลลิเมตรต่อกรัม)

$A$  = พื้นที่ผิวของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ (ตารางมิลลิเมตร)

$m$  = น้ำหนักของอนุภาคกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ (กรัม)

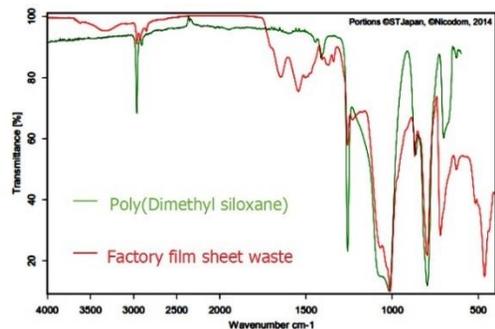
## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม

จากการตรวจสอบลักษณะเบื้องต้นของแผ่นฟิล์มที่นำมาใช้เป็นวัตถุศึกษาในการวิจัยนี้ พบว่าฟิล์มนี้เป็นแผ่นเรียบ มีความคงตัว มีค่าความหนาโดยเฉลี่ย 0.105 มิลลิเมตร และมีสีขาวขุ่นโดยมีค่า  $L^*$  93.68,  $a^*$  3.94, และ  $b^*$  -11.21 ตามลำดับ จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าฟิล์มนี้สามารถเขียน หรือพิมพ์ลายลงบนผิวหน้าของแผ่นฟิล์มได้

### 3.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของแผ่นฟิล์ม

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิคอินฟราเรดของแสงแบบสะท้อน (ATR-FTIR) พบว่าแผ่นฟิล์มนี้เป็นซิลิโคนที่มีค่าการสะท้อนแสงในตำแหน่งขององค์ประกอบของเคมีใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ชนิดพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethylsiloxane; PDMS) ดังแสดงในรูปที่ 2

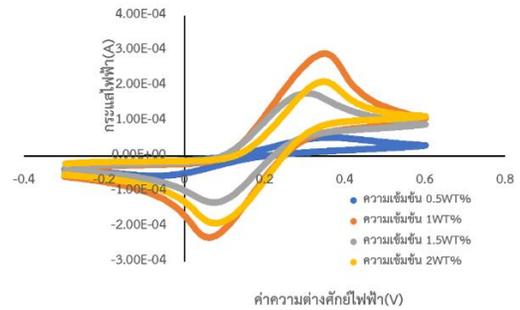


รูปที่ 2 การเทียบหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างพลาสติกกับพอลิไดเมทิลซิลอกเซน

พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethyl siloxane; PDMS) เป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มออร์กาโนซิลิกอน (Organosilicon) คุณสมบัติโดยทั่วไปจะมีความเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ไม่ติดไฟง่าย มีความคงตัวต่อความร้อน ร้อยละการหดตัวหลังจากได้รับความร้อน 1.1 มีค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity; k) 0.2 วัตต์ต่อเมตรต่อเคลวิน มีความยืดตัวสูง (Elongation) ประมาณมากถึงร้อยละ 160 มีความโปร่งแสง มีความคงทนต่อการกระแทกและเสียดสี ปรับแต่งพื้นผิวได้ [17-18] สอดคล้องกับผลการศึกษาทางลักษณะทางกายภาพที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ เมื่อศึกษาสมบัติด้านการใช้งานพบว่าฟิล์มนี้สามารถใช้เป็นวัสดุทริโบอิเล็กทริก หรือวัสดุที่มีปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าสถิตย์ เกิดการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าที่ผิวของวัสดุทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าจากแรงกระตุ้นเชิงกลของความต่างศักย์ และความชื้นของวัสดุ [19] พอลิไดเมทิลซิลอกเซนนี้เป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่มีความสำคัญในการนำมาใช้ประโยชน์ทางไฟฟ้า โดยเฉพาะความสามารถของการให้สมบัติความเป็นขั้วลบทางทริโบอิเล็กทริก (Negative triboelectric material) [18] ที่นำมาเพิ่มผลลัพธ์ในการนำไฟฟ้า จึงสามารถนำมาพัฒนาเป็นอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์วัดความชื้นได้

### 3.3 สมบัติทางไฟฟ้าของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

การพิสูจน์เอกลักษณ์การนำส่งอิเล็กตรอนของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณทางด้านเคมี เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องกับศักย์ไฟฟ้าที่ควบคุมจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์เมื่อศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง และเกิดปฏิกิริยาของกราฟีนออกไซด์บนผิวของเซนเซอร์ในสารละลายเฟอโรเฟอโร ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ จะเกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (Electron transfer reaction) บนผิวของขั้วไฟฟ้า ส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบไซคลิกโวลแทมเมตรีดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 สัญญาณไซคลิกโวลแทมโแกรมของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

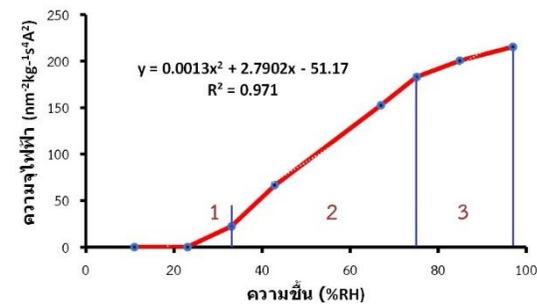
จากรูปที่ 3 เห็นได้ว่ากราฟีนออกไซด์เป็นสารตัวกลางสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ดีสังเกตจากลักษณะของรูปทรงของกราฟีนระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่เกิดพีคที่ชัดเจน เนื่องจากกราฟีนออกไซด์มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางความร้อนดีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือสภาพคล่องมีมากถึง 200,000 ตารางเซนติเมตรต่อโวลต์ต่อวินาที มีความยืดหยุ่นสูง [7] สามารถเร่งการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังขั้วไฟฟ้าได้ทำให้เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับเซนเซอร์

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการต้านทานไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า พบว่ากราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 0.5 %w/v ให้ค่าต้านทานสูงสุด พิจารณาจากลักษณะของพีคที่เกิดขึ้นจะมีรูปทรงที่แคบเมื่อเทียบกับกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นอื่น และเมื่อพิจารณาผลของค่าการนำไฟฟ้าของกราฟีนออกไซด์ จะเห็นค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง -0.000231 - 0.000293 แอมแปร์ โดยกราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 1%w/v ให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงกว่าที่ความเข้มข้น 0.5%w/v แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นกราฟีนออกไซด์เป็น 1.5%w/v และ 2.0%w/v กลับพบว่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าต่ำลง เนื่องจากการใช้กราฟีนออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ชั้นความหนาของโมเลกุลกราฟีนออกไซด์ปกคลุมผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า จนเกิดการขัดขวางการนำส่งอิเล็กตรอนที่ผิวหน้า

ไฟฟ้า [8] ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้กราฟีนออกไซด์ ความเข้มข้น 1.0%w/v ที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ดีที่สุดเป็นตัวแทนในการทดลองในการหาความสัมพันธ์ของค่าความชื้นต่อไป

### 3.4 ความสัมพันธ์ค่าความจุไฟฟ้าและความชื้นสัมพัทธ์

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและความชื้นสัมพัทธ์บนกราฟีนเซนเซอร์โดยวัดความจุไฟฟ้าบนกราฟีนเซนเซอร์เทียบกับค่าความชื้นจากเส้นโค้งการสอบเทียบของสารละลายเกลืออิ่มตัว ได้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปสมการพหุนามกำลังสอง (Polynomial 2<sup>nd</sup> power) ดังแสดงในรูปที่ 4



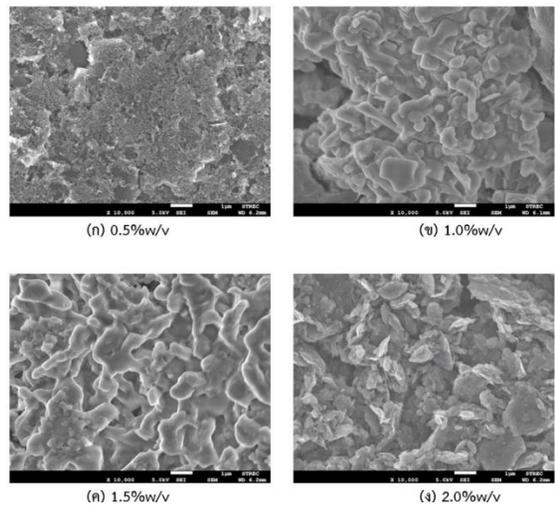
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และค่าความจุไฟฟ้า

จากรูปที่ 4 พบว่าค่าความจุไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงขึ้น ความสัมพันธ์เป็นไปสมการ  $y = 0.0013x^2 + 2.7902x - 51.17$  ที่ค่า  $R^2 = 0.971$  ปรากฏการณ์ที่สำคัญจะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะมีไฟฟ้าสถิตย์ค่อนข้างสูง การแตกตัวของประจุไฟฟ้าในช่วงนี้มีค่าต่ำ ส่งผลให้กราฟีนออกไซด์เซนเซอร์มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและไม่สามารถแยกช่วงความชื้นได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเป็นระยะที่ 2 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นผิวของวัสดุ และเร่งการแตกตัวของประจุไฟฟ้า ส่งผลให้กราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

แสดงสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และสามารถจำแนกความชื้นสัมพัทธ์ออกมาได้อย่างชัดเจน และความสามารถในการนำไฟฟ้าจะเริ่มคงที่ระยะที่ 3 เมื่อมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับสมบัติทางไฟฟ้าของแผ่นยางดิบ [12] และยางพารา [13]

### 3.5 สัณฐานวิทยาของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

กราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นแสดงสัณฐานวิทยาจากการสร้างภาพพื้นผิวจากปฏิกิริยาของลำแสงอิเล็กตรอน กับอะตอมของกราฟีนออกไซด์บนแผ่นเซนเซอร์ เมื่อใช้ความเข้มข้นของกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 2.0, และ 4.0%w/v ตามลำดับผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 5



ก) 0.5%w/v ข) 1.0%w/v ค) 1.5%w/v ง) 2.0%w/v

### รูปที่ 5 สัณฐานวิทยาของกราฟีนเซนเซอร์

จากรูปที่ 5 พบว่าผิวของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์ประกอบไปด้วยอนุภาคกราฟีนที่มีลักษณะเป็นหกเหลี่ยมซ้อนกันติดกันเป็นชั้นกระจายตัวบนเซนเซอร์จากแผ่นพลาสติก และปริมาณความหนาแน่นของอนุภาคจะมีค่ามากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกราฟีนออกไซด์สูงขึ้น และความขรุขระบนชั้นผิวอนุภาคจะเพิ่ม

มากขึ้นตามลำดับ [8] จากลักษณะดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลให้เกิดการขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้า และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านรอยต่อระหว่างแผ่นกราฟีนออกไซด์ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้าของกราฟีนออกไซด์เซนเซอร์

จากผลการศึกษานี้เมื่อใช้ความเข้มข้นของกราฟีนออกไซด์ 1.0% w/v เป็นตัวแทนในการคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะของกราฟีนที่ทำปฏิกิริยาเมื่อน้ำหนักของอนุภาคกราฟีนมีค่าเท่ากับ 0.0804 กรัม และพื้นที่ผิวของกราฟีนเซนเซอร์มีขนาด 6 ตารางมิลลิเมตร จะได้พื้นที่ผิวจำเพาะของกราฟีนที่ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 74.6269 ตารางมิลลิเมตรต่อกรัม

#### 4. สรุป

งานวิจัยนี้สามารถนำขยะฟิล์มจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอประเภทพอลิไธไมลิลโซลลอกเซนมาอัพไซเคิลเป็นอิเล็กโตรเคมีคัลเซนเซอร์ โดยใช้หลักการให้ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี เมื่อความต่างศักย์เกิดการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาของกราฟีนออกไซด์บนผิวของเซนเซอร์ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากขั้วอิเล็กโตรดกราฟีนออกไซด์เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นกราฟีนออกไซด์ 1.0% w/v เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม ทำให้อิเล็กโตรดที่ได้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวเซนเซอร์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ด้วยเครื่องวัดแอลซีอาร์ ในช่วงความถี่ทดสอบที่ 100 เฮิร์ต โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและความชื้นสัมพัทธ์เป็นไปตามสมการ  $y = 0.0013x^2 + 2.7902x - 51.17$  ที่ค่า  $R^2 = 0.971$  เป็นอิเล็กโตรเคมีคัลเซนเซอร์ที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบแกดเจ็ต (Gadget) สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับความชื้นที่ต้องการความยืดหยุ่น หรือการโค้งตัว สำหรับการใช้

งานที่หลากหลาย เช่น ด้านกีฬา เซนเซอร์ชีวภาพ และเครื่องมือตรวจสุขภาพแบบพกพา[6] เพื่อช่วยในการตรวจวัดสุขภาพของบุคคล และข้อมูลทางชีวภาพต่างๆ ซึ่งจัดเป็นอุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสุขภาพ (Electronic healthcare) ที่สามารถตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว และมีความต้องการเป็นอย่างมากตอบสนองกับการเปลี่ยนผ่านประเทศไทยเข้าสู่สังคมแห่งเทคโนโลยี ด้วยวิถีชีวิตที่เรียกว่าการใช้ชีวิตแบบอัจฉริยะ (Smart life) เพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชนต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และ ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Plastics Institute of Thailand, "Plastic wastes," [Online]. Available: [https://www.thaiplastics.org/document\\_page.php?id=1210](https://www.thaiplastics.org/document_page.php?id=1210). [Accessed: May 10, 2023].
- [2] I. Appamato, V. Harnchana, and V. Amornkitbamrung, "Development of an electrochemical sensor for the determination of carbaryl," *Burapha Science Journal*, vol. 25, no. 3, pp. 1229–1246, Sep.–Dec. 2020.
- [3] A. Beniwal, P. Ganguly, A. K. Aliyana, G. Khandelwal, and R. Dahiya, "Screen-printed graphene-carbon ink based disposable humidity sensor with wireless communication," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 374, 132731, Jan. 2023.

- [4] L. Zhou, M. Wang, Z. Liu, J. Guan, T. Li, and D. Zhang, "High-performance humidity sensor based on graphitic carbon nitride/polyethylene oxide and construction of sensor array for non-contact humidity detection," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 344, 130219, Oct. 2021.
- [5] C. H. Kwak, C. Lim, S. Kim, and Y. S. Lee, "Surface modification of carbon materials and its application as adsorbents," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol.116, pp.21-31, Dec. 2020.
- [6] H. Luo, and B. Gao, "Development of smart wearable sensors for life Healthcare," *Engineered Regeneration*, vol.2, pp.163-170, Oct.2021.
- [7] M. Srikaew, and S. Saengsuwan, "Graphene (The miracle material): Strategies for Synthesis, Properties, Development, Characterizations and Applications," *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, vol.22, no.2, pp.39-49, May-Aug.2020.
- [8] C. Damphathik, K. Kalcher, G. Raberb, A. Ortner, and A. Samphao, "Development of an Electrochemical Sensor Based on Hemin Modified Screen-Printed Carbon Electrode for the Determination of Artemisinin," *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, vol. 21, no.2, pp.171-180, May-Aug. 2019.
- [9] Z. Wan, N. T. Nguyen, Y. Gao, and Q. Li, "Laser induced graphene for biosensors," *Sustainable Materials and Technologies*, vol.25, Sep. 2020.
- [10] H.M. Z. Yousaf, S. W. Kim, G. Hassan, K. Karimov, K. H. Choi, and M. Sajid, "Highly sensitive wide range linear integrated temperature compensated humidity sensors fabricated using Electrohydrodynamic printing and electrospray deposition," *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol.308, Apr. 2020.
- [11] E. R. Radu, D. M. Panaitescu, L. Andrei, F. Ciuprina, C. A. Nicolae, A. R. Gabor, and R. Truscă, "Properties of Polysiloxane/Nanosilica Nanodielectrics for Wearable Electronic Devices," *Journal of Nanomaterials*, vol.12, Dec. 2021.
- [12] N. Thongprapai, C. Jaktharanon, P. Thongsawasdiwong, and C. Chawpradit, "A study on the correlation between the moisture and electric properties of rubber sheet," in *Proceedings of the 28th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand*, Khon Kaen, Thailand, Oct. 2014, pp. 409-415.
- [13] K. Chetpattananondh and P. Chetpattananondh, "Development of Moisture Content Measurement for rubber wood using Interdigital Electrode" *Full research paper*, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand. 2017.
- [14] R. Boonmee, A. Chitbuengphrao, T. Tangkuaram, Y. Rimcholakarn, P. Lertsuwanpisan, and A. Preechaworapun, "Quercetin Determination in Juice by Low

- Cost Electrode of Pencil Graphite Modified with Graphene Oxide,” *The Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University*, vol.14, no.2, pp. 45-54, Jul.-Dec. 2018.
- [15] A. Rivadeneyra, J. F. Salmerón M. Agudo, J. A. L. Villanueva, L. F. C. Vallvey, and A. J. Palma “Design and characterization of a low thermal drift capacitive humidity sensor by inkjet-printing,” *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol.195., pp.123-131, May 2014.
- [16] C. Zhu, L. Q. Tao, Y. Wang, K. Zheng, J. Yu, L. Xiandong, and Y. Huang “Graphene oxide humidity sensor with laser-induced graphene porous electrodes,” *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 325, Aug. 2020.
- [17] K. Zalewski, Z. Chyłek, and A. Waldemar, “A Review of Polysiloxanes in Terms of Their Application in Explosives,” *Polymer Journal*, vol 13, no.7, pp. 1080, Mar. 2021.
- [18] P.Luechar, and V.Harnchana, “Power Output Enhancement of Triboelectric Nanogenerator with Surface Modified polydimethylsiloxane,” in *Proceeding The 22nd National Graduate Research Conference*, Khon Kaen University, Thailand, 2021, pp. 1-8.
- [19] I. Appamato, V. Harnchana, and V. Amornkitbamrung, “Fabrication of triboelectric nanogenerator from natural rubber film,” in *Proceedings of The 22nd National Graduate Research Conference (Online Conference)*, Khon Kaen, Thailand, 2021, pp. 720–726.

## พฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตำรับยาแผนไทย: อัคคินิวคณะ

ชวลิต โยงรัมย์<sup>1\*</sup> ภาณุพันธ์ ศรีพันธุ์<sup>1</sup> สุวดี โชคชัยศิริ<sup>1</sup> รัมภ์รดา มีบุญญา<sup>1</sup>

อรวรรณ วงษ์อนันต์<sup>1</sup> พิมลวรรณ ศิริปัฐ<sup>2</sup> สุธิดา ดาถ้ำ<sup>2</sup> จุฑามาศ ธา<sup>2</sup> เพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง<sup>2</sup>  
และ ปัญญาดา ปัญญาทิพย์<sup>3</sup>

<sup>1</sup>วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

<sup>2</sup>คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>3</sup>คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

<sup>1</sup>111/1-3 ถนนพระราม 2 อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม 75000

<sup>2</sup>123 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>3</sup>63 ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

รับบทความ 24 สิงหาคม 2566 แก้ไขบทความ 14 ธันวาคม 2566 ตอรับบทความ 9 มกราคม 2567

### บทคัดย่อ

ตำรับยาอัคคินิวคณะเป็นตำรับยาแผนไทยที่มีส่วนผสมของ گیاهเป็นส่วนประกอบ ซึ่งเป็นตำรับยาในกลุ่มยาอายุวัฒนะที่มีมาตั้งแต่รัชสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช โดยมีสรรพคุณช่วยเจริญอาหาร บำรุงกำลัง แก้คลื่นไส้อาเจียน ซึ่งสรรพคุณดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบ แต่จนถึงปัจจุบันยังขาดข้อมูลด้านพฤกษเคมีของตำรับอัคคินิวคณะ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารพฤกษเคมีของตำรับอัคคินิวคณะด้วยเทคนิค HPLC ตลอดจนการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษาพบว่า สารสกัดเอทานอลตำรับยาอัคคินิวคณะมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $56.30 \pm 0.29$  และ  $23.39 \pm 0.44$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยวิธี DPPH และ ABTS ตามลำดับ และมีค่า FRAP เท่ากับ  $448.01 \pm 5.72$  มิลลิโมลต่อ 100 กรัมสารสกัด แต่ยังคงมีฤทธิ์น้อยกว่า Trolox ( $2506.15 \pm 13.60$  มิลลิโมลต่อ 100 กรัมสารสกัด) และพบว่ามีปริมาณแคนนาบินอยด์สัมพันธ์สูง ( $8130.00 \pm 35.59$  ไมโครกรัมต่อกรัมสารสกัด) โดยมี d9-THC สูงที่สุด อีกทั้งพบว่ามีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สัมพันธ์เท่ากับ  $1804.14 \pm 4.86$  ไมโครกรัมต่อกรัมสารสกัด นอกจากนี้ในการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่ามีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม ปริมาณแคนนาบินอยด์ที่มีความสัมพันธ์กันกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึง Gallic Acid และ *p*-Hydroxybenzoic Acid ที่มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าตำรับยาอัคคินิวคณะมีศักยภาพเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ โดยสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการใช้ตำรับยาแผนไทยไปพัฒนาสู่เภสัชภัณฑ์ได้

คำสำคัญ : พฤกษเคมี; ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ; อัคคินิวคณะ; گیاه

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 1579 5948, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: chawalit.yo@ssru.ac.th

## Phytochemical and Antioxidant Activity of Thai Traditional Recipe: Akineewakana Recipe

Chawalit Yongram<sup>1\*</sup> Panupan Sripan<sup>1</sup> Suwadee Chokchaisiri<sup>1</sup> Rumrada Meeboonya<sup>1</sup>  
Orawan Wonganan<sup>1</sup> Pimolwan Siripru<sup>2</sup> Suthida Datham<sup>2</sup> Juthamat Ratha<sup>2</sup>  
Ploenthip Puthongking<sup>2</sup> and Panyada Panyatip<sup>3</sup>

<sup>1</sup>College of Allied Health Sciences, Suan Sunandha Rajabhat University

<sup>2</sup>Faculty of Pharmaceutical Sciences, Khon Kaen University

<sup>3</sup>Faculty of Pharmacy, Srinakharinwirot University

<sup>1</sup>111/1-3 Rama 2 Road, Muang, Samut Songkhram, 75000

<sup>2</sup>123 Mittraphap Road, Muang, Khon Kaen, 40002

<sup>3</sup>63 Rangsit-Nakhon Nayok Road, Ongkharak, Nakhon Nayok, 26120

---

*Received 24 August 2023; Revised 14 December 2023; Accepted 9 January 2024*

### Abstract

Akineewakana recipe is a Thai traditional medicine that has cannabis as an ingredient which is an elixir medicine group in King Narai the Great. This recipe was used for appetizing, analeptic and antiemesis. These properties are related to the type and quantitative of chemical constituents. Currently, Akineewakana recipe was lack data of phytochemicals. Therefore, this research aims to study the type and phytochemical content by HPLC technique, also the antioxidant activity of Akineewakana recipe was determined. The results showed that the ethanolic Akineewakana recipe extract demonstrated the IC<sub>50</sub> value of 56.30±0.29 and 23.39±0.44 µg/ml by DPPH and ABTS assay, respectively. The FRAP value was 448.01±5.72 mmol/100 g Extract. However, this recipe showed lower activity than Trolox (2506.15±13.60 mmol/100 g Extract). The cannabinoid analysis showed a high relative cannabinoid abundance (8130.00±35.59 µg/g Extract) which is d9-THC as the highest content. In addition, it found the relative phenolic and flavonoid abundance as 1804.14±4.86 µg/g Extract. Moreover, the correlation analysis showed that the total phenolic and flavonoid and cannabinoid content correlated with antioxidant activity which is gallic acid and *p*-hydroxybenzoic acid showed a high correlation with antioxidant significantly. The result suggested that Akineewakana recipe has the potential to be an antioxidant agent. Moreover, this data was used to support the usage of Thai traditional medicine and development of the pharmaceutical products.

**Keywords :** Phytochemical; Antioxidant; Akineewakana; Cannabis

---

\* *Corresponding Author. Tel.: +668 1579 5948, E-mail Address: chawalit.yo@ssru.ac.th*

## 1. บทนำ

ตามยุทธศาสตร์ขององค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2557-2566 มีเป้าหมายเพื่อเสริมสร้างบทบาทของยาแผนโบราณ โดยเน้นความสำคัญของการส่งเสริมและการใช้ประโยชน์จากพืชสมุนไพรในระบบสุขภาพของประเทศสมาชิก [1] ซึ่งการแพทย์แผนไทย เป็นระบบการแพทย์แบบองค์รวมที่เน้นการรักษาสมดุลของร่างกายของธาตุทั้ง 4 ได้แก่ ธาตุดิน ธาตุน้ำ ธาตุลม และธาตุไฟ แต่เมื่อร่างกายเกิดการสูญเสียสมดุลนี้ไปจึงทำให้เกิดความเจ็บป่วยขึ้นได้ ดังนั้นการรักษาสมดุลของธาตุเหล่านี้จึงเป็นหลักการในการป้องกันโรคที่เกิดขึ้นได้ [2] ในประเทศไทยมีความหลากหลายทางชีวภาพเป็นอย่างมาก โดยมีการใช้พืชสมุนไพรทั้งพืชชนิดเดียวหรือพืชหลายชนิดมาผสมใช้ในการรักษาโรคอย่างแพร่หลาย โดยจะนำมาจดบันทึกการนำสมุนไพรขึ้นเป็นตำรับยาที่มีประสิทธิภาพ [3]

อัคคินิวคณา (Akineewakana) เป็นตำรับยาไทยที่มีบันทึกไว้ในคัมภีร์ธาตุพระนารายณ์ซึ่งกล่าวไว้ว่า “ให้เอา گی้อชญา (*Cannabis sativa*) ยิงโสม (*Panax ginseng*) สิ่งละ 1 ส่วน เปลือกอบเชย (*Cinnamomum verum*) ใบกระวาน (*Laurus nobilis*) กานพลู (*Syzygium aromaticum*) สะค้าน (*Piper interruptum*) สิ่งละ 2 ส่วน ชิงแห้ง (*Zingiber ligulatum*) 3 ส่วน รากเจตมูลเพลิง (*Plumbago indica*) ตีป्ली (*Piper longum*) สิ่งละ 4 ส่วน น้ำตาลกรวด 6 ส่วน กระทบเป็นจูน น้ำผึ้งรวง เป็นกระสาย บดเสวยหนัก 1 สลึง แก้อาเจียน 4 ประการด้วย ดิกขาคินีกำเรป แลวิสมาคินี มันทาคินีอันทุพพล จึงคลีนเทียน อาเจียน มิให้เสวยพระกระยาหารได้ ให้จำเริญพระธาตุทั้ง 4 ให้เสวยพระกระยาหาร เสวยมีรสชุกกำลัง ยิ่งนัก ข้าพระพุทธเจ้า ขุนประสิทธิโอสถจิน ประกอบทูลเกล้าฯ ถวาย ครั้งสมเด็จพระนารายณ์เป็นเจ้าเมืองลพบุรี เสวยเพลเข้าอตราตินักแลฯ” ซึ่งตำรับยานี้จัดอยู่ในกลุ่มยาบำรุง ยาอายุวัฒนะ ที่มีสรรพคุณช่วยเจริญอาหาร บำรุงกำลัง แก้อ่อนแอที่เกิดจากการย่อย

อาหารที่ผิดปกติ [4] พืชที่เป็นส่วนประกอบในตำรับยาอัคคินิวคณาได้แก่ گی้อชญาที่เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระมีสารองค์ประกอบหลักเป็นสารกลุ่มแคนนาบินอยด์ [5] โสมมีความสามารถในการลดอาการของโรคบางชนิดผ่านกลไกต้านอนุมูลอิสระในเซลล์และสัตว์ทดลอง [6] อบเชยมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบในหนูทดลอง [7] กระวานมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดด้วยวิธี DPPH [8] สะค้านและตีป्लीมีฤทธิ์ป้องกันภูมิแพ้และยับยั้งไนตริกออกไซด์ [9] ชิงแห้งสามารถยับยั้งเซลล์มะเร็ง CL-6, HepG2, Hep-2 ได้ดี [10] และเจตมูลเพลิงสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลได้ดี [11] ซึ่งจะเห็นได้ว่าพืชในตำรับนี้มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลหรืออะตอมที่ไม่เสถียรที่มีอิเล็กตรอนอิสระ โดยอนุมูลอิสระจะเป็นต้องจับกับสารอื่นเพื่อทำให้มีความเป็นกลาง ซึ่งอนุมูลอิสระมีหลายชนิดได้แก่ อนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ ( $O_2^-$ ) อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ( $OH^{\cdot}$ ) อนุมูลอิสระไนตริกออกไซด์ ( $NO^{\cdot}$ ) ลิพิดเปอร์ออกไซด์ ( $LO^{\cdot}$ ) ลิพิดอัลคอกซิล ( $LOO^{\cdot}$ ) และลิพิดเปอร์ออกไซด์ ( $LOOH$ ) รวมไปถึงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และออกซิเจนซิงเกิล ( $ROS$ ) เป็นต้น ในการยับยั้งอนุมูลอิสระสามารถใช้สารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้อนุมูลอิสระเสถียรขึ้น [12] โดยพบว่าในพืชเป็นแหล่งของสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติชนิดต่างๆ เช่น อัลคาลอยด์ ไกลโคไซด์ ลิกนิน และแทนนิน เป็นต้น รวมไปถึงฟีนอลและฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารที่พบมากในผลไม้ ผัก และพืชสมุนไพรชนิดต่างๆ ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ [13] และยังสามารถใช้เป็นสารชะลอความชราได้ [14] โดยพืชสมุนไพรส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นยาพื้นบ้านสำหรับการรักษาโรคที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันและโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีและมีประสิทธิภาพ [15] นอกจากนี้แล้วยังไม่มีรายงานที่เกี่ยวข้องกับตำรับยาอัคคินิวคณาในการต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์

ด้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ABTS และ FRAP การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และแคตนิบินนอยด์ ด้วยเทคนิค HPLC รวมไปถึงการศึกษาความสัมพันธ์ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกับองค์ประกอบทางเคมีในตำรับยาอัคคินี้วคณ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การเตรียมตำรับยาและการสกัด

ตำรายัคคินี้วคณใช้ผงเครื่องยาได้แก่ กัญชา 1.85 กรัม โสม 1.85 กรัม เปลือกอบเชย 3.70 กรัม ใบกระวาน 3.70 กรัม กานพลู 3.70 กรัม สะค้าน 3.70 กรัม ชิงแห้ง 5.55 กรัม เจตมูลเพลิง 7.40 กรัม ดีปลี 7.40 กรัม และน้ำตาลกรวด 11.11 กรัม [4] ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำตำรับยาอัคคินี้วคณ 20 กรัม แล้วเติม 95% เอทานอลปริมาตร 100 มิลลิลิตร และนำมาสกัดด้วยเทคนิคคลื่นเสียงความถี่สูง (sonicate) เป็นเวลา 30 นาที (สกัดซ้ำ 3 ครั้ง) นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำสารละลายที่ได้ไประเหยให้แห้งด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ จะได้ร้อยละผลผลิตสารสกัดเท่ากับ 11.45

### 2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

#### 2.2.1 การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะใช้วิธี Folin-Ciocalteu ในการทดสอบจะผสมสารตัวอย่าง 20 ไมโครลิตรกับ Folin-Ciocalteu ร้อยละ 10 จำนวน 100 ไมโครลิตร ในภาตหลอดชนิด 96 หลุม บ่มเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติม Sodium Carbonate ร้อยละ 7 จำนวน 80 ไมโครลิตรบ่มเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 725 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader ผลที่ได้จะแสดงผลในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg GAE/g Extract) [16]

#### 2.2.2 การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม

การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดในแต่ละตัวอย่างจะใช้ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายตัวอย่างผสมกับ  $AlCl_3$  ร้อยละ 2 ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ในภาตหลอดชนิด 96 หลุม บ่มเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader โดยแสดงผลในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของเคอควิทีนต่อกรัมสารสกัด (mg QE/g Extract) [17]

#### 2.2.3 การหาปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ด้วย

##### เทคนิค HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญด้วยเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) ด้วยเครื่อง HPLC (Shimadzu Prominence-I LC-2030C 3D; Kyoto, Japan) ด้วย Column Unisol C18, 5  $\mu$ m Particle Size, 250x4.6 mm (Torrance, Ca, USA) โดยใช้ Mobile Phase ที่เป็นส่วนผสมระหว่าง Acetic Acid ร้อยละ 1 (โดยปริมาตร) ในน้ำปราศจากไอออน (Solvent A) และ Acetonitrile (Solvent B) ซึ่งใช้ระบบ Gradient Program เริ่มจาก 0-5 นาที, Solvent B ร้อยละ 5; จาก 5-15 นาที, Solvent B ร้อยละ 9; จาก 15-22 นาที, Solvent B ร้อยละ 11; จาก 22-38 นาที, Solvent B ร้อยละ 18; จาก 38-43 นาที, Solvent B ร้อยละ 23; จาก 43-44 นาที, Solvent B ร้อยละ 90; จาก 44-45 นาที, Solvent B ร้อยละ 80; จาก 45-55 นาที, Isocratic ที่ Solvent B ร้อยละ 80; จาก 55-65 นาที, Re-Equilibration ที่ Solvent B ร้อยละ 5; Linear Gradient จาก 65-70 นาที Solvent B ร้อยละ 5 ที่อัตราการไหล 0.8 มิลลิลิตรต่อ นาที อุณหภูมิคอลัมน์ 40 องศาเซลเซียส และฉีดสารตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยใช้ UV-diode Array Detector ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร สำหรับสารกลุ่ม Hydroxybenzoic Acids และ 320 นาโนเมตร สำหรับสารกลุ่ม Hydroxycinnamic Acids รวมไปถึง

370 นาโนเมตร สำหรับสารกลุ่ม Flavonols ซึ่ง HPLC Chromatogram ของสารตัวอย่างจะถูกเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่เวลาเดียวกัน [18]

## 2.2.4 การหาปริมาณแคนนาบินอยด์ด้วยเทคนิค HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณแคนนาบินอยด์ด้วยเครื่อง HPLC (Shimadzu Prominence-i LC-2030C 3D; Kyoto, Japan) ด้วย Column Shimadzu NexLeaf CBX for Potency C18, 2.7  $\mu\text{m}$  Particle Size, 150 $\times$ 4.6 mm (Columbia, MD, USA) โดยใช้ Mobile Phase ที่เป็นส่วนผสมระหว่าง  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ร้อยละ 0.085 (โดยปริมาตร) ในน้ำ (Solvent A) และ  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ร้อยละ 0.085 (โดยปริมาตร) ใน Acetonitrile (Solvent B) ซึ่งใช้ระบบ Gradient Program เริ่มจาก 0-3 นาที, Solvent B ร้อยละ 70; จาก 3-7 นาที, Solvent B ร้อยละ 85; จาก 7-8 นาที, Solvent B ร้อยละ 95; จาก 8-12 นาที, Solvent B ร้อยละ 70 ที่อัตราการไหล 1.6 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิคอลัมน์ 35 องศาเซลเซียส และฉีดสารตัวอย่างปริมาตร 5 ไมโครลิตร โดยใช้ UV-diode Array Detector ที่ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร ซึ่ง HPLC Chromatogram ของสารตัวอย่างจะถูกเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแคนนาบินอยด์ที่เวลาเดียวกัน [19]

## 2.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

### 2.3.1 วิธี DPPH radical-scavenging

ผสมสารสกัด 100 ไมโครลิตร ที่ความเข้มข้นต่างๆ (ความเข้มข้นสุดท้าย 10-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) กับสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 200 มิลลิโมลาร์ จำนวน 100 ไมโครลิตร ในภาดหลุดชนิด 96 หลุม (96 Well Plate) โดยทำการบ่มเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืด แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate Reader โดยใช้สารโทรลอกซ์

(Trolox) เป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวก คำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งของ DPPH ดังสมการที่ (1) และค่าความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งได้ร้อยละ 50 (50% Inhibition Concentration;  $\text{IC}_{50}$ ) [20]

$$\text{DPPH inhibition (\%)} = \frac{\text{ABS}_{\text{control}} - \text{ABS}_{\text{sample}}}{\text{ABS}_{\text{control}}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

$\text{ABS}_{\text{control}}$  = ค่าดูดกลืนแสงของกลุ่มควบคุม

$\text{ABS}_{\text{sample}}$  = ค่าดูดกลืนแสงของกลุ่มตัวอย่าง

### 2.3.2 วิธี ABTS radical-scavenging

2,2'-Azinobis-(3-Ethylbenzthiazolin-6-Sulfonic Acid) (ABTS) จะถูกทำให้เป็นอนุมูลอิสระด้วย Potassium Persulfate (2.45 มิลลิโมลาร์) ในน้ำกลั่น บ่มเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ก่อนการใช้งาน ผสมสารตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ 100 ไมโครลิตร กับสารละลาย 7 มิลลิโมลาร์  $\text{ABTS}^{+\cdot}$  100 ไมโครลิตร ในภาดหลุดชนิด 96 หลุม แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนที่ 734 nm ด้วยเครื่อง Microplate Reader และใช้สาร Trolox เป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวก คำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งของ ABTS ดังสมการที่ (2) และค่า  $\text{IC}_{50}$  [20]

$$\text{ABTS inhibition (\%)} = \frac{\text{ABS}_{\text{control}} - \text{ABS}_{\text{sample}}}{\text{ABS}_{\text{control}}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

$\text{ABS}_{\text{control}}$  = ค่าดูดกลืนแสงของกลุ่มควบคุม

$\text{ABS}_{\text{sample}}$  = ค่าดูดกลืนแสงของกลุ่มตัวอย่าง

### 2.3.3 วิธี Ferric reducing/antioxidant power (FRAP)

สารละลาย FRAP ถูกเตรียมโดยการผสมระหว่าง 300 มิลลิโมลาร์ Acetate Buffer pH 3.6, 10 มิลลิโมลาร์ TPTZ ใน 40 มิลลิโมลาร์ HCl และ 20 มิลลิโมลาร์  $\text{FeCl}_3$  ในอัตราส่วน 10:1:1 โดยปริมาตร

หลังจากนั้นนำสารตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ที่ความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย FRAP 80 ไมโครลิตร ในสภาพหลอดชนิด 96 หลุม บ่มเป็นเวลา 4 นาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 nm ด้วยเครื่อง Microplate Reader โดยใช้สาร Trolox เป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวก ผลที่ได้จะแสดงผลในหน่วยมิลลิโมลต่อ 100 กรัมสารสกัด (mmol/100 g Extract) [21]

## 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลต่างๆ จะถูกแสดงในรูปแบบ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจะใช้ one-way ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Tukey's test ของปริมาณสารสำคัญและความแตกต่างด้วยวิธี t-Test ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ ) รวมไปถึงการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Pearson's Correlation ด้วยโปรแกรม SPSS 26.0

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 องค์ประกอบทางเคมี

#### 3.1.1 ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม

จากการศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดตำรับยาอัครินิวคณโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Gallic Acid โดยมีสมการเส้นตรงเท่ากับ  $y = 0.0351x - 0.0334$  และมีค่า  $R^2 = 0.9987$  พบว่าสารสกัดตำรับยามีปริมาณฟีนอลิกรวมเท่ากับ  $83.36 \pm 1.76$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และการศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Quercetin โดยมีสมการเส้นตรงเท่ากับ  $y = 0.0375x + 0.0831$  และมีค่า  $R^2 = 0.9990$  พบว่ามีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ  $23.53 \pm 0.25$  มิลลิกรัมสมมูลของเคอซิทินต่อกรัมสารสกัด

#### 3.1.2 ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ด้วยเทคนิค HPLC

ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก 9 ชนิด ได้แก่ Gallic Acid, Protocatechuic Acid, *p*-Hydroxybenzoic Acid, Vanillic Acid, Syringic Acid, Chlorogenic Acid, Sinapinic Acid, *p*-Coumaric Acid และ Ferulic Acid และฟลาโวนอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ Rutin และ Quercetin ซึ่งสารทั้ง 11 ชนิดเป็นสารที่พบในชีววิถีการสังเคราะห์สารทุติยภูมิใน Shikimate Biosynthetic Pathway [22] พบว่าตำรับยาอัครินิวคณมีปริมาณฟีนอลิกสัมพันธ์เท่ากับ  $1804.14 \pm 4.86$  ไมโครกรัมต่อกรัมสารสกัด โดยพบว่ามีปริมาณฟีนอลิกอยู่ในช่วง 102.93 ถึง 392.67 ไมโครกรัมต่อกรัมสารสกัด ซึ่งมีปริมาณ Gallic Acid มากที่สุด ( $392.67 \pm 1.92$  ไมโครกรัมต่อกรัมสารสกัด) แต่ตรวจไม่พบ Chlorogenic Acid และ Sinapinic Acid ในตำรับยานี้ดังตารางที่ 1 ซึ่งสารในกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีความสำคัญในการยับยั้งอนุมูลอิสระจากความสามารถในการให้อะตอมของไฮโดรเจนให้กับอนุมูลอิสระ [23]

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ด้วยเทคนิค HPLC

| สารสำคัญ                      | ปริมาณฟีนอลิก และ                        |  |
|-------------------------------|--|--|
|                               | ฟลาโวนอยด์<br>( $\mu\text{g/g}$ Extract) |  |
| Gallic Acid                   | $392.67 \pm 1.92^a$                      |  |
| Protocatechuic Acid           | $143.59 \pm 0.45^f$                      |  |
| <i>p</i> -Hydroxybenzoic Acid | $110.44 \pm 1.35^h$                      |  |
| Vanillic Acid                 | $213.38 \pm 0.78^d$                      |  |
| Syringic Acid                 | $102.93 \pm 0.50^i$                      |  |
| Chlorogenic Acid              | ND                                       |  |
| Sinapinic Acid                | ND                                       |  |
| <i>p</i> -Coumaric Acid       | $125.70 \pm 0.08^g$                      |  |
| Ferulic Acid                  | $146.83 \pm 0.33^e$                      |  |
| Rutin                         | $268.80 \pm 0.97^c$                      |  |
| Quercetin                     | $299.79 \pm 0.67^b$                      |  |
| ปริมาณสัมพันธ์                | $1804.14 \pm 4.86$                       |  |

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญแต่ละชนิดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ND คือตรวจไม่พบ

### 3.1.3 ปริมาณแคนนาบินอยด์ด้วยเทคนิค HPLC

การวิเคราะห์ปริมาณแคนนาบินอยด์ในสารสกัดตำรับยาอัครคินิวคณะ 10 ชนิด ได้แก่ Cannabidivarin (CBDV), Cannabidiolic Acid (CBDA), Cannabigerolic Acid (CBGA), Cannabigerol (CBG), Cannabidiol (CBD), Tetrahydrocannabivarin (THCV), Cannabinol (CBN), Delta-9-tetrahydrocannabinol (d9-THC), และ Tetrahydrocannabinolic Acid (THCA) Cannabichromene (CBC) พบว่ามีปริมาณแคนนาบินอยด์สัมพัทธ์เท่ากับ 8130.00±35.59 ไมโครกรัมต่อกรัมสารสกัด โดยพบ CBDV, CBGA, CBN, d9-THC และ CBC ที่มีปริมาณแสดงดังตารางที่ 2 โดยที่มีปริมาณ d9-THC สูงที่สุดเท่ากับ 5080.00±32.66 ไมโครกรัมต่อกรัมสารสกัด โดยมีรายงานว่ d9-THC สามารถยับยั้งความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้ [24] และฤทธิ์ด้านการอักเสบที่ดี [25] อีกทั้งมีการรายงานว่สารในกลุ่มแคนนาบินอยด์ได้แก่ CBG, CBD, d9-THC, CBN, CBGA CBDA และ d9-THCA มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี เมื่อทดสอบด้วยวิธี ABTS, DPPH, ORAC, Beta-Carotene CUPRAC และ FRAP [26]

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณแคนนาบินอยด์ด้วยเทคนิค HPLC

| สารสำคัญ | ปริมาณแคนนาบินอยด์ (µg/g Extract) |
|----------|-----------------------------------|
| CBDV     | 1000.00±0.00 <sup>c</sup>         |
| CBDA     | ND                                |
| CBGA     | 396.67±4.71 <sup>e</sup>          |
| CBG      | ND                                |
| CBD      | ND                                |
| THCV     | ND                                |
| CBN      | 563.33±9.43 <sup>d</sup>          |
| d9-THC   | 5080.00±32.66 <sup>a</sup>        |
| CBC      | 1090.00±0.00 <sup>b</sup>         |

| สารสำคัญ       | ปริมาณแคนนาบินอยด์ (µg/g Extract) |
|----------------|-----------------------------------|
| THCA           | ND                                |
| ปริมาณสัมพัทธ์ | 8130.00±35.59                     |

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารสำคัญแต่ละชนิดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ND คือตรวจไม่พบ

### 3.2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตำรับยาอัครคินิวคณะด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP พบว่าสารสกัดตำรับยาอัครคินิวคณะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ด้วยค่า IC<sub>50</sub> เท่ากับ 56.30±0.29 และ 23.39±0.44 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังตารางที่ 3 และการวัดความสามารถในการรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe<sup>3+</sup> (FRAP) พบว่าตำรับยาอัครคินิวคณะมีค่า FRAP เท่ากับ 448.01±5.72 มิลลิโมลต่อ 100 กรัมสารสกัด แต่อย่างไรก็ตามฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตำรับยาอัครคินิวคณะยังคงมีฤทธิ์น้อยกว่า Trolox ที่เป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวก เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS พบว่าตำรับยาอัครคินิวคณะมีฤทธิ์ที่ตีมาก (Strongly Active; IC<sub>50</sub> 10-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) [27] และจัดอยู่ในฤทธิ์ปานกลางเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH (Moderately Active; IC<sub>50</sub> >50-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) [27] นอกจากนี้การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตำรับยาปลุกไฟธาตุที่เป็นยาอายุวัฒนะโดยมีค่า ED<sub>50</sub> เท่ากับ 83.59±0.58 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร [28] และตำรับยาประสะขมิ้นอ้อย ซึ่งมีค่า ED<sub>50</sub> เท่ากับ 69.05±3.85 และ 88.48±1.94 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยวิธี DPPH และ ABTS ตามลำดับ [29] ซึ่งพบว่าในการศึกษานี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าตำรับยาดังกล่าว เมื่อวิเคราะห์ตำรับยาอัครคินิวคณะโดยมีเจตมูลเพลิง 4 ส่วน และติป्ली 4 ส่วน เป็นตัวยาลึกซึ่งพบว่า เจตมูลเพลิงมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ดีด้วยค่า ED<sub>50</sub>

เท่ากับ  $24.58 \pm 1.12$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ในดีปซี ยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อย ( $ED_{50} > 100$ ) [30] อย่างไรก็ตามสมุนไพรทุกตัวมีสารสำคัญที่มีความสามารถช่วยในการส่งเสริมหรือกระตุ้นออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในตำรับนี้ได้

**ตารางที่ 3** ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดตำรับยาอัครคินีวคณ

| วิธี  | สารสกัดตำรับยาอัครคินีวคณ | Trolox                |
|---|---------------------------|-----------------------|
| DPPH; $IC_{50}$ ( $\mu\text{g/ml}$ )              | $56.30 \pm 0.29^b$        | $4.89 \pm 0.03^a$     |
| ABTS; $IC_{50}$ ( $\mu\text{g/ml}$ )              | $23.39 \pm 0.44^b$        | $2.97 \pm 0.06^a$     |
| FRAP<br>( $\text{mmol}/100 \text{ g}$<br>Extract) | $448.01 \pm 5.72^b$       | $2506.15 \pm 13.60^a$ |

**หมายเหตุ:** ตัวอักษรภาษาอังกฤษหมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับยากับ Trolox ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 3.3 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (เปอร์เซ็นต์การยับยั้งของ DPPH, ABTS และค่า FRAP) กับปริมาณสารสำคัญที่ตรวจพบในตำรับยาอัครคินีวคณ แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า DPPH มีความสัมพันธ์กับปริมาณ Gallic Acid อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า  $r = 0.999$  ซึ่ง Gallic Acid เป็นสารสำคัญที่ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านมะเร็ง และต้านการอักเสบ อีกทั้งยังเป็นสารที่ไม่มีความเป็นพิษ [31] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า Gallic Acid มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ DPPH [32] อีกทั้ง DPPH ยังสัมพันธ์กับปริมาณ *p*-Hydroxybenzoic Acid, *p*-Coumaric Acid, Ferulic Acid และ d9-THC ในของส่วนปริมาณ TPC, TFC, Protocatechuic Acid, CBDV และ CBC มีความสัมพันธ์กับกับ ABTS นอกจากนี้แล้ว ปริมาณ Syringic Acid, Vanillic Acid, Rutin, Quercetin, CBDV และ CBC มีความสัมพันธ์กับกับ

FRAP ดังตารางที่ 4 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารสำคัญอื่นๆ มีความสัมพันธ์กันต่ำกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ได้ นอกจากนี้มีรายงานว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสัมพันธ์กับปริมาณสารในกลุ่มฟีนอลิก [15] ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ รวมไปถึงปริมาณแคนนาบินอยด์ในตำรับยาอัครคินีวคณ เช่นเดียวกัน

**ตารางที่ 4** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของตำรับยาอัครคินีวคณ

| พารามิเตอร์                   | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) |         |        |
|-------------------------------|-------------------------------|---------|--------|
|                               | DPPH                          | ABTS    | FRAP   |
| TPC                           | -0.976                        | 0.902   | 0.304  |
| TFC                           | -0.976                        | 0.902   | 0.305  |
| Gallic Acid                   | 0.999*                        | -0.815  | -0.137 |
| Protocatechuic Acid           | -0.569                        | 0.955   | 0.870  |
| <i>p</i> -Hydroxybenzoic Acid | 0.827                         | -0.998* | -0.636 |
| Vanillic Acid                 | 0.643                         | -0.034  | 0.704  |
| Syringic Acid                 | 0.440                         | 0.207   | 0.854  |
| <i>p</i> -Coumaric Acid       | 0.954                         | -0.935  | -0.384 |
| Ferulic Acid                  | 0.756                         | -0.192  | 0.583  |
| Rutin                         | 0.390                         | 0.261   | 0.882  |
| Quercetin                     | 0.106                         | 0.530   | 0.981  |
| CBDV                          | -0.655                        | 0.981   | 0.812  |
| CBGA                          | 0.655                         | -0.981  | -0.812 |
| CBN                           | 0.655                         | -0.981  | -0.812 |
| d9-THC                        | 0.756                         | -0.192  | 0.583  |
| CBC                           | -0.655                        | 0.981   | 0.812  |

**หมายเหตุ:** \* หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 4. สรุป

ตำรับยาอัครคินีวคณมีศักยภาพเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่าปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์

และแคนนาบินอยด์สัมพันธ์สูง ซึ่งมีปริมาณ Gallic Acid, Quercetin, Rutin, Vanillic Acid, CBDV, CBGA, CBN, CBC สูงและมี d9-THC สูงสุดที่เป็นสารประกอบหลัก (Major Compound) นอกจากนี้แล้วยังพบว่า ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม ปริมาณฟีนอลิก และปริมาณแคนนาบินอยด์ที่มีความสัมพันธ์กันกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยที่ Gallic Acid และ *p*-Hydroxybenzoic Acid มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากผลการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่าตำรับยาอค์คินิวคณจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สนับสนุนการใช้ตำรับยาแผนไทย และสามารถนำไปพัฒนาให้เป็นเภสัชภัณฑ์ที่ดีได้ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ยาที่มีส่วนผสมของกัญชาต้องอยู่ในความควบคุมของผู้ที่มีใบประกอบโรคศิลปะ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สนับสนุนงบประมาณวิจัยในโครงการนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2565 (เลขที่สัญญา 11862/2566) จากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ขอขอบคุณสาขาวิชา กัญชาเวชศาสตร์ วิทยาลัยสหเวชศาสตร์ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิจัย บริษัท ธาราเธรา คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่อนุเคราะห์ให้ใบกัญชาในการทำวิจัย ขอขอบคุณ นายพีรพัฒน์ สุรศิริพงษ์ และนายภัทรพล นวลผ่อง ที่ช่วยในการเตรียมตัวอย่างสารสกัดตำรับยาอค์คินิวคณะ

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Sánchez, E. G. Burgos, I. Iglesias, R. Lozano, and M. P. G. Serranillos, "Current uses and knowledge of medicinal plants in the autonomous community of Madrid (Spain): a descriptive cross-sectional study," *BMC Complementary Medicine and Therapies*, vol. 20, no. 306, pp. 1-13, Oct. 2020.
- [2] N. Lumlerdkij, R. Boonrak, S. Boornasubkajorn, P. Akarasereenont, and M. Heinrich, "In vitro protective effects of plants frequently used traditionally in cancer prevention in Thai traditional medicine: An ethnopharmacological study," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 250, pp. 112409, Mar. 2020.
- [3] W. Kitdamrongtham, A. Manosroi, H. Akazawa, A. Gidado, P. Stienrut, W. Manosroi, W. Lohcharoenkal, T. Akihisa, and J. Manosroi, "Potent anti-cervical cancer activity: synergistic effects of Thai medicinal plants in recipe N040 selected from the MANOSROI III database," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 149, no. 1, pp. 288-296, Aug. 2013.
- [4] Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, *National Thai Traditional Remedies with Ganja*, 1st ed. Bangkok: Samchareon Phanich (Bangkok) Co., Ltd. Press, 2021.
- [5] A. S. Krzemień, S. Sip, P. Szulc, and J. C. Piontek, "Determining antioxidant activity of cannabis leaves extracts from different varieties-unveiling nature's treasure trove," *Antioxidants*, vol. 12, no. 7, pp. 1390, Jul. 2023.
- [6] M. N. Morshed, J. C. Ahn, R. Mathiyalagan, E. J. Rupa, R. Akter, M. R. Karim, D. H. Jung, D.U. Yang, D. C. Yang, and S. K. Jung, "Antioxidant activity of panax ginseng to

- regulate ROS in various chronic diseases,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 5, pp. 2893, Feb. 2023.
- [7] S. Pagliari, M. Forcella, E. Lonati, G. Sacco, F. Romaniello, P. Rovellini, P. Fusi, P. Palestini, L. Campone, M. Labra, A. Bulbarelli, and I. Bruni, “Antioxidant and anti-inflammatory effect of cinnamon (*Cinnamomum verum* J. Presl) bark extract after in vitro digestion simulation,” *Foods*, vol. 12, no. 3, pp. 452, Jan. 2023.
- [8] I. Mssillou, A. Agour, A. E. Ghouzi, N. Hamamouch, B. Lyoussi, and E. Derwich, “Chemical composition, antioxidant activity, and antifungal effects of essential oil from *Laurus nobilis* L. flowers growing in Morocco,” *Journal of Food Quality*, vol. 2020, pp. 1-8, Dec. 2020.
- [9] D. Daorueang, “Antioxidant activity and effect of sa-khan (*Piper*, *Piperaceae*) on the normal human proximal tubular epithelial cell line,” *Naresuan University Journal: Science and Technology*, vol. 28, no. 4, pp. 29-35, Jun. 2020.
- [10] W. Mahavorasirikul, V. Viyanant, W. Chaijaroenkul, A. Itharat, and K. Na-Bangchang, “Cytotoxic activity of Thai medicinal plants against human cholangiocarcinoma, laryngeal and hepatocarcinoma cells in vitro,” *BMC Complementary and Alternative Medicine*, vol. 28, no. 10, pp. 55, Sep. 2010.
- [11] B. Eldhose, V. Notario, and M. S. Latha, “Evaluation of phytochemical constituents and in vitro antioxidant activities of *Plumbago indica* root extract,” *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 2, no. 4, pp. 157-161, May. 2013.
- [12] S. Kalam, R. Singh, A. Mani, J. Patel, F. N. Khan, and A. Pandey, “Antioxidants: elixir of life,” *International Multidisciplinary Research Journal*, vol. 2, no.1, pp.18-34, Dec. 2012.
- [13] N. Phuyal, P. K. Jha, P. P. Raturi, and S. Rajbhandary, “Total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activities of fruit, seed, and bark extracts of *Zanthoxylum armatum* DC,” *The Scientific World Journal*, vol. 2020, pp. 1-7, Mar. 2020.
- [14] K. Chaikhong, S. Chumpolphant, P. Rangsinth, C. Sillapachaiyaporn, S. Chuchawankul, T. Tencomnao, and A. Prasansuklab, “Antioxidant and anti-skin aging potential of selected Thai plants: in vitro evaluation and in silico target prediction,” *Plants*, vol. 12, no. 1, pp. 65, Dec. 2022.
- [15] G. J. Molole, A. Gure, and N. Abdissa, “Determination of total phenolic content and antioxidant activity of *Commiphora mollis* (Oliv.) Engl. Resin,” *BMC Chemistry*, vol. 16, pp. 48, Jun. 2022.
- [16] P. Panyatip, T. Padumanonda, C. Yongram, T. Kasikorn, B. Sungthong, and P. Puthongking, “Impact of tea processing on tryptophan, melatonin, phenolic and flavonoid contents in mulberry (*Morus alba* L.) leaves: quantitative analysis by LC-

- MS/MS,” *Molecules*, vol. 27, no.15, pp. 4979, Aug. 2022.
- [17] C. Yongram, S. Thapphasaraphong, P. Mahakunakorn, B. Sungthong, R. Anorach, C. Phiphatwatcharaded, S. Katekaew, and P. Puthongking, “Inhibitory effect of leaf, bark and twig of *Dipterocarpus alatus* on the inflammation mediators, nitric oxide, PGE<sub>2</sub>, IL-1 $\beta$  and TNF- $\alpha$  in Macrophage RAW 264.7,” *Tropical Journal of Natural Product Research*, vol. 5, no. 2, pp. 299-303, Feb. 2021.
- [18] P. Siriparu, P. Panyatip, T. Pota, J. Ratha, C. Yongram, T. Srisongkram, B. Sungthong, and P. Puthongking, “Effect of germination and illumination on melatonin and its metabolites, phenolic content, and antioxidant activity in mung bean sprouts,” *Plants*, vol. 11, no. 21, pp. 2990, Nov. 2022.
- [19] X. Chen, H. Deng, J. A. Heise, D. P. Puthoff, N. B. Abboud, H. Yu, and J. Peng, “Contents of cannabinoids in hemp varieties grown in Maryland,” *ACS Omega*, vol. 6, no. 47, pp. 32186-32197, Nov. 2021.
- [20] C. Yongram, P. Panyatip, P. Siriparu, J. Ratha, B. Sungthong, S. Tadtong, and P. Puthongking, “Influence of maturity stage on tryptophan, phenolic, flavonoid, and anthocyanin content, and antioxidant activity of *Morus alba* L. fruit,” *Rasayan journal of chemistry*, vol. 15, no. 3, pp. 1693-1701, Jul-Sep. 2022.
- [21] I. F. F. Benzie and J. J. Strain, “The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay,” *Analytical Biochemistry*, vol. 239, no. 1, pp. 70-76, Jul. 1996.
- [22] P. M. Dewick, *Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach*, 3rd ed. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd., 2009.
- [23] S. Aryal, M. K. Baniya, K. Danekhu, P. Kunwar, R. Gurung, and N. Koirala, “Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from western Nepal,” *Plants*, vol. 8, no. 4, pp. 96, Apr. 2019.
- [24] A. J. Hampson, M. Grimaldi, J. Axelrod, and D. Wink, “Cannabidiol and (-) delta 9-tetrahydrocannabinol are neuroprotective antioxidants,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, vol. 95, no. 14, pp. 8268-8273, Jul. 1998.
- [25] Z. M. C. Yazici, B. Bilge, and S. Bolkent, “Anti-inflammatory potential of delta-9-tetrahydrocannabinol in hyperinsulinemia: an experimental study,” *Molecular Biology Reports*, vol. 49, no. 12, pp. 11891-11899, Dec. 2022.
- [26] A. L. Dawidowicz, M. O. Tomczyk, and R. Typek, “CBG, CBD,  $\Delta$ 9-THC, CBN, CBGA, CBDA and  $\Delta$ 9-THCA as antioxidant agents and their intervention abilities in antioxidant action,” *Fitoterapia*, vol. 152, pp. 104915, Jul. 2021.
- [27] S. Phongpaichit, J. Nikom, N. Rungjindamai, J. Sakayaroj, N. Hutadilok-Towatana, V. Rukachaisirikul, and K. Kirtikara, “Biological

- activities of extracts from endophytic fungi isolated from *Garcinia* plants,” *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, vol. 51, no. 3, pp. 517–525, Dec. 2007.
- [28] P. Pratumyam, K. Lairungruang, P. Thimkorn, S. Obhasi, and S. Sangvichien, “Antioxidant activities and total phenolic contents of plook fai thatu remedy,” *Journal of Traditional Thai Medical Research*, vol.9, no.1, pp. 13-27, Jan-Jun. 2023.
- [29] K. Ouncharoen and W. Leelananthakul, “Antioxidant and anti-inflammatory activities of Prasa Khamin-Oi remedy and its herbal components,” *Journal of Khon Kaen Provincial Health Office*, vol. 4 no. 2, pp. 225-238, Jul-Dec. 2022.
- [30] C. Threrapanithan, N. Jaiaree, A. Itharat, S. Makchuchit, P. Thongdeeying, and S. Panthong, “Anti-inflammatory and antioxidant activities of the Thai traditional remedy called “Leard-ngam” and its plant ingredients,” *Thammasat Medical Journal*, vol. 15, no. 3, pp. 376-383, Jul-Sep. 2015.
- [31] S. H. Nam, J. Park, W. Jun, D. Kim, J. A. Ko, A. M. Abd El-Aty, J. Y. Choi, D. I. Kim, and K. Y. Yang, “Transglycosylation of gallic acid by using *Leuconostoc* glucansucrase and its characterization as a functional cosmetic agent,” *AMB Express*, vol. 7 no. 1, pp. 224, Dec 2017.
- [32] M. A. Awang, M. A. Z. Benjamin, A. Anuar, M. F. Ismail, S. D. Ramaiya, and S. N. A. M. Hashim, “Dataset of gallic acid quantification and their antioxidant and anti-inflammatory activities of different solvent extractions from *Kacip Fatimah* (*Labisia pumila* Benth. & Hook. f.) leaves,” *Data Brief*. vol. 5, no. 51, pp.109644, Dec. 2023.

# การสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งและมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นสารเคลือบบริโภคน้ำผลไม้เพื่อรักษาคุณภาพการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษา

นาฏกาญจน์ จักรานวัฒน์\* อรสา สีดาจิตร อังคณา ทักษิณกร และ ศุภกร หวังศิริกำโชค

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี  
129 หมู่ 21 ตำบลเนินหอม อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 25230

รับบทความ 7 สิงหาคม 2566 แก้ไขบทความ 18 ธันวาคม 2566 ตอรับบทความ 9 มกราคม 2567

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งแล้วนำมาพัฒนาเป็นสารเคลือบบริโภคน้ำผลไม้เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก เริ่มจากศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินโดยวางแผนการทดลองแบบ 3x3 แฟคทอเรียล มีปัจจัย 2 ได้แก่ระดับ pH ของกรดซิตริก (1, 2 และ 3) และอัตราส่วนผงเปลือกต่อปริมาณกรดซิตริก (1:10, 1:30 และ 1:50 โดยน้ำหนัก) ผลการทดลองพบว่าการใช้อัตราส่วนเท่ากับ 1:50 (โดยน้ำหนัก) ของผงเปลือกแคนตาลูปต่อปริมาณกรดซิตริก ที่ pH เท่ากับ 1 ได้ร้อยละของผลผลิตเพคตินสูงสุด (ร้อยละ  $33.58 \pm 0.34$ ) และเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ (%DE น้อยกว่าร้อยละ 50) โดยมีความบริสุทธิ์อยู่ภายใต้มาตรฐานที่ใช้สำหรับผลิตเพคตินทางการค้า จากนั้นนำเพคตินที่สกัดได้ผลผลิตมากที่สุดมาแปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก เติมน้ำตาลร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และแคลเซียมคลอไรด์ 0.04 กรัม พัฒนาเป็นสารเคลือบบริโภคน้ำผลไม้สำหรับรักษาคุณภาพการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $13 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน ผลการทดลองพบว่ามะม่วงที่เคลือบด้วยเพคตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีการสูญเสีย น้ำหนักและปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยที่สุดในขณะความแน่นเนื้อมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น ๆ งานวิจัยนี้เป็นการเน้นย้ำการเพิ่มมูลค่าของเสียจากเปลือกแคนตาลูปและเป็นแนวทางการรักษาคุณภาพของมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวอย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ :** เปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้ง; เพคติน; สารเคลือบบริโภคน้ำผลไม้; คุณภาพมะม่วง

# Extraction of Pectin from Cantaloupe Peel Waste and Its Utilization in the Edible Coating for the Ripeness Quality Control of Mango cv. Nam Dok Mai Si Thong during Storage

Nattakan Jakkranuhwat\* Orasa Seedajhit Angkana Taksinakorn and Supakorn Whangsirikumchok

Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus  
129 Moo 21 Tambon Noenhom, Amphoe Mueang, Prachinburi, 25230

---

*Received 7 August 2023; Revised 18 December 2023; Accepted 9 January 2024*

## Abstract

This study aimed to pectin was extracted from the cantaloupe peel wastes and then utilize it in the development of an edible coating to enhance the postharvest quality of mango cv. Nam Dok Mai Si Thong ripeness. First, the experimental design was 3 x 3 Factorial in CRD to study the optimization of pectin extraction conditions with 2 factors: citric acid at varying pH levels (1, 2 and 3) and the ratio of cantaloupe peel to citric acid (1:10, 1:30 and 1:50 by weight). The results indicated that the 1:50 (by weight) ratio of cantaloupe peel powder and citric acid extraction at pH 1 yielded the highest pectin ( $33.58 \pm 0.34\%$ ), accompanied by the lowest methoxyl pectin (%DE less than 50%). The purity of the extracted pectin met the standard required for commercial pectin manufacture. Then, the cantaloupe peel pectin, optimized for maximum yield, was utilized with 3 levels of pectin concentrations (10, 15, and 20% w/w), supplemented with 1% w/w glycerol and 0.04 g. of calcium chloride, was further utilized in an edible coating for mango cv. Nam Dok Mai Si Thong ripening quality preservation during storage at  $13 \pm 2$  °C for 18 days. The results showed that mangoes coated with 10 %w/w pectin exhibited the lowest weight loss and total soluble solids, as well as the greatest firmness compared to other conditions. This study highlights the added value of cantaloupe peel waste and offers a sustainable solution for enhancing the postharvest quality of mangoes.

**Keywords :** Cantaloupe peel waste; Pectin; Edible coating; Mango quality

---

\* *Corresponding Author. Tel.: +66 3721 7312, E-mail Address: nattakan.c@agro.kmutnb.ac.th*

## 1. บทนำ

แคนตาลูป (*Cucumis melo* var. *cantalupensis*) พืชในวงศ์แตง (Cucurbitaceae family) เป็นพืชเศรษฐกิจของจังหวัดสระแก้วได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกอย่างกว้างขวาง โดยเนื้อแคนตาลูปมีรสหวาน กลิ่นหอมและอุดมไปด้วยวิตามินหลายชนิด เป็นที่นิยมของผู้บริโภคอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามแคนตาลูปเป็นผลไม้ที่ไม่ได้รับประทานเปลือกจึงเกิดเป็นของเสียเหลือทิ้ง โดยทั่วไปเปลือกของผักและผลไม้มีเพคตินสะสมอยู่ในปริมาณมาก เพคตินจัดเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ยา รวมถึงสิ่งทอ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารให้เกิดเจล (Gelatinification) มีความข้นหนืด (Thickening) และมีความคงตัว (Stabilization) โครงสร้างหลักของเพคตินประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก ( $\alpha$ -1,4 Glycosidic) พบทั่วไปบริเวณโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช [1], [2] นอกจากนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเปลือกผลไม้เหลือทิ้งหลายชนิดมาสกัดเพคตินเพื่อใช้งานต่อ เช่น เพคตินจากเปลือกแอปเปิล ส้ม เสาวรส และเมล่อน เป็นต้น [1]-[4] ซึ่งสามารถลดการนำเข้าเพคตินทางการค้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงรวมถึงลดปริมาณการใช้สารเคมีในการสกัดเพคตินทางการค้าอีกด้วย

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง (*Mango; Mangifera indica* Linn.) เป็นผลไม้ที่ทำรายได้ให้ประเทศไทยเป็นอันดับต้น ๆ สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ มีลักษณะเด่นคือ เมื่อผลสุกผิวเปลือกมีสีเหลืองนวลถึงเหลืองทอง เนื้อสีเหลืองและมีกลิ่นหอม จึงเป็นสายพันธุ์ที่มีความต้องการสูงในตลาดภายในและต่างประเทศ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการผลิตควบคู่กับการควบคุมคุณภาพและรักษาระยะสุกในระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเป็นผลไม้เขตร้อนซึ่งไวต่อการเกิดการสะท้านหนาว (Chilling or Freezing

injury) หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จึงมีการฉายรังสีเพื่อควบคุมคุณภาพ แต่บางครั้งประสบปัญหาการเกิดเส้นดำบริเวณผิวเปลือกและเกิดเนื้อสีน้ำตาลจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงหรือจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในมะม่วง ซึ่งมีผลต่อการพัฒนากลิ่นหอมและการสุกของมะม่วงทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค [5] จึงเริ่มมีการใช้สารเคลือบบริโภคได้ (Edible coating) โดยเฉพาะเพคตินเนื่องจากหาง่ายโดยพบได้ทั่วไปที่ผิวของผักและผลไม้ รวมถึงสามารถชะลอการซึมผ่านของก๊าซและชะลอการสุกได้ของผลไม้ระหว่างการเก็บรักษาได้ [6], [7]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพิ่มมูลค่าสินค้าจากวัสดุเหลือทิ้งตามธรรมชาติในประเทศ โดยเฉพาะเปลือกแคนตาลูป นำมาสกัดเป็นเพคตินโดยใช้กรดเพื่อไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เนื่องจากมีต้นทุนถูก ง่าย และใช้เวลาสกัดไม่นาน โดยเลือกกรดซิตริก เนื่องจากเป็นกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและมีประสิทธิภาพการสกัดที่เทียบเท่ากรดไฮโดรคลอริกหรือกรดไนตริก [8], [9] รวมถึงนำสารเคลือบจากเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งที่ยังไม่มีงานวิจัยได้นำมาใช้ประโยชน์ในการรักษาคุณภาพมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวในระหว่างการเก็บรักษา เพื่อเป็นการเพิ่มคุณประโยชน์ให้แก่วัสดุเหลือทิ้งให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นและรักษาคุณภาพสินค้าเกษตรให้มีมูลค่าเพิ่ม สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืนแบบองค์รวมของไทยภายใต้แนวคิด BCG economy (Bio-Circular-Green Economy)

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การเตรียมเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้ง

เปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งจากร้านค้าอำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว ขนส่งมายังคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม

เกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี มาล้างทำความสะอาด ขูดส่วนเนื้อที่ใช้รับประทานสีส้มที่ติดมาออกโดยเอาเฉพาะส่วนเปลือกสีเหลืองนวลกับส่วนสีขาวมาหั่นเป็นชิ้นขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 2x2 เซนติเมตร ความหนาถึงผนังชั้นกลาง (Mesocarp) นำเปลือกที่ได้ผสมกับเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วนเท่ากับ 1:1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ให้ความร้อนอุณหภูมิ 80±1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 20 นาที นำมาบดด้วยเครื่องปั่นที่ระดับความเร็วรอบ 14000 รอบต่อนาที กรองส่วนของเหลวออกด้วยผ้าขาวบาง และนำส่วนที่เป็นของแข็งไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50±1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 ชั่วโมง จนได้ความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 3.92±0.22 จากนั้นนำตัวอย่างแห้งมาลดขนาดและนำไปผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช บรรจุใส่ถุงซิปล็อกปิดสนิท เก็บไว้ในโถดูดความชื้น

## 2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้ง

นำผงเปลือกแคนตาลูปอบแห้งที่เตรียมได้ ปริมาณ 5 กรัม มาสกัดเพคตินโดยวางแผนการทดลองแบบ 3x3 แฟคทอเรียล (Factorial Experiment in CRD) โดยมีปัจจัยที่ต้องศึกษาได้แก่ ปัจจัย A คือระดับ pH ของกรดซิตริก ( $A_1 = 1$ ,  $A_2 = 2$  และ  $A_3 = 3$ ) และปัจจัย B คืออัตราส่วนเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งต่อกรดซิตริก ( $B_1 = 1:10$ ,  $B_2 = 1:30$  และ  $B_3 = 1:50$ ) ซึ่งสามารถวางแผนการทดลองทั้งหมดได้ 9 การทดลอง ๆ ละ 3 ชั่วโมง นำตัวอย่างแต่ละการทดลองให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับ 35±1 องศาเซลเซียส กรองด้วยผ้าขาวบางหนา 2 ชั้น นำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:2 (โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นนำไป

หมนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมนเหวี่ยงที่ระดับความเร็วรอบเท่ากับ 5500 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที แยกส่วนของสารละลายใสออกให้เหลือแต่ตะกอน นำตะกอนไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50±1 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีน้ำหนักคงที่ ลดขนาดด้วยเครื่องปั่นที่ระดับความเร็วรอบ 14000 รอบต่อนาที และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช นำผงเพคตินมาวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต จากนั้นนำผงเพคตินจากสภาวะที่สามารถสกัดเพคตินได้ปริมาณมากที่สุดมาวิเคราะห์คุณภาพ (น้ำหนักกรัมสมมูล ระดับเมทอกซิล ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน กรดกาแล็คทูโรนิก ความชื้น และเถ้า) เปรียบเทียบกับผลการทดลองของเพคตินทางการค้าที่ใช้สำหรับอาหาร

## 2.3 การศึกษาผลของสารเคลือบบริโภคได้ เพคตินที่สกัดจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก

นำเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งที่สกัดได้มาพัฒนาเป็นสารเคลือบบริโภคได้ที่แปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมน้ำตาลร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และแคลเซียมคลอไรด์ 0.04 กรัมโดยน้ำหนัก นำตัวอย่างทั้งหมดให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60±1 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส ลดอุณหภูมิเป็น 40±2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมะม่วงสุกน้ำหนักประมาณ 350 - 550 กรัมต่อผล จุ่มลงในสารเคลือบบริโภคได้ เป็นระยะเวลา 30 วินาที ผึ่งให้แห้งสนิท นำตัวอย่างเรียงใส่กล่องกระดาษลูกฟูก ขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 31x36x13 เซนติเมตร บรรจุมะม่วงกล่องละ 10 ผล ไม่วางซ้อนทับกันและปิดฝากล่อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ (อัตราการสูญเสีย น้ำหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความแน่นเนื้อ และวัดค่าสี) ทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 18 วัน

## 2.4 การวิเคราะห์คุณภาพ

### 2.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพเพคติน

#### 2.4.1.1 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (% Yield)

นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก คำนวณดังสมการที่ (1)

$$Yield (\%) = \frac{m_0}{m} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

$m_0$  = ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (กรัม)

$m$  = ปริมาณเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งที่ใช้ (กรัม)

#### 2.4.1.2 น้ำหนักกรัมสมมูลของเพคติน (Equivalent Weight: Eq.W) และ ระดับเมทอกซิล (Methoxyl Levels: % MeO)

ชั่งน้ำหนักผงเพคติน 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายผงเพคตินด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เพคตินละลาย เติมโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัม จากนั้นนำสารละลายไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จนสารละลายเริ่มเป็นสีชมพู (pH 7.5) บันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร) และคำนวณหาน้ำหนักกรัมสมมูลดังสมการที่ (2) จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการทำให้เป็นกลางดังกล่าวมาหาระดับเมทอกซิลโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ทิ้งไว้ 30 นาที เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จนสารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร) [10] และคำนวณหาระดับเมทอกซิล ดังสมการที่ (3)

$$Eq.W = \frac{S}{NV} \quad (2)$$

โดยที่

$S$  = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเพคติน (มิลลิกรัม)

$N$  = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)

$V$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

$$MeO (\%) = \frac{31 \times VN}{S} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

$31$  = ค่าคงที่น้ำหนักสมมูลของเมทอกซิล

$N$  = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)

$V$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

$S$  = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเพคติน (มิลลิกรัม)

#### 2.4.1.3 ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of Esterification, % DE)

ชั่งน้ำหนักผงเพคติน 0.5 กรัม เติมเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันแล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล จนสีชมพูเริ่มปรากฏ บันทึกผล จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าแรง ๆ ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที นำไปเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าจนสีชมพูจางหาย เติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล จนสีชมพูเริ่ม

ปรากฏ [1] บันทึกผลและคำนวณหาค่าร้อยละของระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันดังสมการที่ (4)

$$DE (\%) = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่

$V_1$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ไทเทรตครั้งแรก (มิลลิลิตร)

$V_2$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตครั้งสุดท้าย (มิลลิลิตร)

#### 2.4.1.4 กรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid)

ชั่งน้ำหนักเพคติน 0.1 กรัมผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ในขวดปรับปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ปิดสารละลายที่ได้ 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิดสารละลายเจือจางใส่ลงในหลอดทดลองปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 หลอด ๆ ละ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงในหลอดทดลอง ๆ ละ 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 25 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกจากกราฟมาตรฐาน [11] ที่ความเข้มข้นของกรดกาแลคทูโรนิกระหว่าง 0-80 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

#### 2.4.1.5 ความชื้น (Moisture)

วิเคราะห์ความชื้นตามวิธีของ AOAC (ข้อ 925.10) [12] โดยคำนวณดังสมการที่ (5)

$$Moisture (\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่

$M_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$M_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

#### 2.4.1.6 เถ้า (Ash)

วิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC (ข้อ 923.03) [12] โดยคำนวณดังสมการที่ (6)

$$Ash (\%) = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (6)$$

โดยที่

$M_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$M_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

#### 2.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพมะม่วงสุก

##### 2.4.2.1 อัตราการสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss)

ชั่งน้ำหนักมะม่วงนำมาคำนวณดังสมการที่ (7)

$$Weight\ loss (\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (7)$$

โดยที่

$M_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$M_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

##### 2.4.2.2 ความแน่นเนื้อ (Firmness)

วัดความแน่นเนื้อผ่านเปลือกของมะม่วงด้วยเครื่อง Texture Analyser บริเวณกึ่งกลางก้านผล (Mesocarp) โดยใช้โพรบสแตนเลสสตีลทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร กดด้วยความเร็ว 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที [13] ทำการวัดค่าจำนวน 6 ซ้ำ

##### 2.4.2.3 ค่าสี (Color)

นำมะม่วงมาปอกเปลือก ตัดส่วนหัว ตรงกลาง และส่วนท้ายของผลมะม่วงวัดค่าสีระบบ  $L^*a^*b^*$  ด้วยเครื่องวัดค่าสี HUNTER LAB รุ่น Color Flex ค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Hue angle ดังสมการที่ (8)

$$\text{Hue angle} = \text{Arctanagent} \frac{b^*}{a^*} \quad (8)$$

#### 2.4.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total soluble solids)

ปอกเปลือกมะม่วงและนำส่วนเนื้อไปลดขนาดด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงจากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบาง นำน้ำมะม่วงที่ได้มาหาค่า °Brix โดยใช้เครื่อง Refractometer

### 2.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 25.0

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้ง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเพคติน (ตารางที่ 1) พบว่าการใช้กรดซิตริกที่ pH ต่ำ ส่งผลให้มีผลผลิตเพคตินปริมาณสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 1 ร้อยละของผลผลิตเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้ง

| pH | อัตราส่วนเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งต่อปริมาณกรดซิตริก | ผลผลิตเพคติน (ร้อยละ)     |
|----|---|---------------------------|
| 1  | 1:10  | 10.30±0.30 <sup>Ba</sup>  |
|    | 1:30  | 20.77±1.12 <sup>Bab</sup> |
|    | 1:50  | 33.58±0.34 <sup>Bb</sup>  |
| 2  | 1:10  | 8.45±0.58 <sup>Ba</sup>   |
|    | 1:30  | 19.95±0.26 <sup>Bab</sup> |

| pH | อัตราส่วนเปลือกแคนตาลูปเหลืองทิ้งต่อปริมาณกรดซิตริก | ผลผลิตเพคติน (ร้อยละ)    |
|----|---|--------------------------|
| 3  | 1:50  | 32.48±0.25 <sup>Bb</sup> |
|    | 1:10  | 4.54±0.19 <sup>Aa</sup>  |
|    | 1:30  | 5.84±0.12 <sup>Aab</sup> |
|    | 1:50  | 6.24±0.29 <sup>Ab</sup>  |

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรพิมพ์ใหญ่แตกต่างกันในแนวตั้ง (A, B), แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของปัจจัยด้าน pH ของกรดซิตริก ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรพิมพ์เล็กแตกต่างกันในแนวตั้ง (a, b), แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ของปัจจัยด้านอัตราส่วนสารสกัด

เนื่องจากกรดซิตริกที่ระดับ pH ต่ำจะทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ในตัวทำละลายสูงและสามารถไปเพิ่มการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของโปรโตเพคติน (Protopectin) ซึ่งเป็นสารประกอบตั้งต้นของเพคติน โดยปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ไม่แตกตัวแต่เกิดการเชื่อมกับสายโซ่ที่อยู่ใกล้กันทำให้เพคตินตกตะกอนออกมา สอดคล้องกับงานวิจัยของ S. Ma et al. [14] พบว่าสภาวะสารละลายกรดที่ pH เท่ากับ 1.5 ได้ผลผลิตเพคตินมากกว่าที่ pH เท่ากับ 2 โดยสภาวะสารละลายกรดที่แรงขึ้น ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ในการสร้างผนังเซลล์พืชหยุดชะงักและปล่อยเพคตินออกมามากขึ้น นอกจากนี้จากตารางที่ 1 ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณกรดซิตริกเป็นตัวทำละลายมีผลต่อการถ่วงไอออนลบดีขึ้น ทำให้เพคตินสามารถละลายออกมาได้เต็มที่จนได้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตามหากระดับ pH ของตัวทำละลายเพิ่มสูงเกินไป ปริมาณไฮโดรเจนไอออนในระบบจะลดลงจนถึงจุดที่เพคตินตกตะกอนไม่ได้ ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จึงลดลง [15]

จากผลการทดลองพบว่าการปรับระดับ pH ด้วยกรดซิตริกเท่ากับ 1 ในอัตราส่วนของผงเปลือกแคนตาลูปต่อปริมาณกรดซิตริกเท่ากับ 1:50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้ผลผลิตเพคตินมากที่สุดดังนั้นผู้วิจัยเลือก

สภาวะดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้จากเพคตินทางการค้าแสดงดังตารางที่ 2 และนำไปประยุกต์เป็นสารเคลือบบริโภคได้ต่อไป โดยคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองที่มีคุณสมบัติที่ยอมรับได้ในระดับทางการค้า ซึ่งมีน้ำหนักกรัมสมมูลน้อยกว่าเพคตินทางการค้า แสดงถึงเพคตินที่สกัดได้มีโครงสร้างของเพคตินเล็กกว่า น้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า รวมถึงมีคุณสมบัติการละลายและความสามารถในการเกิดเจลที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามน้ำหนักกรัมสมมูลของเพคตินมีค่ามากหรือน้อยนั้นยังขึ้นอยู่กับชนิด ความแก่-อ่อน สายพันธุ์ของผลไม้ วิธีการสกัด และวิธีการตกตะกอน [10],[16] ในส่วนของระดับเมทอกซิลจะพิจารณาร่วมกับระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (% DE) เพื่อใช้จัดประเภทของเพคติน โดยเพคตินที่มี % DE ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป หรือมีระดับเมทอกซิลตั้งแต่ร้อยละ 8.16 ขึ้นไปจัดเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin)

ส่วนเพคตินที่มี % DE ต่ำกว่าร้อยละ 50 หรือมีระดับเมทอกซิลต่ำกว่าร้อยละ 8.16 จัดเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin) ซึ่งจะเกิดเจลได้เมื่อมีไอออนของโลหะอยู่ด้วย [15], [17] จากผลการทดลองพบว่าเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองที่ด้วยกรดซิตริกจัดอยู่ในกลุ่มของเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ (% DE และระดับเมทอกซิลเท่ากับร้อยละ  $28.12 \pm 1.02$  และ  $1.92 \pm 0.19$  ตามลำดับ) ซึ่งเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารให้ความคงตัว หรือสารเคลือบผิวเป็นต้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อระดับเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดได้จากกรด เช่น pH ชนิดของกรด อุณหภูมิ ระยะเวลาการสกัด รวมถึงความสุก-แก่ของพืชที่ใช้สกัดเป็นต้น สอดคล้องกับ K. A. Israel et al. [8] พบว่าปริมาณเมทอกซิลที่สกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยหินระยะดิบมีปริมาณมากกว่าเปลือกกล้วยหินระยะสุก

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปที่สกัดได้เปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า

| คุณสมบัติ                                   | เพคตินจากเปลือกแคนตาลูป | เพคตินทางการค้า*  |
|---|-------------------------|-------------------|
| น้ำหนักกรัมสมมูล                            | $238.67 \pm 1.53$       | $958.83 \pm 4.70$ |
| ระดับเมทอกซิล (ร้อยละ)                      | $1.92 \pm 0.19$         | $8.98 \pm 0.15$   |
| ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (ร้อยละ)        | $28.12 \pm 1.02$        | $73.06 \pm 1.20$  |
| ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) | $75.70 \pm 1.14$        | $72.00 \pm 0.20$  |
| ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)                     | $2.75 \pm 0.19$         | $1.69 \pm 0.02$   |
| ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)                         | $0.34 \pm 0.04$         | $0.91 \pm 0.05$   |

\*เพคตินทางการค้าเป็นเพคตินสำหรับอาหารที่ไม่ระบุชนิดของเพคติน

ในส่วนของกรดกาแลคทูโรนิกเป็นหน่วยย่อยของเพคติน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สำคัญในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนเพื่อบ่งบอกว่าสารนั้นมีความบริสุทธิ์เพียงพอที่เป็นเพคติน [18] โดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติได้กำหนดให้เพคตินที่ผลิตได้ควรมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกอย่างน้อยร้อยละ 65 ขึ้นไป [1], [18] จากผลการทดลองพบว่าปริมาณกรด

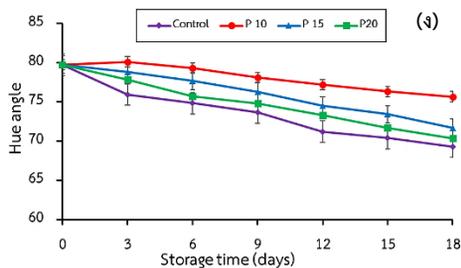
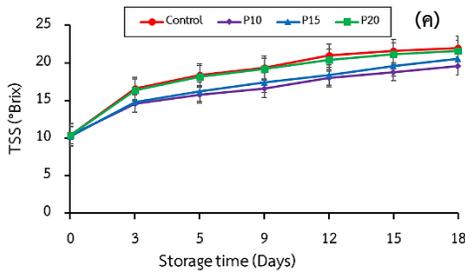
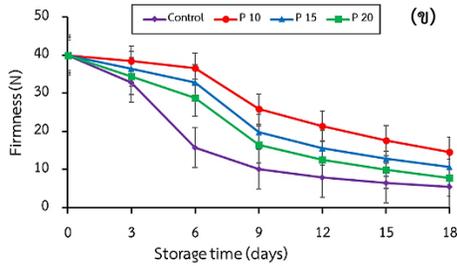
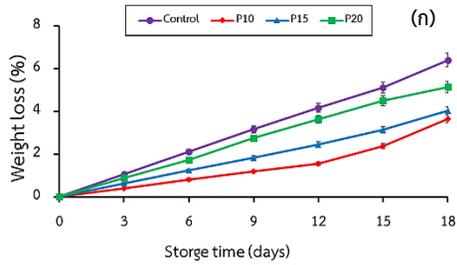
กาแลคทูโรนิกของเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองที่มีความบริสุทธิ์ตรงตามข้อกำหนดในการผลิตเพคติน ( $75.70 \pm 1.14$  มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) รวมถึงมีความบริสุทธิ์มากกว่าเพคตินทางการค้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ M. Kazemi et al. [19] พบว่าเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองที่จากโรงงานอุตสาหกรรมมีความบริสุทธิ์รวมถึงยังมีคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทาง

การค้า นอกจากนี้ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพของเพคตินทางการค้าโดยสมาคมผู้ผลิตเพคตินนานาชาติ (International Pectin Producers Association: IPPA) กำหนดว่าปริมาณความชื้นของเพคตินต้องไม่เกินร้อยละ 12 เพคตินจะไม่จับตัวกันเป็นก้อนและต้องมีปริมาณแฉะไม่เกินร้อยละ 1 [19] แสดงถึงความบริสุทธิ์ของเพคตินจากกระบวนการสกัด โดยปราศจากแร่ธาตุอื่นเจือปน ดังนั้นเพคตินที่สกัดจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองซึ่งมีมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเทียบเท่าเพคตินทางการค้าที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด แต่แตกต่างกันที่การนำไปประยุกต์ใช้งาน

### 3.2 การศึกษาผลของสารเคลือบบริโภาคได้เพคตินที่สกัดจากเปลือกแคนตาลูปเหลืองต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก

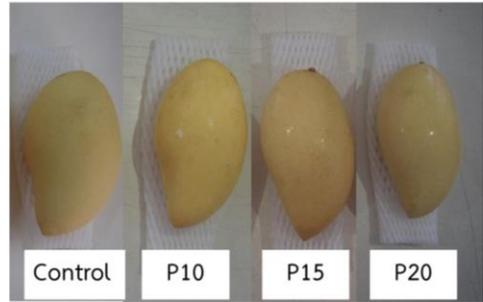
จากรูปที่ 1 (ก) และ (ข) พบว่าการนำมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมาเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภาคได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่งผลให้ตัวอย่างมีความแน่นเนื้อมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากสารเคลือบบริโภาคได้ไปปกคลุมเปลือกและปิดช่องต่าง ๆ ที่ผิวของผลไม้ซึ่งถือเป็นการจำกัดการแพร่ของไอน้ำและก๊าซ ส่งผลให้มะม่วงมีอัตราการคายน้ำและการหายใจลดลง จนมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม [20] รวมถึงสารเคลือบบริโภาคได้สามารถชะลอกิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเนส (Pectinase) ในการย่อยสลายทำให้ผลไม้มีแข็งขึ้น ถือเป็นการลดอัตราการเผาผลาญช่วงผลไม่แก่ [6] ส่งผลให้รักษาความแน่นเนื้อของผลไม้ตลอดการเก็บรักษา โดยการใช้สารเคลือบบริโภาคได้เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกแคนตาลูปเหลืองซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 10 ส่งผลให้มะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดและมี

ความแน่นเนื้อมากที่สุดเนื่องจากการเคลือบผิวทำให้เกิดสภาวะตัดแปรบรรยากาศ โดยจำกัดการผ่านเข้าออกของออกซิเจน เมื่อใช้สารที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปทำให้ชั้นผิวของสารเคลือบมีความหนาแน่นมากขึ้นเกิดความร้อนสะสมภายในผลไม้ และมีการซึมผ่านของออกซิเจนน้อยเกินไปทำให้ผลไม้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน จนผลไม้มีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นและมีผลให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลงเช่นกัน [21]-[23] เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (รูปที่ 1(ค)) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเคลือบด้วยสารเคลือบบริโภาคได้เพคตินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยที่สุด โดยการใช้สารเคลือบบริโภาคได้ช่วยลดอัตราการหายใจของมะม่วงทำให้เอทิลีนไม่ได้รับออกซิเจน สำหรับการใช้เป็นพลังงานกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme) ต่าง ๆ เช่น เอนไซม์อะไมเลสที่จะทำการไฮโดรไลซิสแป้งในมะม่วงและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) และน้ำตาลไม่รีดิวซ์ (Non-reducing sugar) ซึ่งส่งผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลง [23] และแสดงถึงมะม่วงสุกช้าลง สอดคล้องกับลักษณะสีของมะม่วงดังรูปที่ 1(ง) และรูปที่ 2 พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองทั้ง 4 สภาวะมีเฉดสีเหลือง (Hue angle ระหว่าง 79.71-69.28) ตลอดอายุการเก็บรักษา 18 โดยปกติระหว่างการเก็บรักษาสีเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจะเป็นสีเหลือง และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองที่เข้มขึ้นเนื่องจากแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเหลืองมีปริมาณมากขึ้นจากการที่รงควัตถุชนิดอื่น ๆ สลายตัวไปเมื่อมะม่วงสุก [24] จากการทดลองพบว่ามะม่วงที่ผ่านการเคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีน้อย แสดงถึงผลไม้มีอัตราการหายใจและผลิตเอทิลีนที่ลดลง ทำให้มะม่วงสุกช้าลงและเกิดกระบวนการย่อยสลายคลอโรฟิลล์ที่เปลือกของมะม่วงช้าลงด้วย [25]

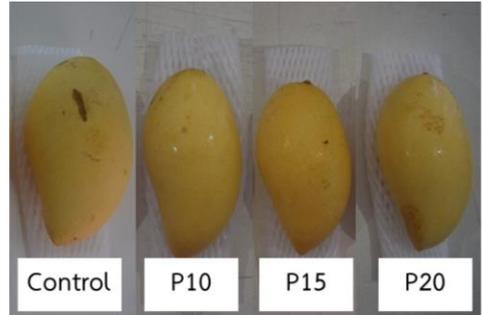


รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 วัน; (ก): การสูญเสีย น้ำหนัก (ข): ความแน่นเนื้อ (ค): ปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ และ (ง): ค่าสี Hue angle

หมายเหตุ: Control คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่ได้เคลือบผิว, P10 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 10, P15 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 15 และ P20 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 20



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ลักษณะของผลมะม่วง; (ก): เก็บรักษาวันแรก และ (ข): เก็บรักษาวันที่ 18

หมายเหตุ: Control คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ไม่ได้เคลือบผิว, P10 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 10, P15 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 15 และ P20 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวเพคตินร้อยละ 20

#### 4. สรุป

การสกัดเพคตินจากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้ง โดยการเติมกรดซิตริกเท่ากับ pH1 โดยใช้อัตราส่วนของ ผงเปลือกแคนตาลูปต่อปริมาณกรดซิตริกเท่ากับ 1:50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นสภาวะที่ได้ผลผลิตมากที่สุด และมีคุณภาพทางกายภาพและเคมีตามเกณฑ์มาตรฐาน ที่ใช้สำหรับผลิตเพคตินทางการค้า และเมื่อนำมาผลิต เป็นสารเคลือบบริโภคได้พบว่าที่ความเข้มข้นของ เพคตินเท่ากับร้อยละ 10 สามารถรักษาคุณภาพของ มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกได้ดีที่สุด ตลอดอายุการเก็บ รักษา ณ อุณหภูมิ 13±2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 วัน ดังนั้นการผลิตสารเคลือบบริโภคได้ในครั้งนี้ถือเป็นการใช้ประโยชน์จากเปลือกแคนตาลูปเหลือทิ้งให้มี มูลค่าเพิ่มและลดต้นทุนการนำเข้าเพคตินที่มีราคาสูง

จากต่างประเทศ รวมถึงใช้เป็นแนวทางการรักษาคุณภาพผลไม้ที่ยั่งยืน ในระหว่างการขนส่ง ณ อุณหภูมิต่ำ เพื่อชะลอการสุกและลดการเน่าเสียได้อีกด้วย

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Q. Liew, N. L. Chin, and Y. A. Yusof, "Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels," *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 2, pp. 231-236, Jan. 2014.
- [2] S. Kumar, J. Konwar, M. D. Purkayastha, S. Kalita, A. Mukherjee, and J. Dutta, "Current progress in valorization of food processing waste and by-products for pectin extraction," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 239, no. 4, pp. 124332, Jun. 2023.
- [3] C. F. Oliveira, D. Giordani, R. Lutckemier, P. D. Gurak, F. C. Olivera, and L. D. F. Marczak, "Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 71, pp. 110-115, Sep. 2016.
- [4] X. Wang, Q. Chen, and X. Lü, "Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water," *Food Hydrocolloids*, vol. 38, pp. 129-137, Jul. 2014.
- [5] National Research Council of Thailand, "The knowledge management and technology transfer of mango 'Nam Dok Mai Si Thong' for export," [Online]. Available: <https://www.dkmmap.nrct.go.th/dkmmap-2021/project-detail.php?pid=59-051>. [Accessed: Jun. 9, 2025].
- [6] N. Maftoonazad and H. S. Ramaswamy, "Application and evaluation of a pectin-based edible coating process for quality change kinetics and shelf-life extension of lime fruit (*Citrus aurantifolium*)," *Coatings*, vol. 9, no. 5, Apr. 2019.
- [7] S. M. Nor and P. Ding, "Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review," *Food Research International*, vol. 134, no. 5, pp. 109208, Aug. 2020.
- [8] K. A. Israel, S. F. Baguio, M. D. B. Diasanta, R. C. Lizardo, E. Dizon, and M. I. F. Mejico, "Extraction and characterization of pectin from saba banana [*Musa 'saba'* (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana*)] peel wastes: A preliminary study," *International Food Research Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 202-207, Jan. 2015.
- [9] W. E. Devi, R. N. Shukla, K. L. Bala, A. Kumar, A. A. Mishra, and K. C. Yadav, "Extraction of pectin from citrus fruit peel and its utilization in preparation of jelly," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 3, no. 5, May. 2014.

- [10] N. Wathoni, C. Y. Shan, W. Y. Shan, T. Rostinawati, R. B. Indradi, R. Pratiwi, and M. Muchtaridi, "Characterization and antioxidant activity of pectin from Indonesian mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) Rind," *Heliyon*, vol. 5, no. 8, Sep. 2019.
- [11] S. H. Yoo, M. L. Fishman, A. T. Hotchkiss, and H. G. Lee, "Viscometric behavior of high-methoxy and low-methoxy pectin solutions," *Food Hydrocolloids*, vol. 20, no. 1, pp. 62-67, Jan. 2006.
- [12] AOAC, *Determination of Moisture, Ash, Protein and Fat*, 18th ed., Official Method of Analysis of the Association of Analytical Chemists. Washington DC: AOAC, 2005.
- [13] A. Uthairathanakij, P. Jitareerat and, J. Boonrod, "Effect of gamma doses on quality of unripe "Chok Anan" mango," in *Proceedings of 51st Kasetsart University Annual Conference: Plants*, Kasetsart University, Thailand, 2013, pp. 300-305.
- [14] S. Ma, S. J. Yu, X. L. Zheng, X. X. Wang, Q. D. Bao, and X. M. Guo, "Extraction, characterization and spontaneous emulsifying properties of pectin from sugar beet pulp," *Carbohydrate Polymers*, vol. 98, no. 1, pp. 750-753, Oct. 2013.
- [15] N. Amnuaysin, N. Suachumsang, and T. Charoenrat, "Optimization of pectin extraction from 'Hom Thong' banana peel with hydrochloric acid and citric acid," *Thai Journal of Science and Technology*, vol. 7, no. 5, pp. 481-490, 2018.
- [16] N. H. Hasem, S. F. Z. M. Fuzi, F. Kormin, M. F. A. Bakar, and S. F. Sabran, "Extraction and partial characterization of durian rind pectin," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 269, pp. 012019, Nov. 2018.
- [17] B. M. Yapo and K. L. Koffi, "Extraction and characterization of highly gelling low methoxy pectin from cashew apple pomace," *Foods*, vol. 3, no. 1, pp. 1-12, Dec. 2013.
- [18] T. Mada, R. Duraisamy, and F. Guesh, "Optimization and characterization of pectin extracted from banana and papaya mixed peels using response surface methodology," *Food Science & Nutrition*, vol. 10, no. 4, pp. 1222-1238, Apr. 2022.
- [19] M. Kazemi, S. A. Samani, S. Ezzati, F. Khodaiyan, S. S. Hosseini, and M. Jafari, "High-quality pectin from cantaloupe waste: eco-friendly extraction process, optimization, characterization and bioactivity measurements," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 101, no. 15, pp. 6552-6562, Dec. 2021.
- [20] T. Saha, D. K. D. Roy, M. N. Khatun, and M. Asaduzzaman, "Quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*) coated with aloe vera and honey in the refrigerated condition," *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 14, pp. 100709, Dec. 2023.
- [21] M. G. Lin, O. Lasekan, N. Saari, and S. K. Bejo, "The effect of the application of edible coatings on or before ultraviolet

- treatment on postharvested longan fruits," *Journal of Food Quality*, vol. 2017, no. 1, pp. 5454263, Oct. 2017.
- [22] D. Mandal, L. Sailo, T. K. Hazarika, and A. C. Shukla, "Effect of edible coating on shelf life and quality of local mango cv. rangkuai of mizoram," *Research on Crops*, vol. 19, no. 3, pp. 419-424, Oct. 2018.
- [23] T. T. Pham, L. L. P. Nguyen, M. S. Dam, and L. Baranyai, "Application of edible coating in extension of fruit shelf life: review," *AgriEngineering*, vol. 5, no. 1, pp. 520-536, Mar. 2023.
- [24] P. Klangmuang and R. Sothornvit, "Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with thai essential oils on mango (cv. Namdokmai Sithong)," *Food Bioscience*, vol. 23, pp. 9-15, Jun. 2018.
- [25] P. Jongsri, P. Rojsitthisak, T. Wangsomboondee, and K. Seraypheap, "Influence of chitosan coating combined with spermidine on anthracnose disease and qualities of 'Nam Dok Mai' mango after harvest," *Scientia Horticulturae*, vol. 224, pp. 180-187, Oct. 2017.

## นวัตกรรมสีเขียวจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อม กรณีศึกษาร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร

ประภาพรภรณ์ ธีรมงคล<sup>1\*</sup> และ พัชชา อุทิสวรรณกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup>หน่วยปฏิบัติการวิจัยแพชชั่นและนวัตศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>1, 2</sup>254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

---

รับบทความ 13 ธันวาคม 2565 แก้ไขบทความ 30 ธันวาคม 2566 ตอรับบทความ 9 มกราคม 2567

### บทคัดย่อ

กระแสรักสุขภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สินค้าหรืออาหารที่ส่งผลดีต่อสุขภาพโดยเฉพาะเครื่องดื่มน้ำผักผลไม้ซึ่งประโยชน์ของผักผลไม้ช่วยกระตุ้นให้เกิดความต้องการบริโภคผักผลไม้ได้ทุกชนิดและรับสารอาหารได้เต็มที่ แต่ในกระบวนการผลิตนั้นสร้างปัญหา “ขยะ” กากผักผลไม้เหลือทิ้ง ด้วยปัญหาดังกล่าว การช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อมจากแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R= reduce, reuse, recycle) เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจผ่านการสร้างสรรค์นวัตกรรมสีเขียวจากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งสำหรับงานสิ่งทอและงานสร้างสรรค์ ดังนี้ 1) ศึกษาลักษณะและกระบวนการเก็บและคัดแยกของกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งจากร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร และ 2) เพื่อหาแนวทางการสร้างนวัตกรรมสีเขียวจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งด้วยแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R) จนขยะเหลือเป็นศูนย์ (Zero Waste) สรุปผลการวิจัยได้ว่า ปริมาณกากจากการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็นร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร ถูกทิ้งต่อวันเฉลี่ย 10 – 50 กิโลกรัม เมื่อนำมาสกัดน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำระบบกึ่งอุตสาหกรรมทดลอง 5 ชั่วโมง การวิเคราะห์ค่าสีพบว่าเส้นด้ายย้อมร้อนส่วนใหญ่จะได้ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลือง และย้อมเย็นจะมีค่าความมืดและค่าความเป็นสีน้ำเงิน ส่วนสีผงนำไปผลิตสีพิมพ์โดยใช้แป้งพิมพ์ผสมสารช่วยยึดติด ผนึกสีด้วยความร้อนเพื่อให้สีติดทน ทำให้ร้าน Healthy juice bar ในเขตกรุงเทพมหานคร มีแนวทางเพิ่มมูลค่าขยะที่เหลือทิ้งจำหน่ายสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสร้างอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ นำไปสู่อุตสาหกรรมแฟชั่นได้อย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ :** นวัตกรรมสีเขียว; กากผักผลไม้เหลือทิ้ง; สกัดเย็น

# Innovation Dyeing from Fruit and Vegetable Cold-pressed Dregs to Reduce Environmental Pollution: A Case Study of Healthy Juice Bar in Bangkok

Praparnporn Theeramongkol<sup>1\*</sup> and Patcha U-Tiswannakul<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Fine and Applied Arts, Chulalongkorn University

<sup>2</sup>Fashion And Creative Arts Research Unit, Faculty of Fine and Applied Arts, Chulalongkorn University

<sup>1, 2</sup>254 Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok, Thailand, 10330

---

*Received 13 December 2022; Revised 30 December 2023; Accepted 9 January 2024*

## Abstract

Healthy wellness is a trend that is increasingly popular. Fruit and vegetable juices are examples of healthy foods and meals. Consumer desire for commodities that allow all fruit and vegetable kinds to be consumed and that give comprehensive, nutrient-dense vegetable and fruit juices is driven by the health benefits of fruits and vegetables. Throughout the manufacturing process, however, it generates "garbage," or leftover vegetable and fruit waste. Because of the aforementioned concerns, using the 3Rs (reduce, reuse, recycle) to help decrease environmental pollution also increases economic value by making unique colours from cold-pressed fruit and vegetable waste for use in textiles and other creative uses. The methods are creative: 1) investigate the qualities and methodology of collecting cold-pressed fruit and vegetable pulp from Bangkok's Healthy Juice Bar, and 2) explore innovative techniques to manufacture distinctive hues by utilizing the 3Rs method until there is no waste (Zero Waste). The study's findings are summarized below: Cold-pressed vegetable and fruit juices waste in everyday are between 10 and 50 kilograms. The experiment was performed 5 times using dyed water extracted according to the colour of the trash using a semi-industrial juice extractor. The colour value analysis found that the majority of hot dyed yarns had brightness and yellowness ratings, cold dye has a dark and a blue value. Printed dyes are made from powdered pigments and printing powder blended with adhesive agents. Heat is used to seal the colour, making it a healthy juice bar in Bangkok. There are innovative methods to repurpose garbage. Selling environmentally friendly items (eco-friendly products), establishes a brand product, and leads to a more sustainable fashion sector.

**Keywords :** Dyeing innovation; Fruit and vegetable dregs; Cold-pressed

---

*\* Corresponding Author. Tel.: +662 2650 9149, E-mail Address: [praparnporn.t@rmutp.ac.th](mailto:praparnporn.t@rmutp.ac.th)*

## 1. บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อม โลกร้อน ไวรัส ฝุ่นพิษ ขยะมูลฝอย รวมถึงห่วงโซ่อุปทานสิ่งทอและผลิตภัณฑ์แฟชั่นทั่วโลก ยังคงเป็นปัญหาระดับโลก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจไม่ใช่ปัจจัยของการปล่อยมลพิษ R. Bick et al. [1] กล่าวว่าไว้ว่าแฟชั่นแฟชั่นราคาถูกลงและหาซื้อได้ง่ายในปัจจุบันได้เปลี่ยนวิธีการซื้อและทิ้งเสื้อผ้าของผู้คนไป ด้วยการขายเสื้อผ้าจำนวนมากในราคาถูก ทำให้การบริโภคเสื้อผ้าพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่ผู้บริโภคทุกระดับสามารถเข้าถึงสไตล์ล่าสุดได้ แต่ความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับเสื้อผ้าราคานั้นซ่อนอยู่ตลอดวงจรชีวิตของเสื้อผ้าแต่ละชิ้น ตั้งแต่การเติบโตของฝ้ายที่ใช้ใช้น้ำมาก การปล่อยสีย้อมที่ไม่ได้รับการบำบัดลงในแหล่งน้ำในท้องถิ่น ไปจนถึงค่าจ้างที่ต่ำของคนงานและสภาพการทำงานที่ย่ำแย่ ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสิ่งทอนั้นมีอยู่ทั่วไป และยังเป็นผลจากคอลเลกชันที่เพิ่มขึ้นอย่างมากจากอุตสาหกรรมแฟชั่น ซึ่งเสื้อผ้าที่ใช้ทุกวันในช่วงหลายปีที่ผ่านมาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเสื้อผ้าที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งอย่างรวดเร็ว

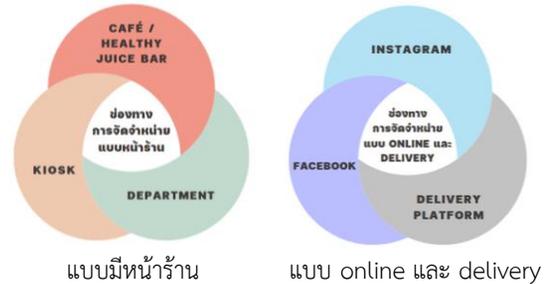
พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ระบุว่า "ขยะมูลฝอย" (WASTE) คือ สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภค ซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว บางชนิดเป็นของแข็งหรือกากของเสีย (SOLID WASTE) ขยะกลุ่มนี้ย่อยสลายได้แต่นำกลับไปใช้ประโยชน์ต่อไม่ได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร กิ่งไม้ หญ้า เศษเนื้อสัตว์ผักผลไม้เหลือทิ้ง จากการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วของประเทศไทยทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมาย ด้านความยั่งยืนในการแปรรูปอาหาร ตลอดจนการลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด คือข้อกังวลหลักสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสมัยใหม่ ของเสียจำนวนมากเกิดจากอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ในแต่ละปี นอกเหนือจากความสูญเสียทางเศรษฐกิจที่เกิดจากการกำจัดของเสีย

เหล่านี้แล้ว ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่ไม่อาจปฏิเสธได้ [2] จากบทความ The Dirty Truth About Cold-Pressed Juice [3] กล่าวว่า น้ำผลไม้ขนาด 16 ออนซ์ จะทิ้งกากผลไม้ประมาณ 3.5 ปอนด์ หรือราว 2 กิโลกรัม โดยเฉลี่ย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทผลไม้ และสถิติปี 2015 การจำหน่ายน้ำผลไม้สกัดเย็นขนาด 16 ออนซ์ จำนวน 100 ล้านหน่วยบริโภค สามารถสร้างปริมาณกากผักผลไม้ประมาณ 175,000 ตัน ปริมาณขยะจากกากผักผลไม้ที่ทับถมกันเกิดการย่อยสลาย จะสร้างก๊าซมีเทนเทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 200,000 ตัน ที่ปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ (ความรุนแรงของก๊าซมีเทนในฐานะก๊าซเรือนกระจกคือ 34 เท่าของ CO<sub>2</sub> ในระดับ 100 ปี) ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน (Climate Change) จนเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงทั้งฤดูกาล สภาพแวดล้อม และสิ่งมีชีวิตทั้งสิ้น โดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างสหรัฐอเมริกาที่มีปริมาณขยะจากผักและผลไม้ มากถึง 39% ของจำนวนขยะทั้งหมด

ในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมา กระแสรักสุขภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เหตุผลจากในปัจจุบันคนไทยมีวิถีชีวิตที่รีบเร่งมากขึ้น ทำให้ไม่เวลาคาดูแลสุขภาพของตัวเอง ทำให้ขาดความสมดุลของสารอาหาร และการบริโภคผักและผลไม้ในคนไทยเป็นสาเหตุของภาวะโรคในอันดับต้น ๆ [4] ดังนั้นสินค้าหรืออาหารที่ส่งผลดีต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องดื่มน้ำผักผลไม้ ที่สามารถรับประทานผักและผลไม้ในปริมาณมาก เพราะต้องการทดแทนอาหารประเภทอื่นจึงเพิ่มขึ้น แต่กลุ่มคนที่ไม่ชอบทานผัก ผลไม้ที่มีกากใย ไม่สามารถทำได้เนื่องจากกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผัก ยิ่งหากต้องรับประทานในปริมาณมากทำให้รู้สึกเหม็นและกากก็ไม่สามารถกลืนได้ แต่ความตระหนักถึงประโยชน์ของผักและผลไม้ซึ่งถือเป็นพืชสำคัญที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงกระตุ้นให้กลุ่มคนเหล่านี้เกิดความต้องการผลิตภัณฑ์ที่สะดวกในการบริโภคและอยู่ในรูปแบบน้ำ จากรายงาน

ของ N. K. Sinha. et al. [5] ยืนยันว่าผลไม้มีน้ำในปริมาณสูงจาก 70% ถึง 95% ของส่วนที่กินได้ของผลไม้ ซึ่งสามารถบริโภคผักผลไม้ได้ทุกชนิดและรับสารอาหารจากน้ำผักผลไม้ได้เต็มที่ เช่น น้ำผักผลไม้พร้อมดื่ม น้ำผักผลไม้คั้นสด น้ำผักผลไม้แยกกาก รวมถึงน้ำผักผลไม้สกัดเย็นที่กำลังเป็นที่นิยมและวางจำหน่ายในร้านน้ำผักผลไม้เพื่อสุขภาพ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในกลุ่มคนรักสุขภาพว่าร้าน Healthy Juice Bar น้ำผักผลไม้สกัดเย็น (Cold Pressed Juice) เป็นการนำผักผลไม้มาบีบอัด ด้วยเครื่องบีบอัดโดยเฉพาะหรือเครื่องสกัดเย็นไม่ผ่านความร้อน ซึ่งน้ำผักผลไม้สกัดเย็น 1 ขวด (250 มิลลิตร) จะใช้วัตถุดิบประมาณ 1-2 กิโลกรัม ทำให้มีความเข้มข้นของวิตามินที่ร่างกายต้องการในปริมาณมากพอสำหรับการดื่ม 1 ครั้ง ประโยชน์ของน้ำผักผลไม้สกัดเย็นมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ไม่มีสารปรุงแต่งและไม่ทำให้รู้สึกอึดอัดจากไฟเบอร์มากเกินไป แม้ว่าไฟเบอร์บางชนิดจะมีประโยชน์ แต่มากเกินไปก็สามารถทำอันตรายต่อระบบย่อยอาหาร ตลาดน้ำผักผลไม้สกัดเย็นแต่ในกระบวนการผลิตนั้นกำลังก่อให้เกิดปัญหา “ขยะ” ต่อโลกใบนี้อย่างรุนแรง น้ำผลไม้ที่เราคิดว่ามีประโยชน์และดีต่อสุขภาพนั้น กำลังถูกต่อต้านจากนักวิชาการหลากหลายประเทศทั่วโลก มุมหนึ่งคือน้ำเหล่านั้นเต็มไปดด้วยน้ำตาลมหาศาล อีกมุมหนึ่งคือความยากลำบากในการจัดการกับกากผลไม้” [6] เพราะระยะเวลาย่อยสลายของกากแต่ละชนิดแตกต่างกัน บางชนิดใช้เวลาย่อยสลาย 5-7 วัน หรือมากกว่านั้น ข้อมูลจากองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) กล่าวว่า “ขยะอาหาร” ยังเป็นประเด็นสำคัญทั่วโลก มีอัตราส่วน 1 ใน 3 ของอาหารที่ผลิตขึ้นทั่วโลก กลับถูกทิ้งให้กลายเป็นขยะเน่าเสียที่ไร้ประโยชน์ ซึ่งเฉลี่ยแล้วในแต่ละปี กว่า 1,300 ล้านตัน ปริมาณขยะประเภทผักและผลไม้ที่ถูกทิ้งและสร้างปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาขยะประเภทกากจากการผลิตน้ำผักผลไม้เหลือทิ้ง (fruit and vegetable waste / juice

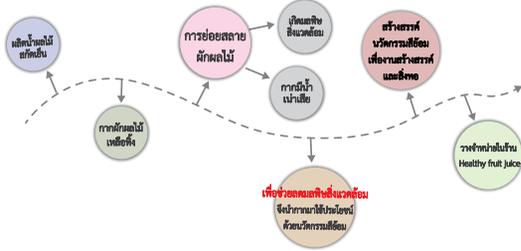
pulp waste) ซึ่งปัจจุบันร้านจำหน่ายน้ำผักผลไม้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทั้งแบบมีหน้าร้าน online และ delivery ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการจำหน่ายน้ำผักผลไม้

ด้วยปัญหาสะท้อนให้เห็นแนวทางการช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อมด้วยแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R= reuse, recycle, reduce) จนขยะเหลือเป็นศูนย์ (Zero Waste) เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจสร้างสรรค์อย่างยั่งยืนพร้อมส่งเสริมให้เกิดองค์ความรู้ใหม่จากการลดมลพิษสิ่งแวดล้อมโดยใช้กากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งจากร้าน Healthy Juice Bar อีกทั้งกระแสผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-friendly products) กำลังอยู่ในกระแสนิยมผ่านการสร้างสรรค์นวัตกรรมสีเขียวจากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งเป็นผลิตภัณฑ์เฉพาะกลุ่ม (Niche product) จัดจำหน่ายในร้าน Healthy Juice Bar หรือ online แสดงในรูปที่ 1 และพัฒนาเศรษฐกิจสร้างสรรค์ต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์ในระดับอุตสาหกรรมแฟชั่น โดยใช้แนวโน้มแฟชั่นตามฤดูกาล (Trend Season) ของกลุ่มโทนสี (Color way) เป็นตัวกำหนดผลงาน [7] จากการศึกษาข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยต้องการสร้างนวัตกรรมสีเขียวจากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งที่สามารถนำไปใช้งานได้อีกครั้ง (reuse) และรักษาคุณภาพของสีส่วนที่เหลือจากการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็นไว้ ด้วยการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ (recycle) ให้อยู่ในรูปแบบของสีสำหรับงานสิ่งทอและงานสร้างสรรค์ส่งเสริมตราสินค้าในร้าน Healthy juice bar ให้อยู่ใน

กระแสนิยม และได้้นำสำหรับย้อมสีสิ่งทอในอุตสาหกรรมแฟชั่น ซึ่งเป็นการใช้ขยะที่เหลือทิ้งให้มีมูลค่าสามารถวางจำหน่ายในร้าน Healthy juice bar เขตกรุงเทพมหานคร ตามแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวทางการลดมลพิษสิ่งแวดล้อมด้วยแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R= reuse, recycle, reduce)

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

กระบวนการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ซึ่งใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็นที่จำหน่ายในร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร คือ กากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง เส้นด้ายฝ้าย สารช่วยติด 5 ชนิด คือ สารส้ม น้ำส้มสายชู น้ำปูนใส น้ำซี้เถ้า จุนสี สารฟอกสีประจุบวก (Cationic Fixing Agent) เครื่องคั้นน้ำระบบกึ่งอุตสาหกรรม เครื่องอบแห้ง และเครื่องบดผงละเอียด เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างนวัตกรรมสีย้อม โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

### 2.1 ขั้นตอนการวิจัย

#### 2.1.1 ศึกษาลักษณะและกระบวนการเก็บและคัดแยกของกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง จากร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร

ผู้วิจัยใช้วิธีสัมภาษณ์แบบเจาะลึกและมีโครงสร้าง (in-depth interview and structured interview) ใช้วิธีการเลือกผู้ให้ข้อมูลแบบเจาะจง

(Purposive sampling) และใช้การวิจัยแบบสังเกตการณ์แบบไม่มีส่วนร่วม (non-participant observations)

#### 2.1.2 เพื่อหาแนวทางการสร้างนวัตกรรมสีย้อมจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งด้วยแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R) จนขยะเหลือเป็นศูนย์ (Zero Waste)

โดยวิธีวิจัยเชิงทดลอง ด้วยการนำกากน้ำผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งที่ได้รับจากร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อม เพื่อหาแนวทางในการสร้างนวัตกรรมสีด้วยแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R) ตามแผนผังความคิดดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังความคิดการนำกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ (3R) จนขยะเหลือเป็นศูนย์ (Zero Waste) เพื่อสร้างนวัตกรรมสีจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

มีขั้นตอนดำเนินการวิจัยเชิง 2 ขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** การเตรียมน้ำย้อม นำกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งมาบดด้วยเครื่องคั้นน้ำระบบกึ่งอุตสาหกรรม เพื่อใช้น้ำคองเหลือมาย้อมสีเส้นด้าย โดยทำการทดลองบดกากตัวอย่างละ 5 ซ้ำ และเก็บกากที่ผ่านการบดไว้เพื่อใช้ในงานสร้างสรรค์ต่อไป

**ขั้นตอนที่ 2** การย้อมสีสิ่งทอ ใช้การย้อมร้อนและย้อมเย็น วิธีการย้อมมีดังนี้

1) ทำความสะอาดเส้นด้ายฝ้าย 100 กรัม แชนอนโซ่ม (เอนอิช) เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นล้างออกด้วยน้ำสะอาด

2) แช่เส้นด้ายกับสารฟลิกซ์ประจุบวก (Cationic Fixing Agent) ก่อนย้อม และบิดให้หมาดก่อนย้อม

3) เตรียมสารช่วยติดแต่ละชนิด ในอัตราส่วน 30% ใช้สัดส่วนน้ำหนักเส้นด้ายต่อสารช่วยติด 1 : 10 กรัม และน้ำย้อม 10 มิลลิลิตร

4) การย้อมสี มี 2 วิธี คือ การย้อมร้อน นำเส้นด้ายลงย้อมสีที่เตรียมไว้ ในอัตราส่วน 1:20 ต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส คนและกลับเส้นด้ายเพื่อให้เส้นด้ายติดสีสม่ำเสมอ เป็นเวลา 60 นาที เมื่อครบเวลานำเส้นด้ายบิดหมาดกระตุกเส้นด้าย 2-3 ครั้ง แล้วจึงแช่สารช่วยติด เป็นเวลา 60 นาที และการย้อมเย็น นำเส้นด้ายที่เตรียมไว้ แช่หมักเป็นเวลา 24 ชั่วโมง คนและกลับเส้นด้ายเพื่อให้เส้นด้ายติดสีสม่ำเสมอ และแช่สารช่วยติด เป็นเวลา 60 นาที

5) วิเคราะห์ผลการทดลอง ด้วยการทดสอบสิ่งทอ คือ วัดค่าสี หน่วยสี CIE L\*a\*b\* ความคงทนของสี ต่อแสง และการซักล้าง

### 2.1.3 การสร้างผงสีจากกากเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดสีน้ำย้อมสิ่งทอ

นำกากที่ผ่านการบดแล้วในขั้นตอนที่ 1 มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำไปบดละเอียด และร่อนอีกครั้งเพื่อให้ได้ผงสีที่ละเอียด

### 2.1.4 การสร้างสีพิมพ์จากผงสีกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง มี 2 วิธี คือ

1) ใช้แป้งพิมพ์สำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของสารอะโคลิคผสมกาว อัตราส่วนสีผง 1 กรัม ต่อแป้งพิมพ์ 10 กรัม คนให้เข้ากัน

2) ใช้แป้งพิมพ์ธรรมชาติที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา อัตราส่วนสีผง 10 กรัม ต่อแป้งพิมพ์ธรรมชาติ 50 กรัม และเพิ่มสารช่วยให้เกิดการยึดติดหรือเงาวาว 2 กรัม

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 ลักษณะ กระบวนการเก็บและคัดแยกของกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง จากร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร

จากการวิจัยวิเคราะห์ลักษณะการกำจัดกากมีทั้งแบบทิ้งรวมกันหลายชนิดและคัดแยกกากแต่ละสี จากการดำเนินงานครั้งนี้พบว่า ปริมาณกากที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็นจากร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร ที่ถูกทิ้งต่อวันเฉลี่ย 10 – 50 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับยอดการจำหน่ายในแต่ละวัน ซึ่งลักษณะกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งจากร้านที่ไม่มีระบบการคัดแยกขยะเกิดจากการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็นด้วยวิธีการนำส่วนผสมผักผลไม้ลงในเครื่องผลิตน้ำสกัดเย็นภายในครั้งเดียวกัน ดังนั้นเวลาที่ทิ้งจึงไม่มีกระบวนการเก็บและคัดแยกกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง กากจึงมีลักษณะผสมรวมกันไม่สามารถแยกได้ ดังแสดงในรูปที่ 4



**รูปที่ 4** ลักษณะกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งจากร้านที่ไม่มีระบบการคัดแยกขยะด้วยเครื่องผลิตน้ำสกัดเย็นแบบไม่แยกวัตถุดิบ

ส่วนลักษณะกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งจากร้านที่มีระบบการคัดแยกขยะเกิดจากการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็นด้วยวิธีการแยกชนิดผักผลไม้ลงในเครื่องผลิตน้ำสกัดเย็นก่อนนำมาผสมกันตามสัดส่วนที่ได้คำนวณไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งสอดคล้องข้อมูลของ G. Khaksar et al. [8] กล่าวไว้ว่าน้ำผลไม้คั้นสดบางชนิดที่คั้นโดยเครื่องผลิตน้ำผลไม้สกัดเย็น และเปรียบเทียบกับน้ำผลไม้ที่คั้นโดยเครื่องคั้นแบบแรงเหวี่ยงปกติ เราไม่พบความแตกต่างที่สำคัญระหว่างน้ำผลไม้คั้นเย็นและน้ำผลไม้คั้นแบบแรงเหวี่ยงปกติในแง่ของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนั้นกากที่ถูกแยกสีและชนิดของวัตถุดิบสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายหลายรูปแบบมากขึ้น เมื่อได้กากจากร้าน Healthy Juice Bar แล้วนำมาแช่ในตู้แช่เย็นเพื่อยืดอายุไม่ให้น่าเสีย



รูปที่ 5 ลักษณะกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งจากร้านที่มีระบบการคัดแยกขยะด้วยเครื่องผลิตน้ำสกัดเย็นแบบแยกวัตถุดิบ

### 3.2 แนวทางในการสร้างนวัตกรรมสีเขียวจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งด้วยแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R) จนขยะเหลือเป็นศูนย์ (Zero Waste)

ผลการศึกษาแนวทางในการสร้างนวัตกรรมสีเขียวตามแนวคิดการนำกลับมาใช้ (3R) จากกากน้ำผักผลไม้

สกัดเย็นเหลือทิ้งที่ได้รับจากร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร สรุปลผลการทดลองได้ ดังนี้

#### 3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำย้อม

การบีบอัดกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง ปริมาณกาก 1,000 กรัม ด้วยเครื่องคั้นน้ำระบบกึ่งอุตสาหกรรม ได้ปริมาณน้ำสี 828.96 กรัม คิดเป็นร้อยละ 82.89 จากการทดลองตัวอย่างทำซ้ำ 5 ครั้ง ทั้งนี้ปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับน้ำที่เหลืออยู่ในกาก แสดงไว้ดังรูปที่ 6 และ 7 โดยแสดงปริมาณน้ำสีที่ได้จากการบีบอัด พบว่าการบีบอัดกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งเฉลี่ยร้อยละ 80 หรือระหว่าง 500 – 800 มิลลิกรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ N. K. Sinha. et al. [5] ว่าผลไม้มีน้ำในปริมาณสูงประมาณ 70% ถึง 95% ของส่วนที่กินได้ของผลไม้



ก) กากผักผลไม้เหลือทิ้ง



ข) เครื่องคั้นน้ำระบบกึ่งอุตสาหกรรม

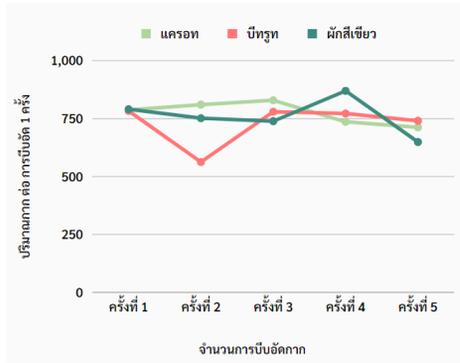


ค) น้ำสีที่ได้หลังการบีบอัด



ง) กากที่ผ่านการบีบอัดแล้ว

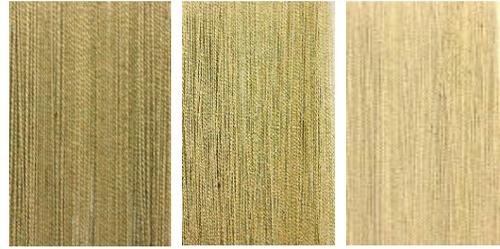
#### รูปที่ 6 กระบวนการเตรียมน้ำย้อม



รูปที่ 7 ปริมาณน้ำที่ได้จากการบีบอัด

### 3.2.2 ขั้นการย้อมสีสิ่งทอด้วยน้ำสีจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

ในการวิจัยนี้เตรียมเส้นด้ายโดยแช่กับสารฟีนิกซีประจุบวก (Cationic Fixing Agent) ก่อนย้อม นาน 20 นาที วิธีการย้อมร้อนและย้อมเย็น อัตราส่วน 1:20 สารช่วยติดต่างชนิดกัน คือ สารส้ม น้ำปูนใส เกลือ และจุนสี จะทำให้เกิดเฉดสีที่แตกต่างกัน สอดคล้องกับ A. A. Peláez-Cid et al. [9] ผลวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มประจุบวกในการย้อมสี *O. ficus-indica fruit waste* จะทำให้สีติดดีขึ้น ผลการย้อมเส้นด้ายย้อมด้วยน้ำสีจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง โดยใช้สารช่วยติดในการย้อมสีต่างๆ ก) ผักชีเขียว + ย้อมร้อน + สารส้ม ได้สีเหลืองทอง ข) ผักชีเขียว + ย้อมร้อน + น้ำปูนใส ได้สีเหลืองอมเขียวหม่น ค) แครอท + ย้อมร้อน + จุนสี ได้สีเหลืองหม่น ง) แครอทม่วง + ย้อมเย็น+ สารส้ม ได้สีน้ำเงินเทา จ) กะหล่ำปลีม่วง + ย้อมเย็น + เกลือ ได้สีน้ำเงินเทา และ ฉ) กากผักผลไม้แบบผสม+ ย้อมร้อน และไม่ใช้สารช่วยติด ได้สีน้ำตาลเทาอ่อน ซึ่งสีที่ได้จะเปลี่ยนแปลงสารช่วยติด และแสดงในตารางที่ 1 แสดงผลการวัดค่าสี รหัส PANTONE และการทดสอบสิ่งทอความคงทนของสีต่อแสงและการซักล้างของเส้นด้ายย้อมสีจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 8



ก) ผักชีเขียว + ย้อมร้อน + สารส้ม

ข) ผักชีเขียว + ย้อมร้อน + น้ำปูนใส

ค) แครอท + ย้อมร้อน + จุนสี



ง) แครอทม่วง + ย้อมเย็น+ สารส้ม

จ) กะหล่ำปลีม่วง + ย้อมเย็น + เกลือ

ฉ) กากผักผลไม้แบบผสม+ ย้อมร้อน และไม่ใช้สารช่วยติด

รูปที่ 8 เส้นด้ายย้อมด้วยน้ำสีจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

ตารางที่ 1 ค่าสี รหัส PANTONE และการทดสอบสิ่งทอความคงทนของสีต่อแสงและการซักล้างของเส้นด้ายย้อมสีจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

| เส้นด้าย | PANTON E | วัดค่าสี CIE |      |       | ทดสอบสิ่งทอ |     |
|----------|----------|--------------|------|-------|-------------|-----|
|          |          | L*           | a*   | b*    | แสง         | ซัก |
| 1.       |          | 70.79        | 3.08 | 23.70 | 3           | 3/4 |
| 2.       |          | 66.13        | 3.50 | 35.69 | 3           | 3/4 |

| เส้นด้าย | PANTON<br>E   | วัดค่าสี CIE  |       |       | ทดสอบ<br>สิ่งทอ |     |     |
|----------|---|---|-------|-------|-----------------|-----|-----|
|          |   | L*  | a*    | b*    | แสง             | ซัก |     |
| 3.       |  |  | 75.01 | 3.72  | 28.35           | 3   | 3/4 |
| 4.       |  |  | 27.35 | -4.43 | -0.68           | 2   | 1   |
| 5.       |  |  | 37.84 | -0.17 | 11.22           | 3   | 3/4 |
| 6.       |  |  | 63.67 | 2.11  | 17.94           | 3   | 4   |

จากตารางที่ 1 แสดงการวัดค่าสี CIE และรหัส PANTONE ของเส้นด้าย จากการทดลองย้อม 3 ซ้ำ สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้ 1) เส้นด้ายที่ย้อมจากกากผักสีเขียวใช้สารช่วยติดสารส้อม มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลือง ที่  $L^*70.79$   $a^*3.08$   $b^*23.70$  2) เส้นด้ายที่ย้อมจากกากผักสีเขียวใช้สารช่วยติดน้ำปูนใส มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลือง - เขียว ที่  $L^*66.13$   $a^*3.50$   $b^*35.69$  3) เส้นด้ายที่ย้อมจากกากแครอทใช้สารช่วยติดจุนสี มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลือง ที่  $L^*75.01$   $a^*3.72$   $b^*28.35$  4) เส้นด้ายที่ย้อมจากกากแครอทม่วงใช้สารช่วยติดสารส้อม มีค่า  $L^*27.35$   $a^*-4.43$   $b^*-0.68$  คือมีค่าความมืดและค่าความเป็นสีน้ำตาลดำ 5) เส้นด้ายที่ย้อมจากกากกะหล่ำปลีม่วงใช้สารช่วยติดเกลือ มีค่า  $L^*37.84$   $a^*-0.17$   $b^*11.22$  คือมีค่าความมืดและค่าความเป็นสีเหลืองเข้ม 6) เส้นด้ายที่ย้อมจากกากผักผลไม้แบบผสมไม่ใช้ สารช่วยติด มีค่า  $L^*63.67$   $a^*2.11$   $b^*17.94$  คือ มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองอ่อน ปัจจัยสำคัญของสีที่

สกัดได้แต่ละครั้ง คือความเข้มข้นของสีที่เหลืออยู่ในกาก ผลการย้อมพบว่าไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลต่อการย้อมสีเส้นด้ายจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

### 3.2.3 ผลการวิจัยการผลิตผงสีจากกากเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดสีน้ำย้อมสิ่งทอ

ในกระบวนการวิจัยนำกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งหลังการสกัดสี ปริมาณ 400 กรัม อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ได้ปริมาณน้ำหนักกากแห้งอยู่ที่ 100 - 150 กรัม แสดงไว้ดังรูปที่ 9 ซึ่งผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับเจตนิพัทธ์และคณะ [10] ที่ดำเนินการวิจัยวิธีการเตรียมเปลือกทุเรียนต้องผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง



รูปที่ 9 ก) เครื่องอบแห้ง ข) เครื่องบดผงละเอียด

กระบวนการเตรียมสีผงจากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งและลักษณะกากอบแห้ง 100 กรัม เมื่อนำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียดสูง รอบละ 5 นาที จำนวน 3 รอบ จากการทดลองตัวอย่างทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยแสดงปริมาณผงสีจากกากอบแห้งหลังการบด แสดงไว้ดังรูปที่ 11 พบว่ากากอบแห้งมีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 98.66 ในส่วนน้ำหนักที่หายไปคือผงที่ละเอียดและฟุ้งกระจายในขณะเก็บผงสีจากเครื่องบดละเอียดสูง ในการวิจัยขั้นต้นนำไปสร้างผงสีได้มากกว่า 10 เกรดสี แสดงไว้ดังรูปที่ 12 ความร้อนระหว่างการอบแห้งและการบดละเอียด ทำให้สีของกากเปลี่ยนไป จำเป็นต้องควบคุมความร้อนและระยะเวลา ดังแสดงในรูปที่ 10

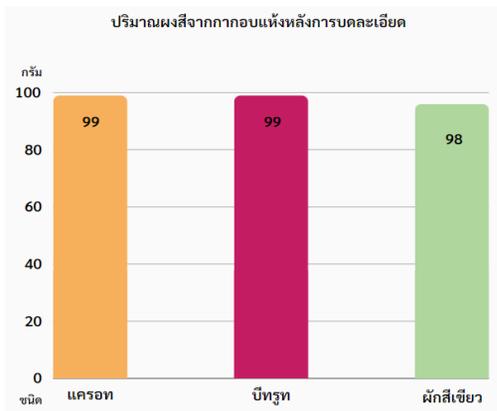


ก) น้ำหนักกากผักผลไม้เหลือทิ้งอบแห้งเพื่อการบดละเอียด



ข) กากบดละเอียด และ ปริมาณคงเหลือหลังบดแล้ว

รูปที่ 10 กระบวนการเตรียมสีผงกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง



รูปที่ 11 ปริมาณผงสีจากกากอบแห้งหลังการบด



ก) กาก และผงสีที่บดละเอียด ข) เจดสีส้ม - เหลือง



ค) เจดสีเขียวทอง - เขียว - เขียวเข้ม



ง) เจดสีแดง - ชมพู - ม่วง - น้ำตาล - น้ำตาลเข้ม

รูปที่ 12 ตัวอย่างผงสีจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

### 3.2.4 ผลการผลิตสีพิมพ์จากผงสีกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

ใช้แป้งพิมพ์สำเร็จรูปและแป้งพิมพ์ธรรมชาติผสมตามสัดส่วนงานวิจัย เมื่อคนสีผงกับแป้งพิมพ์ให้เข้ากัน เนื้อสีพิมพ์จะมีความเนียนลื่น ส่งผลให้สีพิมพ์ลงบล็อกสกรีนดีขึ้น ทั้งนี้ สามารถสร้างเจดสีโดยการผสมสารช่วยติด เช่น สารส้ม เกลือ เพื่อสร้างสีใหม่จากสีผงเดิม ผ้าที่พิมพ์ด้วยสีพิมพ์แล้ว นำไปผนึกสีด้วยเตารีดหรือผ่านเครื่องรีดร้อน (Heat press) เพื่อให้สีติดทนขึ้น สร้างสีผงได้มากกว่า 10 เจดสี สามารถใช้กับผ้าใยธรรมชาติได้ทั้งฝ้ายและไหม แสดงไว้ดังรูปที่ 13 และ 14 ซึ่งสอดคล้องกับ S. Babel et al. [11] ผลการวิจัยพบว่า ผ้าไหมสามารถสกรีนด้วยสีย้อมธรรมชาติได้สำเร็จ ดังนั้นเมื่อนำผ้าตัวอย่างมาทดลองการพิมพ์กับแป้งทั้ง 2 ชนิด จะสามารถติดผ้าได้ เพราะมีการยึดติดระหว่างสี กาว และผ้า โดยมีตัวแป้งทำหน้าที่กั้นลายไม่ให้สีไหลซึมไปยังบริเวณอื่น จากนั้นนำไปรีดด้วยความร้อน จะช่วยให้สีติดผ้าได้ดีขึ้น รวมทั้งการซักล้างเช่นเดียวกัน

3.2.5 การสร้างสรรค์สู่ระดับอุตสาหกรรมแฟชั่น

จากกระบวนการวิจัยการนำกลับมาใช้ใหม่ ทั้ง 3R = reuse, recycle, reduce ตั้งแต่กากเหลือทิ้ง จนเหลือเป็นศูนย์ (Zero Waste) เพื่อสร้างนวัตกรรมสี และใช้เป็นแนวทางในอุตสาหกรรมแฟชั่นสำหรับผลิตภัณฑ์สินค้าแฟชั่นไลฟ์สไตล์ได้ โดยเปรียบเทียบ แนวโน้มสี Colour Spring / summer 2024 [12] กับ กลุ่มสีจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง 2 กลุ่มสี คือ กลุ่มสีเพื่อย้อมสีสิ่งทอ และ กลุ่มสีเพื่องานสร้างสรรค์ ดังแสดงในรูปที่ 15-17



ก) สีพิมพ์ผ้า

ข) ลักษณะเนื้อสีพิมพ์



ค) ทดสอบพิมพ์ผ้าฝ้ายและผ้าลินิน ด้วยสีพิมพ์จากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

รูปที่ 13 สีพิมพ์จากสีผงจากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง ด้วยแป้งพิมพ์สำเร็จรูป



ก) สีพิมพ์ผ้า

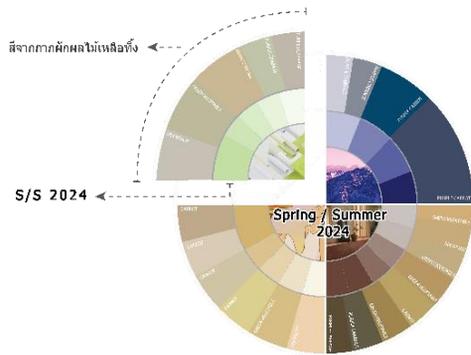


ข) ทดสอบการพิมพ์ผ้า

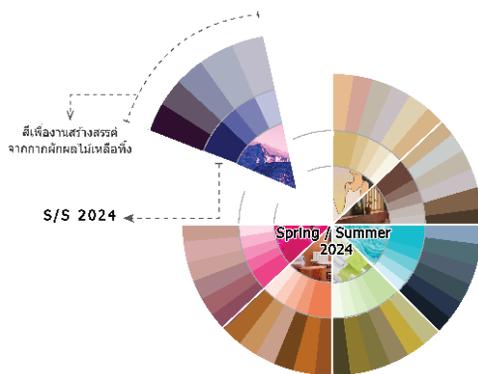
รูปที่ 14 สีพิมพ์จากสีผงจากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง ด้วยแป้งพิมพ์ธรรมชาติ



รูปที่ 15 แนวโน้มสี Colour Evolution S/S 2024 ที่มา : TCDC (2023)



รูปที่ 16 กลุ่มสีเพื่อย้อมสีสิ่งทอ



รูปที่ 17 กลุ่มสีเพื่องานสร้างสรรค์

## 4. สรุป

จากผลการวิจัยสร้างนวัตกรรมสีเขียวสำหรับงานสิ่งทอและงานสร้างสรรค์ การช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อมด้านปัญหาขยะจากกระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็น ด้วยแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R = reuse, recycle, reduce) ทำให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจสร้างสรรค์ เป็นแนวทางการลดปริมาณขยะเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็นในแต่ละวันสามารถขยายและการวิจัยเพื่อสร้างตราสินค้าผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ผู้ประกอบการร้านน้ำผักผลไม้สกัดเย็นในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อการขยายช่องทางการจำหน่ายและต่อยอดสินค้าเฉพาะทาง (niche product) และเป็นสินค้าทำมือ (Handicraft) ที่ผลิตจากกากน้ำผัก

ผลไม้สกัดเย็นในสูตรหรือรสชาติที่ชอบ สามารถสรุปผลวิจัยได้ 2 หัวข้อ ดังนี้

### 4.1 ลักษณะ กระบวนการเก็บและคัดแยกกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร

ปริมาณกากที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งจากร้าน Healthy Juice Bar ในเขตกรุงเทพมหานคร ที่ถูกทิ้งต่อวันเฉลี่ย 10 – 50 กิโลกรัม ซึ่งลักษณะกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งมีทั้งแบบผสมชนิดผักผลไม้ และแบบแยกผักผลไม้แต่ละชนิด

### 4.2 แนวทางในการสร้างนวัตกรรมสีเขียวจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งด้วยแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R) จนขยะเหลือเป็นศูนย์ (Zero Waste)

#### 4.2.1 การย้อมสีสิ่งทอจากน้ำสีจากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้ง

ผลวิจัยพบว่า การทำความสะอาดและแช่สารประจุบวกช่วยเส้นด้ายฝ้ายติดสีได้ดีขึ้น เนื่องจากกากที่ได้มาจากร้านมีปริมาณไม่เท่ากันทำให้เวลาสกัดน้ำสีต้องรอให้กากมีปริมาณเพียงพอต่อการย้อมแต่ละครั้ง จากการวิเคราะห์ค่าสีและรหัส PANTONE ของเส้นด้ายที่ย้อมจากกากผักผลไม้สกัดเย็นเหลือทิ้งด้วยการใช้สารช่วยติดต่างๆ ส่วนใหญ่มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลือง และมีค่าความมืดและค่าความเป็นสีน้ำเงินต่ำ

#### 4.2.2 การผลิตผงสี

ส่วนของกากที่เหลือทิ้งจากการบีบน้ำออกในขั้นตอนย้อมสีสามารถนำมาใช้ทำเป็นสีผงต่อได้ เพราะยังมีสีอยู่ในเนื้อกากผักผลไม้ ตามแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ (3R) จนขยะเหลือเป็นศูนย์ (Zero Waste) จากผลการวิจัยพบว่า การอบแห้งและการบดกากแต่ละครั้ง

ความร้อนทำให้สีของกากเปลี่ยนไป จำเป็นต้องควบคุมความร้อนและระยะเวลา น้ำหนักของผงสีที่หายไปคือฟุ้งกระจายในขณะเก็บผงสี

#### 4.2.3 พัฒนาผงสีเป็นสีพิมพ์เพื่อใช้ในงานสร้างสรรค์

สามารถใช้กับผ้าใยธรรมชาติได้ ด้วยการนำแนวคิดการนำกลับมาใช้ใหม่ เหมาะกับการผลิตสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-friendly products) ของร้าน Healthy juice bar และสร้างอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์แพคเกจจิ้งไลฟ์สไตล์ในวงการอุตสาหกรรมแฟชั่นได้ และยังช่วยลดมลพิษสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง ผลิตภัณฑ์นี้เป็นสินค้าที่มีคนนิยมเฉพาะกลุ่มเพื่อให้ขยายตลาดได้มากขึ้นและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้นั้น ในส่วนของการคำนวณต้นทุนการผลิตสามารถแบ่งเป็นต้นทุนวัตถุดิบ ซึ่งมีต้นทุนต่ำเพราะเป็นการใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้สกัดเย็น แต่ต้นทุนวัตถุดิบการผลิตที่ต้องใช้เวลานานส่งผลให้มีต้นทุนสูง ซึ่งอยู่ระหว่างการดำเนินการในอนาคต

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่สนับสนุนทุนการศึกษาระดับปริญญาเอก หลักสูตรศิลปกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต และ ขอขอบพระคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยแฟชั่นและนวัตกรรมศิลป์ ภาควิชาออกแบบนิเทศศิลป์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Bick, E. Halsey, and C. C. Ekenga, "The global environmental injustice of fast fashion," *Environmental Health*, vol. 17, art. no. 92, Dec. 2018.
- [2] K. Kandemir, E. Piskin, J. Xiao, M. Tomas, and E. Capanoglu, "Fruit juice industry wastes as a source of bioactives," *Journal*

*of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 70, no. 23, pp. 6805–6832, Jun. 2022.

- [3] Food & Drink, "The dirty truth about cold-pressed juice," [Online]. Available: <https://modern-farmer.com/2016/06/cold-pressed-juice-food-waste>. [Accessed: Jun. 22, 2016].
- [4] A. Eakpanit, "Factors affecting purchasing cold pressed juice drink of consumers in Bangkok areas and perimeters," Ph.D. dissertation, Business School, Thammasat Univ., Bangkok, Thailand, 2015.
- [5] N. K. Sinha, J. S. Sidhu, J. Barta, J. S. B. Wu, and M. Pilar Cano, *Handbook of Fruits and Fruit Processing*, 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing, 2012.
- [6] Environmental News Team, "The other side of the creepy truth: 'Juice' harms the world – destroys health," [Online]. Available: <https://greennews.agency/?p=15325>. [Accessed: Jul. 25, 2021].
- [7] P. U-Tiswannahakul, *Fashion and Merchandising*, 1st ed. Bangkok: Chulalongkorn University, 2017.
- [8] G. Khaksar, K. Assatarakul, and S. Sirikantaramas, "Effect of cold-pressed and normal centrifugal juicing on quality attributes of fresh juices: Do cold-pressed juices harbor a superior nutritional quality and antioxidant capacity?," *Heliyon*, vol. 5, no. 6, pp. e01804, Jun. 2019.

- [9] A. A. Peláez-Cid, A. Velázquez-Ugalde, A. M. Herrera-González, and J. García-Serrano, "Textile dyes removal from aqueous solution using *Opuntia ficus-indica* fruit waste as adsorbent and its characterization," *Journal of Environmental Management*, vol. 130, pp. 90–97, Nov. 2013.
- [10] J. Bunyasawat and C. Bhoosem, "Effect of substitution durian rind powder with wheat flour on tarts quality," *RMUTP Research Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 113–124, Jun. 2018.
- [11] S. Babel and R. Gupta, "Screen printing on silk fabric using natural dye and natural thickening agent," *Journal of Textile Science and Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 113–124, Jan. 2015.
- [12] Thailand Creative and Design Center (TCDC), "Trend 2024: Remade anew," [Online]. Available: <https://www.tcdc.or.th/th/all/service/resource-center/e-book/34204-trend-2024>. [Accessed: Nov. 6, 2023].

## ผลของการทดแทนน้ำตาลซูโครสด้วยน้ำตาลอิริทริทอลต่อการยอมรับและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของดาร์กช็อกโกแลตผสมสารสกัดรากโสมอินเดียในกลุ่มผู้ใหญ่ที่มีปัญหาการนอนไม่หลับ

สิริชาญ รัตน์โชติช่วง ชุตติกาญจน์ วิริยะเสริมสุข ศรัญญา ฉวีสุข จิระเดช บุตรโหม  
มณีนรัตน์ เตชะวิเชียร ญาณิศา ทับเจริญ และ ฉัตรภา หัตถโกศล\*

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล  
420/1 ถนนราชวิถี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

รับบทความ 16 กรกฎาคม 2566 แก้ไขบทความ 2 มกราคม 2567 ตอรับบทความ 12 กุมภาพันธ์ 2567

### บทคัดย่อ

การนอนไม่หลับส่งผลกระทบต่อร่างกายทำให้อ่อนเพลีย หงุดหงิดง่าย ง่วงนอนในตอนกลางวัน ร่างกายขาดพลังงาน และประสิทธิภาพในการทำงานลดลงซึ่งโสมอินเดียเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณช่วยลดความเครียด และสามารถเพิ่มคุณภาพการนอนหลับร่วมกับผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่สามารถฟื้นฟูระบบหัวใจและหลอดเลือดหลังจากการอดนอนได้ อีกทั้งประโยชน์ของน้ำตาลอิริทริทอลที่ช่วยยับยั้งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดและสามารถป้องกันฟันผุ ได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ใหญ่ที่มีปัญหาการนอนไม่หลับต่อสูตรน้ำตาลอิริทริทอลที่ต่างกันของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่พัฒนา โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจำนวน 30 คน (เพศชายร้อยละ 30 และเพศหญิงร้อยละ 70, อายุ 20-59 ปี) จะได้บริโภคผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต 4 สูตรได้แก่ ผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตสูตรปกติ (สูตร 1) และ ผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่พัฒนาสูตรผสมสารสกัดรากโสมอินเดีย 300 มิลลิกรัมผสมน้ำตาลอิริทริทอล ร้อยละ 20 (สูตร 2) ร้อยละ 30 (สูตร 3) และ ร้อยละ 40 (สูตร 4) พร้อมทั้งทำแบบทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่พัฒนาทุกสูตรได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมอยู่ในระดับความชอบมาก โดยผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต สูตร 2 ได้รับคะแนนของด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุดในกลุ่มผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่พัฒนา ดังนั้นสูตร 2 จึงเป็นสูตรที่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อจำหน่ายหรือทำการศึกษาเชิงคลินิกต่อไปได้ อย่างไรก็ตามในการเติมน้ำตาลอิริทริทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นสามารถส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ไม่ดีได้

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต; สารสกัดรากโสมอินเดีย; น้ำตาลอิริทริทอล; การยอมรับทางประสาทสัมผัส

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 2249 6564, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: chatrapa@yahoo.com

# The Effects of Substituting Sucrose with Erythritol on Acceptability and Sensory Quality of Dark Chocolate Mixed with Ashwagandha in Insomnia Adult

Sirichan Ratanachotchuang Chutikan Viriyasermsuk Sarunya Chaveesuk  
Jiradej Bootmo Maneerat Techavichian Yanisa Thapcharoen and  
Chatrapa Hudthagosol\*

Faculty of Public Health, Mahidol University

420/1 Ratchawithi Road, Thung Phayathai, Ratchathewi, Bangkok, 10400

---

Received 16 July 2023; Revised 2 January 2024; Accepted 12 February 2024

## Abstract

The effects of insomnia include weariness, irritability, daytime sleepiness, loss of energy, and decreased productivity. Ashwagandha (*Withania somnifera*) has been found to reduce stress and improve sleep quality. Moreover, it can help restore cardiovascular function after sleep deprivation, and erythritol can help prevent increases in insulin and blood sugar levels. This study aimed to develop dark chocolate products with Ashwagandha root extract containing different amounts of erythritol. A total of 30 individuals (30% male and 70% female, aged 20–59 years). Each participant received four dark chocolate samples: (1) a basic dark chocolate products (formula 1), and (2–4) dark chocolate products containing 300 mg of Ashwagandha root extract with 20% (formula 2), 30% (formula 3), and 40% (formula 4) erythritol. A sensory test was conducted using a 9-point hedonic scale. All developed dark chocolate products received high overall acceptance scores. In particular, formula 2 received the highest appearance, flavor, aroma, texture, and overall preference acceptance scores among the developed dark chocolate products. Hence, formula 2 has potential for commercial development and future clinical studies. However, increasing the amount of erythritol may negatively affect texture and taste.

**Keywords:** Dark chocolate product; Ashwagandha root extract; Erythritol; Sensory test

---

\* Corresponding Author. Tel.: +668 2249 6564, E-mail Address: chatrapa@yahoo.com

## 1. บทนำ

ปัญหาการนอนไม่หลับ เป็นสาเหตุหลักในการรบกวนการนอน จากการศึกษาเชิงระบาดวิทยาเกี่ยวกับอาการนอนไม่หลับโดยเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุในประเทศไทยพบว่า มีประชากรมีอาการนอนไม่หลับร้อยละ 46.3 จากการสำรวจในประชากรที่มีอายุมากกว่า 60 ปี จำนวน 40,111 คน [1] โดยอาการนอนไม่หลับสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกช่วงอายุ นอกจากนี้การนอนไม่หลับยังส่งผลกระทบต่อบุคคลในด้านต่าง ๆ เช่น อ่อนเพลีย ง่วงนอนในตอนกลางวัน หงุดหงิดง่าย ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง [2]

สมุนไพรที่ช่วยบรรเทาอาการนอนไม่หลับนั้นมีหลากหลายชนิด ได้แก่ เซนต์จอห์นเวิร์ต วาเลอเรียน รากตังกุย รากกันเจียง [3] อีกทั้งยังมีการศึกษาทางคลินิกเกี่ยวกับสารสกัดจากรากโสมอินเดียในปริมาณ 300 มิลลิกรัม ว่ามีส่วนช่วยในการลดและจัดการความเครียดและความวิตกกังวล เพิ่มคุณภาพการนอนหลับโดยลดระยะเวลาตั้งแต่เข้านอนจนถึงช่วงที่เริ่มหลับ (Sleep onset latency) ได้ [4] โดยสารสกัดจากรากโสมอินเดียมีสารประกอบที่สำคัญ คือ วิทาโนไลด์ (Withanolides) เป็นกลุ่มของสเตียรอยด์แลคโตน (Steroidal lactones) และอนุพันธ์อีกมากมายที่มีส่วนช่วยในการลดความกังวล บรรเทาอาการซึมเศร้า และการนอนไม่หลับดีขึ้น โดยผ่านการปรับสมดุลการทำงานของแกนไฮโปทาลามัสพิทูอิทารีอะดรีนัล (Hypothalamic-Pituitary-Adrenal) [5] ทั้งนี้ ในปัจจุบันมีการใช้สารสกัดจากรากโสมอินเดียเป็นส่วนผสมในขนมหวาน ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และผลิตภัณฑ์นม [6]

ดาร์กช็อกโกแลตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีรสชาติและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ [7] ซึ่งมีน้ำตาลเป็นส่วนผสมที่สำคัญต่อรสชาติของช็อกโกแลต โดยผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตส่วนใหญ่มีน้ำตาลซูโครสเป็นส่วนประกอบที่มีความหวานและให้พลังงานสูง [8] ในปัจจุบันสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ลูกอมและเบเกอรี่ คือน้ำตาลอิทธิทอล ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ให้พลังงานต่ำเพียง 0.2 กิโลแคลอรีต่อกรัม หรือคิดเป็น 6% เมื่อเทียบกับน้ำตาล

ซูโครสในปริมาณที่เท่ากันและมีความหวานร้อยละ 60-80 ของน้ำตาลซูโครส [9] รวมถึงยังช่วยยับยั้งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดและระดับอินซูลิน [10] ปรับปรุงการทำงานของหลอดเลือดเพื่อลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ [11] และยังสามารถป้องกันคราบพลัคและฟันผุได้ [12] อีกทั้งมีงานวิจัยที่ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตโดยใช้น้ำตาลอิทธิทอลเป็นส่วนผสมแทนน้ำตาลซูโครส [13] โดยปริมาณการบริโภคน้ำตาลอิทธิทอลในเพศชายไม่ควรเกิน 0.66 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวันและในเพศหญิงไม่ควรเกิน 0.8 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน [14] นอกจากนี้ช็อกโกแลตยังมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่เป็นประโยชน์ต่อกลุ่มผู้ที่มีนอนไม่หลับโดยช่วยฟื้นฟูกระบวนการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดหลังจากอดนอนได้ [15]

ในปัจจุบันอาหารที่ช่วยในการนอนหลับโดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่มีอย่างจำกัด อีกทั้งด้วยประโยชน์ของสารสกัดจากรากโสมอินเดียมีสรรพคุณที่ช่วยในการนอนหลับ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตรูปแบบแผ่นผสมสารสกัดจากรากโสมอินเดียที่มีส่วนผสมของน้ำตาลอิทธิทอลในปริมาณที่แตกต่างกัน

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 ขั้นตอนการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตรูปแบบแผ่น (Research development) ผสมสารสกัดรากโสมอินเดีย 300 มิลลิกรัม ต่อปริมาณช็อกโกแลต 30 กรัม จำนวน 3 สูตร ได้แก่ สูตรผสมน้ำตาลอิทธิทอลร้อยละ 20 (สูตร 2) ร้อยละ 30 (สูตร 3) และ ร้อยละ 40 (สูตร 4) โดยสัดส่วนส่วนผสมอ้างอิงจากมาตรฐาน CODEX [16]

ตารางที่ 1 ส่วนผสมผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต

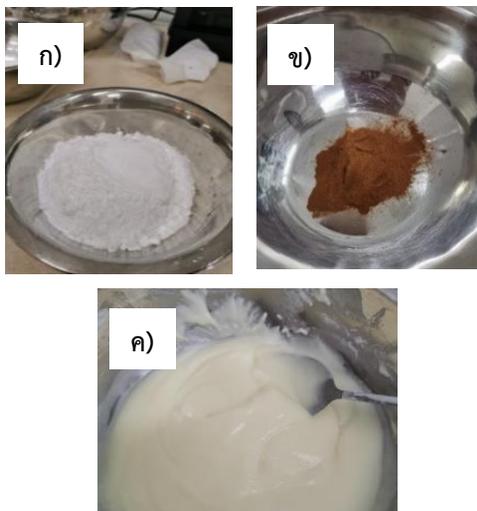
| ส่วนผสม           | สูตร 1 | สูตร 2 | สูตร 3 | สูตร 4 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| โกโก้บิส (ร้อยละ) | 51.6   | 61.6   | 51.6   | 41.6   |
| น้ำตาล (ร้อยละ)   | 30     | 20     | 30     | 40     |

| ส่วนผสม                              | สูตร 1 | สูตร 2 | สูตร 3 | สูตร 4 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| เนยโกโก้<br>(ร้อยละ)                 | 18     | 18     | 18     | 18     |
| เลซิทิน<br>(ร้อยละ)                  | 0.3    | 0.3    | 0.3    | 0.3    |
| กลี้นวนิลา<br>(ร้อยละ)               | 0.1    | 0.09   | 0.09   | 0.09   |
| สารสกัด<br>รากโสมอินเดีย<br>(ร้อยละ) | -      | 0.01   | 0.01   | 0.01   |

หมายเหตุ: สูตรที่ 1 คือ สูตรปกติซึ่งไม่ผสมสารสกัดรากโสมอินเดีย และน้ำตาลที่ใช้ในสูตรที่ 1 คือ น้ำตาลซูโครส ส่วนน้ำตาลที่ใช้ในสูตรที่ 2, 3, 4 คือ น้ำตาลอิริทริทอล

### 2.1.1 การเตรียมส่วนผสม

เตรียมโกโก้บีนส์ เนยโกโก้ น้ำตาลอิริทริทอล เลซิทิน กลี้นวนิลา สารสกัดรากโสมอินเดีย ตามสูตรที่กำหนดดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ก) น้ำตาลอิริทริทอล ข) สารสกัดรากโสมอินเดีย  
ค) เนยโกโก้

### 2.1.2 การผสมส่วนผสม (Mixing)

ผสมโกโก้บีนส์ น้ำตาลอิริทริทอล เนยโกโก้ สารสกัดรากโสมอินเดีย เข้าด้วยกันเป็นเวลา 12-15 นาทีที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส



ก) ข)  
รูปที่ 2 ก) การเทส่วนผสม  
ข) การผสมส่วนผสมคาร์กซ์ช็อคโกแลต

### 2.1.3 การควบคุมผลึก (Tempering)

นำคาร์กซ์ช็อคโกแลตมาเทลงบนถาดเพื่อทำการควบคุมผลึกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3 การควบคุมผลึกคาร์กซ์ช็อคโกแลต

### 2.1.4 การแบ่งขนาดช็อคโกแลตและการบรรจุ

เมื่อช็อคโกแลตคงรูปแล้วนำไปตัดแบ่งตามปริมาณที่ต้องการ จากนั้นทำการบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์พร้อมติดฉลากบนของผลิตภัณฑ์คาร์กซ์ช็อคโกแลตตามสูตรที่กำหนดและจัดเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น



รูปที่ 4 การแบ่งขนาดช็อคโกแลตและการบรรจุ

### 2.1.5 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

จัดเตรียมผลิตภัณฑ์คาร์กซ์ช็อคโกแลตในรูปแบบแผ่นที่ห่อด้วยกระดาษปริมาณ 30 กรัม ทั้ง 4 สูตร

พร้อมติดรหัสตัวเลข 3 หลัก และ น้ำเปล่า 250 มิลลิลิตร เพื่อดื่มหลังการบริโภคในแต่ละสูตร จากนั้นแจกผลิตภัณฑ์คาร์กช็อคโกแลตทั้ง 4 สูตรให้ผู้เข้าร่วมวิจัยประเมินในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9 ระดับ (9-point Hedonic scale) ซึ่งใช้ผู้เข้าชิมจำนวน 30 คน เป็นกลุ่มผู้ใหญ่ที่มีปัญหาการนอนไม่หลับที่ได้รับการประเมินแบบสอบถาม Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) ซึ่งเป็นแบบสอบถามคุณภาพการนอนหลับ ใช้ประเมินคุณภาพการนอนหลับและความแปรปรวนของการนอนหลับในช่วง 1 เดือนที่ผ่านมา มี 7 องค์ประกอบ ได้แก่ คุณภาพการนอนหลับ ระยะเวลาตั้งแต่เข้านอนจนถึงช่วงที่เริ่มหลับ ระยะเวลาการนอนทั้งหมด ประสิทธิภาพการนอนหลับ สิ่งรบกวนในการนอนหลับ การเข้านอนหลับ และความผิดปกติด้านการงีบหลับในช่วงเวลากลางวัน โดยมีคะแนนตั้งแต่ 5 คะแนนขึ้นไป [17]

**2.1.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ**

ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS version 18 โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่น้อยกว่า 0.05 (p-value < 0.05) โดยค่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์คาร์กช็อคโกแลตทั้ง 4 สูตร แสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD) ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติ ANOVA:

Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ Duncan multiple range test

**3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล**

จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์คาร์กช็อคโกแลตทั้ง 4 สูตร ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.73-7.77 ของทุกด้านดังตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการยอมรับในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยการแปลผลค่าเฉลี่ยมีเกณฑ์คะแนนตามช่วงระดับคะแนนดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การแปลผลค่าเฉลี่ยคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสตามช่วงระดับคะแนน

| ช่วงคะแนน   | แปลผล           |
|-------------|-----------------|
| 8.20 - 9.00 | ชอบมากที่สุด    |
| 7.30 - 8.19 | ชอบมาก          |
| 6.40 - 7.29 | ชอบปานกลาง      |
| 5.50 - 6.39 | ชอบเล็กน้อย     |
| 4.60 - 5.49 | เฉยๆ            |
| 3.70 - 4.59 | ไม่ชอบเล็กน้อย  |
| 2.80 - 3.69 | ไม่ชอบปานกลาง   |
| 1.90 - 2.79 | ไม่ชอบมาก       |
| 1.00 - 1.89 | ไม่ชอบมากที่สุด |

**ตารางที่ 3** คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คาร์กช็อคโกแลต

| คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส     | คะแนนความชอบ |             |             |             |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|                              | สูตร 1       | สูตร 2      | สูตร 3      | สูตร 4      |
| ลักษณะที่ปรากฏ <sup>ns</sup> | 7.43 ± 1.50  | 7.53 ± 1.31 | 7.60 ± 1.25 | 7.27 ± 1.26 |
| สี <sup>ns</sup>             | 7.70 ± 1.21  | 7.77 ± 1.17 | 7.67 ± 0.99 | 7.37 ± 1.19 |
| กลิ่น <sup>ns</sup>          | 7.13 ± 1.57  | 7.30 ± 1.32 | 7.20 ± 1.47 | 7.13 ± 1.59 |
| รสชาติ <sup>ns</sup>         | 7.53 ± 1.74  | 7.60 ± 1.43 | 7.40 ± 1.55 | 6.80 ± 1.83 |

| คุณลักษณะทาง<br>ประสาทสัมผัส | คะแนนความชอบ             |                           |                           |                          |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                              | สูตร 1                   | สูตร 2                    | สูตร 3                    | สูตร 4                   |
| เนื้อสัมผัส                  | 7.60 ± 1.65 <sup>a</sup> | 7.37 ± 1.43 <sup>ab</sup> | 7.33 ± 1.52 <sup>ab</sup> | 6.73 ± 1.66 <sup>b</sup> |
| ความชอบโดยรวม                | 7.60 ± 1.35 <sup>a</sup> | 7.53 ± 1.22 <sup>a</sup>  | 7.33 ± 1.24 <sup>ab</sup> | 6.87 ± 1.41 <sup>b</sup> |

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่า Mean ± SD

a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละชุดในแนวนอนที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน ซึ่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นคะแนนความชอบจาก 9-Point Hedonic Scale (9 = ชอบมากที่สุด, 5 = เฉยๆ, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)

ns หมายความว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} \geq 0.05$ )

คะแนนความชอบของทั้ง 4 สูตรในด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 7.27-7.60 ซึ่งเป็นการยอมรับในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมากซึ่งสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดในด้านลักษณะปรากฏคือ สูตร 3 อีกทั้งคะแนนความชอบของทั้ง 4 สูตรในด้านสีอยู่ในช่วง 7.37-7.77 ซึ่งเป็นการยอมรับในระดับความชอบมากซึ่งสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดในด้านสีคือ สูตร 2 นอกจากนี้คะแนนความชอบของทั้ง 4 สูตรในด้านกลิ่นอยู่ในช่วง 7.13-7.30 ซึ่งเป็นการยอมรับในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมากซึ่งสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดในด้านลักษณะกลิ่นคือ สูตร 2

คะแนนความชอบของทั้ง 4 สูตรในด้านรสชาติอยู่ในช่วง 6.80-7.60 ซึ่งเป็นการยอมรับในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมาก ซึ่งสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดในด้านรสชาติคือ สูตร 2 ทั้งนี้คะแนนความชอบของทั้ง 4 สูตร ในด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 6.37-7.60 ซึ่งเป็นการยอมรับในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมากซึ่งสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดในด้านเนื้อสัมผัสคือ สูตร 1 และคะแนนในด้านความชอบโดยรวมของทั้ง 4 สูตรอยู่ในช่วง 6.87-7.60 ซึ่งเป็นการยอมรับในระดับความชอบปานกลางถึงชอบมากซึ่งสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดคือ สูตร 1 โดยการสรุปผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่า สูตร 2 เป็นสูตรที่คะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

มากกว่าคะแนนของสูตรอื่น ๆ ที่พัฒนาดังนั้น สูตร 2 จึงเป็นสูตรที่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อจำหน่ายหรือทำการศึกษาเชิงคลินิกต่อไปได้

จากผลการทดสอบ พบว่า ผลผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ( $p \geq 0.05$ ) เนื่องจากสารสกัดรากโสมอินเดียมีสีน้ำตาลและมีรสชาติที่ขม จึงทำให้สีและกลิ่นเข้ากันได้กับผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต แต่ในด้านเนื้อสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตสูตร 1 และสูตร 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และในด้านความชอบโดยรวม พบว่า ผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตสูตร 1 และ สูตร 4 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตสูตร 2 และสูตร 4 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นการเติมน้ำตาลอิริทริทอลและสารสกัดรากโสมอินเดียอาจมีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและด้านความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต เนื่องจากน้ำตาลอิริทริทอลละลายในดาร์กช็อกโกแลตได้น้อย ด้วยคุณสมบัติของน้ำตาลอิริทริทอลที่สามารถละลายในน้ำได้ [18] แต่ไม่สามารถละลายในสารประเภทไขมัน จึงทำให้มีเนื้อสัมผัสที่หยาบเนื่องจากช็อกโกแลตมีเนยโกโก้เป็นส่วนผสม อีกทั้งการเติมน้ำตาลอิริทริทอลในปริมาณที่มากทำให้มีรสชาติ

หวานเกินกว่าผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตสูตรทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่ 4 พบว่าส่วนมากผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตสูตร 2 สูตร 3 และสูตร 4 ว่ามีเนื้อสัมผัสหยาบ คิดเป็นร้อยละ 42.84 37.50 และ 44.45 ตามลำดับ

#### ตารางที่ 4 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่พัฒนา

| ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ             | จำนวน (ร้อยละ) |
|--------------------------------------|----------------|
| <b>สูตร 2</b>                        |                |
| เนื้อสัมผัสหยาบ                      | 3 (42.84)      |
| เนื้อสัมผัสละลายยากในปาก             | 1 (14.29)      |
| เนื้อสัมผัสละลายง่ายในปาก            | 1 (14.29)      |
| รูปร่างลักษณะดี                      | 1 (14.29)      |
| รสชาติดี                             | 1 (14.29)      |
| <b>สูตร 3</b>                        |                |
| เนื้อสัมผัสหยาบ                      | 3 (37.50)      |
| เนื้อสัมผัสละลายยากในปาก             | 1 (12.50)      |
| เนื้อสัมผัสละลายง่ายในปาก            | 1 (12.50)      |
| รสชาติหวานเกินไป                     | 1 (12.50)      |
| รสชาติหวานเกินไปและมีเนื้อสัมผัสหยาบ | 1 (12.50)      |
| <b>สูตร 4</b>                        |                |
| เนื้อสัมผัสหยาบ                      | 4 (44.45)      |
| เนื้อสัมผัสละลายยากในปาก             | 1 (11.11)      |
| เนื้อสัมผัสละลายง่ายในปาก            | 1 (11.11)      |
| รสชาติหวานเกินไป                     | 1 (11.11)      |
| รสชาติหวานเกินไปและมีเนื้อสัมผัสหยาบ | 1 (11.11)      |

ความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต สูตร 3 และสูตร 4 ว่ามีรสชาติหวานเกินไป คิดเป็นร้อยละ 12.50 และ 11.11 ตามลำดับและมีรสชาติหวานเกินไปและมีเนื้อสัมผัสหยาบ คิดเป็นร้อยละ 12.50 และ 11.11 ตามลำดับ

แนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตจากคะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่พัฒนา พบว่า มีรสชาติที่หวาน และเนื้อสัมผัสที่หยาบ เนื่องจากมีการเติมน้ำตาลอิทธิทธิทอลในปริมาณที่มากเกินไป ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาจใช้เครื่องผสมส่วนผสมเพื่อให้ส่วนผสมรวมตัวกันได้ดี และได้ผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่มีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน [19] อีกสามารถทั้งปรับปริมาณเลซิทินให้มีปริมาณที่เหมาะสมมากขึ้น เนื่องจากเลซิทินมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในการเชื่อมส่วนผสมให้เข้าด้วยกันได้ [20] โดยเฉพาะน้ำตาลอิทธิทธิทอลที่ละลายในดาร์กช็อกโกแลตได้ไม่ดีให้สามารถละลายในดาร์กช็อกโกแลตได้มากขึ้น อีกทั้งลดปริมาณน้ำตาลอิทธิทธิทอลให้อยู่ในช่วงร้อยละ 5.00 ถึง 20.00 เพื่อลดความหวานและลดความหยาบของเนื้อสัมผัส

#### 4. สรุป

จากผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่พัฒนาทุกสูตรได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมอยู่ในระดับความชอบมากโดยผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลต สูตร 2 ได้รับคะแนนสี่ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุดในกลุ่มผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตที่พัฒนาและมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตสูตรปกติ ดังนั้น สูตร 2 จึงเป็นสูตรที่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อจำหน่ายหรือทำการศึกษาเชิงคลินิกต่อไปได้ อย่างไรก็ตามในการเติมน้ำตาลอิทธิทธิทอลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นสามารถส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ไม่ดีได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณร้าน Kokolatier ที่ได้ให้การสนับสนุนและดำเนินการผลิตดาร์กช็อกโกแลตสำหรับการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส อีกทั้ง

สำหรับคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดขั้นตอนการผลิตดาร์กช็อกโกแลต การจัดเก็บ และการจัดส่ง ตลอดจนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ดาร์กช็อกโกแลตมาอย่างครบถ้วนและสมบูรณ์

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Sukying, V. Bhokakul, and U. Udomsuppayakul, "An epidemiological study on insomnia in an elderly Thai population," *Journal of the Medical Association of Thailand*, vol. 86, no. 4, pp. 316–324, 2003.
- [2] A. S. Tubbs, K. E. R Kennedy, P. Alfonso-Miller, C. C. A Wills, and M. A. Grandner, "Randomized, double-blind, placebo-controlled trial of a polyphenol botanical blend on sleep and daytime functioning," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 6, pp. 3044-3055, Mar. 2021.
- [3] Y. K. Wing, "Herbal treatment of insomnia," *Hong Kong Medical Journal*, vol. 7, no. 4, pp. 392-402, Dec. 2001.
- [4] D. Langade, S. Kanchi, J. Salve, K. Debnath, and D. Ambegaokar, "Efficacy and safety of Ashwagandha (*Withania somnifera*) root extract in insomnia and anxiety: A double-blind, randomized, placebo-controlled study," *Cureus*, vol. 11, no. 9, pp. e5797, Sep. 2019.
- [5] A. B. Speers, K. A. Cabey, A. Soumyanath, K. M. Wright, "Effects of withania somnifera (ashwagandha) on stress and the stress-related neuropsychiatric disorders anxiety, depression, and insomnia," *Curr Neuropharmacol*, vol. 19, no. 9, pp. 1468-1495, 2021.
- [6] M. K. Gill, S. Kumar, M. Sharma, T. P. Singh, K. Kumar, and R. Kaur, "Role of Ashwagandha incorporated functional foods for betterment of human health: a review," *Journal of agricultural engineering and food technology*, vol. 6, no. 2, pp. 161-165, Apr.-Jun. 2019.
- [7] O. S. Toker, I. Palabiyik, H. R. Pirouzian, T. Aktar, and N. Konar, "Chocolate aroma: Factors, importance and analysis," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 99, pp. 580-592, May. 2020.
- [8] A. M. E. Ali, L. A. Shekib, N. M. Elshimy, and M. S. Sharara, "Producing and quality attributes of low calories dark chocolate using different intense sweeteners and wheat fiber isolate," *American Journal of Food Science and Technology*, vol. 9, no.1, pp. 1-7, 2021.
- [9] J. Goossens and M. Gonze, "Nutritional properties and applications of erythritol: A unique combination?," in *Advances in Sweeteners*, 1st ed. Boston, MA: Springer US, 1996, pp. 150–186.
- [10] H. Wen, B. Tang, A. J. Stewart, Y. Tao, Y. Shao, Y. Cui, H. Yue, J. Pei, Z. Liu, L. Mei, R. Yu, and L. Jiang, "Erythritol attenuates postprandial blood glucose by inhibiting  $\alpha$ -Glucosidase," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 66, no. 6, pp. 1401-1407, Feb. 2018.

- [11] N. Flint, N. M. Hamburg, M. Holbrook, P. G. Dorsey, R. M. LeLeiko, A. Berger, P. Cock, D. Bosscher, and J. A. Vita, "Effects of erythritol on endothelial function in patients with type 2 diabetes mellitus: a pilot study," *Acta Diabetologica*, vol. 51, no. 3, pp. 513-516, 2014.
- [12] P. Cock, K. Mäkinen, E. Honkala, M. Saag, E. Kennepohl, and A. Eapen, "Erythritol is more effective than xylitol and sorbitol in managing oral health endpoints," *International Journal of Dentistry*, vol. 2016, no. 1, pp. 1-15, Aug. 2016.
- [13] R. Hadjikinova, "Chocolate masses with erythritol as a sugar substitute," in *International Conference on Technics, Technologies, and Education*, Yambol, Bulgaria, 2023, pp. 080010-1-080010-6.
- [14] T. Oku and M. Okazaki, "Laxative threshold of sugar alcohol erythritol in human subjects," *Nutrition Research*, vol. 16, no. 4, pp. 577-589, Apr. 1996.
- [15] D. Grassi, V. Socci, D. Tempesta, C. Ferri, L. D. Gennaro, G. Desideri, and M. Ferrara, "Flavanol-rich chocolate acutely improves arterial function and working memory performance counteracting the effects of sleep deprivation in healthy individuals," *Journal of Hypertension*, vol. 34, no. 7, pp. 1298-1308, Jul. 2016.
- [16] Codex Alimentarius Commission, *Standard for Chocolate and Chocolate Products*, Codex Stan 87-1981, 1981.
- [17] T. Sitasuwan, S. Bussaratid, P. Ruttanaumpawan, W. Chotinaiwatttakul, "Reliability and Validity of the Thai Version of the Pittsburgh Sleep Quality Index," *Journal of the Medical Association of Thailand*, vol. 97, no.3, pp. 57-67, Mar. 2014.
- [18] M. Sriariyanun, S. Krajangsod, S. Chotikamas, and A. Tawai, "Measurement and thermodynamic modelling of erythritol solubility in aqueous solvents," *Oriental Journal of Chemistry*, vol. 34, no. 1, pp. 265-275, Feb. 2018.
- [19] F. Shafi, M. Reshi, and I. Bashir, "Chocolate processing," *Journal of Applied Biotechnology Reports*, vol. 8, no. 3, pp. 408-419, 2018.
- [20] D. S. Atik., E. Bölük, O. S. Toker, I. Palabiyik, and N. Konar, "Investigating the effects of lecithin-PGPR mixture on physical properties of milk chocolate," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 129, 109548, May. 2020.

# Depletion of Total Solar Ultraviolet (TUV) Radiation (260–400 nm) and Erythemal Weighted Solar Ultraviolet (EUV) Radiation by Aerosols Under Clear Sky Conditions: A Case Study from Data Collected at Nakhon Pathom Station in Thailand

Wijittra Kangwanwit Sumaman Buntoung\* and Serm Janjai

Faculty of Science, Silpakorn University  
6 Rajamankha Nai Rd., Amphoe Muang, Nakhon Pathom, 73000

---

*Received 14 June 2023; Revised 29 January 2024; Accepted 12 February 2024*

## Abstract

In this work, the depletion of total solar ultraviolet (TUV) radiation and erythemal weighted solar ultraviolet (EUV) radiation by aerosol in clear sky conditions was investigated based on the data collected at Nakhon Pathom station (13.82°N, 100.04°E) in Thailand. Solar spectral ultraviolet radiation was measured by a spectroradiometer (Bentham Instruments Ltd., model DMc150), in addition to aerosol optical depth (AOD) at 340 nm measured by an AERONET sunphotometer (Cimel Electronique, model CE-318). The total ozone column (O<sub>3</sub>) retrieved from OMI/AURA satellite data was also used. The data period used in this work were from January 2017–December 2018 at Nakhon Pathom station. The EUV was obtained from the solar spectrum and erythemal weighted action spectrum. A special technique was employed, using UV data calculated from the UVSPEC, a radiative transfer model, to extract the variation of TUV and EUV only as a function of AOD. Equations relating TUV to AOD and EUV to AOD were established. TUV and EUV were found to decrease linearly with the increase of the AOD.

**Keywords :** Solar radiation; Ultraviolet radiation; Aerosol optical depth; Erythema

---

\* Corresponding Author. Tel.: +668 6161 3292, E-mail Address: buntoung\_s@silpakorn.edu

## 1. Introduction

Solar ultraviolet (UV) radiation is part of the solar spectrum reaching the earth's surface. It has both beneficial and harmful effects on human health. Excessive exposure to solar UV radiation is hazardous for humans. For instance, it can lead to skin cancer, cataracts, and immune system suppression [1]. On the other hand, exposure to solar UV radiation at a suitable level promotes vitamin D synthesis in the human skin [2], strengthening human bones.

Solar UV radiation outside the earth's atmosphere can be divided into UVC (100–280 nm), UVB (280–320 nm), and UVA (320–400 nm) [3]. On entering the earth's atmosphere, UVC is completely absorbed by the earth's atmosphere. A small portion of the UVB and almost all UVA radiation reach the earth's surface. In general, clouds have a strong influence on the solar UV radiation reaching the earth's surface during cloudy conditions. However, during clear sky conditions, aerosols have a significant impact on the solar UV radiation reaching the earth's surface. Deng et al. [4] investigated solar UV radiation in Guangzhou, China, and found that aerosols absorbed an average of 62% of solar UV radiation at 340 nm before reaching the earth's surface. Kim et al. [5] studied the effects of aerosols on solar UV radiation under clear sky conditions in Seoul, Korea, and reported that the attenuation of erythemal UV (EUV) radiation by aerosol is very significant.

Most areas of Thailand have very high aerosol loads [6]. To the best of our knowledge, the effect of aerosols on surface UV radiation has not yet been reported.

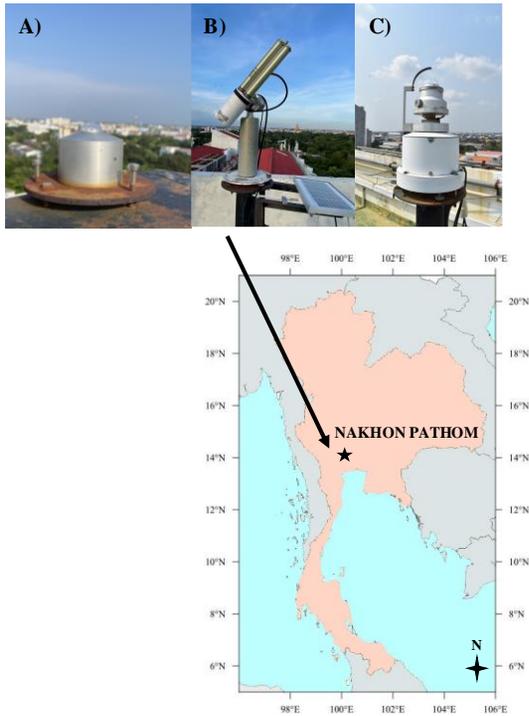
Therefore, the objective of this work was to investigate the depletion of TUV and EUV by aerosols using data collected at Nakhon Pathom station (13.82°N, 100.04°E) from January 2017 to December 2018.

## 2. Materials and Method

### 2.1 Materials

This work is based on the analysis of four data sets. The first data set contains spectral UV irradiance data obtained from ground-based measurements using a spectroradiometer (Bentham Instrument Ltd., model DMc150) at Nakhon Pathom station (13.82°N, 100.04°E) (Fig. 1) in the wavelength range of 260–400 nm during January 2017 to December 2018. The spectral UV data were recorded every 10 min, which were then averaged to transform it into hourly data. This spectroradiometer was calibrated monthly using a standard lamp. The second data set is AOD, measured at a wavelength of 340 nm. These data were obtained from a sunphotometer installed at the station (Fig. 1) and downloaded from the website of AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>). These data were similarly processed to be in the hourly form. The sunphotometer was calibrated annually by AERONET. The third data set is the data on O<sub>3</sub> obtained from the OMI/AURA satellite, downloaded from the website (<https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html>). These data contained relevant daily information for the entire world. The ozone data from the Nakhon Pathom station were used in this work. The fourth data set is the sky image data taken by a sky camera (PREDE, model PSV-100)

installed at Nakhon Pathom station (Fig. 1). It was used to identify clear sky conditions.



**Fig. 1** The location of the station and the instruments installed at the station. A) input optics of the spectroradiometer, B) sunphotometer, and C) sky camera

## 2.2 Method

### 2.2.1 The effect of aerosol on TUV

In this work, TUV, the total solar radiation including UVA and UVB (260–400 nm), was calculated using the following equation.

$$TUV = \int_{260 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} i_{\lambda} d\lambda \quad (1)$$

where

$TUV$  = total solar ultraviolet radiation ( $W/m^2$ )

$i_{\lambda}$  = spectral UV irradiance ( $W/m^2/nm$ )

$\lambda$  = wavelength (nm)

The method used for investigating the effect of aerosol on TUV can be summarized as follows. First, the data from the sky camera were used to identify the clear sky conditions at the station for the TUV, AOD, and  $O_3$  data to be analyzed during the clear sky period. Then, the spectral UV data for clear sky conditions were integrated over the wavelength range of 260 to 400 nm to obtain the hourly TUV data. A plot of these data against AOD is presented in Section 3. Finally, a special technique employing UVSPEC [7], a radiative transfer model, was used to extract the dependence of TUV on AOD. The calculation is done using the following expression.

$$UV(z_{ave}, AOD, O_{3,ave}) = UV_{meas}(z, AOD, O_3) \frac{UV_{model}(z_{ave}, AOD, O_{3,ave})}{UV_{model}(z, AOD, O_3)} \quad (2)$$

$UV_{meas}(z, AOD, O_3)$  is the TUV measured as a function of the actual solar zenith angle ( $z$ ), aerosol optical depth (AOD), and the total ozone column ( $O_3$ ).  $UV_{model}(z, AOD, O_3)$  is the TUV from the UVSPEC at the actual conditions of  $z$ , AOD and  $O_3$ .  $UV_{model}(z_{ave}, AOD, O_{3,ave})$  is the TUV from the UVSPEC, where

AOD is the actual aerosol optical depth, and  $z$  and  $O_3$  were set to constants equal to the average values of  $z$  and  $O_3$  respectively ( $z_{ave}=43^\circ$  and  $O_{3,ave}=261$  DU) from all the data sets used in this study. In equation (2), the terms  $UV_{model}(z, AOD, O_3)$  and  $UV_{meas}(z, AOD, O_3)$  cancel each other, leaving TUV as a function of AOD ( $UV(z_{ave}, AOD, O_{3,ave})$ ). Then,  $UV(z_{ave}, AOD, O_{3,ave})$  or in this case, TUV is plotted against AOD at 340 nm ( $AOD_{340\text{ nm}}$ ) and presented in Section 3.

### 2.2.2 The effect of aerosol on EUV

EUV or erythemal weighted solar ultraviolet radiation, which is more closely related to the biological effects of solar UV radiation than UVB, was obtained from the convolution of the solar UV spectrum and the erythemal action spectrum, proposed by McKinlay and Diffey [3], as follows.

$$EUV = \int_{250\text{ nm}}^{400\text{ nm}} i_\lambda R_{E\lambda} d\lambda \quad (3)$$

where

$EUV$  = intensity of erythemal weighted solar ultraviolet radiation ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$i_\lambda$  = spectral UV irradiance ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ )

$R_{E\lambda}$  = erythemal response (-)

$\lambda$  = wavelength (nm)

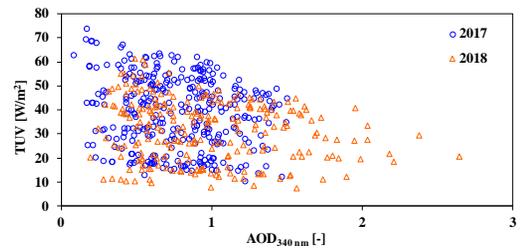
The method described in Section 2.2.1 was used to examine the effect of

aerosol on EUV. The results are shown in Section 3.

## 3. Results and discussion

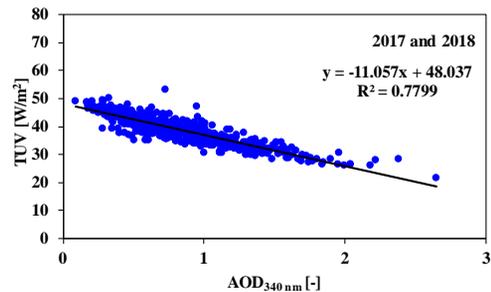
### 3.1 Effect of aerosol on TUV

The direct plot of total solar UV radiation against AOD under clear sky conditions is shown in Fig. 2. Significant scatter is observed in the data points for both years due to the effects of the solar zenith angle and ozone.



**Fig. 2** Direct plot of the total solar ultraviolet radiation data from the Bentham spectroradiometer (TUV) against aerosol optical depth at 340 nm ( $AOD_{340\text{ nm}}$ ) for 2017 and 2018.

A plot of TUV, as a function of only AOD at 340 nm, a constant solar zenith angle ( $43^\circ$ ), and a constant total ozone column (261 DU), as calculated from equation (1), is shown in Fig. 3.



**Fig. 3** Plot of TUV as a function of AOD against aerosol optical depth at 340 nm

( $AOD_{340\text{ nm}}$ ) with the solar zenith angle fixed at  $43^\circ$  and the ozone column fixed at 261 DU.

A linear equation was fitted to the graph in Fig. 3, giving us the following equation.

$$TUV = -11.057AOD_{340\text{ nm}} + 48.037; R^2 = 0.7799 \quad (4)$$

where

$TUV$  = total solar ultraviolet radiation ( $\text{W/m}^2$ )

$AOD_{340\text{ nm}}$  = aerosol optical depth at wavelength 340 nm (-)

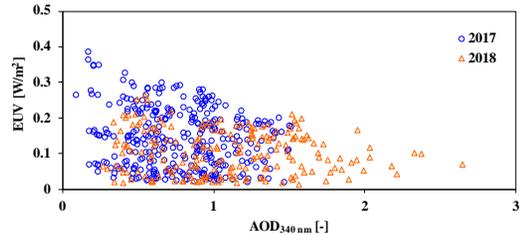
$R^2$  = determination coefficient (-)

Relatively less scatter is observed in the data points for 2017 and 2018 (Fig. 3) because the values of  $z$  and  $O_3$  are fixed, and only the effect of AOD on the total solar UV radiation is manifested. It is also observed from Fig. 3 that the TUV radiation for 2017 and 2018 has a linear relationship with the AOD. In other words, the TUV decrease linearly with the increase of the AOD. This may be due to the fact that the increase in the AOD increases the depleting agents of the UV in the atmosphere, thus decreasing the surface UV. This result confirms the result of the research work of Deng et al. [4].

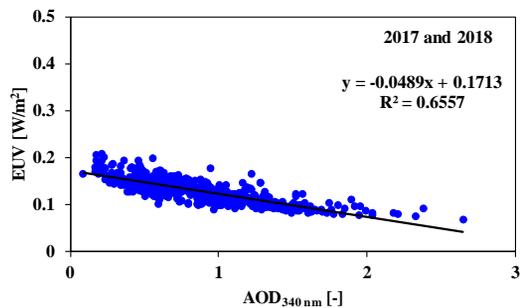
### 3.2 Effect of aerosol on EUV

Similarly, a direct plot of EUV against AOD is shown in Fig. 4. Although the values of EUV are lower than TUV, a significant degree of scatter is observed due to the effect of the solar zenith angle and ozone.

After filtering out the effects of the variation of the solar zenith angle and ozone column using equation (2), the plot between EUV and AOD is shown in Fig. 5.



**Fig. 4** Direct plot of the erythemal solar ultraviolet radiation data from the Bentham spectroradiometer (EUV) against aerosol optical depth at 340 nm ( $AOD_{340\text{ nm}}$ ) for 2017 and 2018.



**Fig. 5** Plot of EUV as a function of AOD against aerosol optical depth at 340 nm ( $AOD_{340\text{ nm}}$ ) with the solar zenith angle fixed at  $43^\circ$  and the ozone column fixed at 261 DU.

A linear relationship between EUV and AOD was obtained from the graph plotted in Fig. 5 as shown below.

$$EUV = -0.0489AOD_{340\text{ nm}} + 0.1713; R^2 = 0.6557 \quad (5)$$

where

$EUV$  = erythema-weighted solar ultraviolet radiation ( $W/m^2$ )

$AOD_{340nm}$  = aerosol optical depth at wavelength 340 nm (-)

$R^2$  = determination coefficient (-)

This result helps to confirm the work of Kim et al. [5].

#### 4. Conclusion

The depletion of TUV and EUV due to aerosol at Nakhon Pathom station in Thailand was investigated. TUV and EUV decreased linearly with the increase of the AOD. The findings from this work corroborated previously reported work from other parts of the world.

#### 5. Acknowledgments

The author and co-authors of this paper would like to thank the Faculty of Science, Silpakorn University for supporting the research work and for providing financial support to Ms. Wijitra Kangwanwit, a research assistant (SCSU-STA-2565-01). We are also grateful to NASA, USA for aerosol optical depth data and ozone data.

#### 6. References

- [1] R. P. Gallagher and T. K. Lee, "Adverse effects of ultraviolet radiation: a brief review," *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, vol. 92, no. 1, pp. 119-131, 2006.
- [2] M. F. Holick, "Sunlight, UV radiation, vitamin D, and skin cancer: How much sunlight do we need?," *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 1268, pp. 19-36, Sep. 2020.
- [3] A. F. McKinlay and B. L. Diffey, "A reference action spectrum for ultraviolet-induced erythema in human skin," in *Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations*, D. Passchler and B. Bosnjakovic, Eds. Amsterdam: Elsevier, 1987, pp. 83-86.
- [4] X. Deng, X. Zhou, X. Tie, D. Wu, F. Li, H. Tan, and T. Deng, "Attenuation of ultraviolet radiation reaching the surface due to atmospheric aerosols in Guangzhou," *Chinese Science Bulletin*, vol. 57, pp. 2759-2766, May. 2012.
- [5] W. Kim, J. Kim, S. S. Park, and H. K. Cho, "UV sensitivity to changes in ozone, aerosols, and clouds in Seoul, South Korea," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 53, no. 2, pp. 310-322, 2014.
- [6] S. Janjai, M. Nunez, I. Masiri, R. Wattan, S. Buntoung, T. Jantarach, and W. Promsen, "Aerosol optical properties at four sites in Thailand," *Atmospheric and Climate Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 441-453, Oct. 2012.
- [7] B. Mayer, G. Seckmeyer, and A. Kylling, "Systematic long-term comparison of spectral UV measurements and UVSPEC modeling results," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 102, no. D7, pp. 8755-8767, Apr. 1997.

## การออกแบบ สร้าง และประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกิ่งไม้ที่ใช้จานตัด 2 ใบมีด 3 ใบมีด และ 4 ใบมีด

ประเสริฐ วิโรจน์ชิวัน ณฑพร จินดาประเสริฐ ฐณพพล เวียงทอง และ ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท\*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

รับบทความ 14 กุมภาพันธ์ 2567 แก้ไขบทความ 6 มิถุนายน 2567 ตอรับบทความ 11 กรกฎาคม 2567

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และประเมินสมรรถนะเครื่องย่อยกิ่งไม้ขนาดเล็กที่มีความสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ทำการศึกษาผลของจำนวนใบมีดที่มีต่อความสามารถในการย่อยกิ่งไม้ ทดสอบกับการย่อยกิ่งไม้ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 70 มิลลิเมตร โดยใช้กิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งปริมาณ 15 กิโลกรัม ต่อการทดสอบ และใช้ชุด จานตัด 2 ใบมีด 3 ใบมีด และ 4 ใบมีด คมของใบมีดตัด 45 องศา ความยาวของใบมีด 105 มิลลิเมตร ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,400 รอบต่อนาที ผลการทดสอบพบว่า เครื่องย่อยกิ่งไม้สามารถย่อยกิ่งไม้สดได้เร็วกว่ากิ่งไม้แห้งและการเพิ่มจำนวนใบมีดตัดทำให้อัตราการย่อยกิ่งไม้ลดลง โดยอัตราการย่อยกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งของจานตัด 2 ใบมีด อยู่ที่ 274.3 และ 221.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ จานตัด 3 ใบมีด สามารถย่อยกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งได้ในอัตราการย่อยที่ 250 และ 216.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และในส่วนของจานตัด 4 ใบมีด สามารถย่อยกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งได้ในอัตราการย่อยที่ 221.7 และ 178.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ แต่การเพิ่มจำนวนใบมีดส่งผลให้เศษไม้หลังผ่านการย่อยมีขนาดเล็กและละเอียดมากกว่า ขนาดสูงสุดของเศษไม้หลังผ่านการย่อยอยู่ที่ 15x25, 10x15 และ 7x10 มิลลิเมตร สำหรับจานตัด 2 ใบมีด 3 ใบมีด และ 4 ใบมีด ตามลำดับ และพบว่าอัตราการย่อยกิ่งไม้ของเครื่องย่อยกิ่งไม้ที่ใช้จานตัด 4 ใบมีด มีค่าน้อยกว่าเครื่องย่อยกิ่งไม้ที่ใช้จานตัด 2 ใบมีด

คำสำคัญ : กิ่งไม้; เครื่องย่อยกิ่งไม้; จานตัด; ใบมีด

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +66 2665 3777 ต่อ 8361, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: padipan.t@rmutp.ac.th

# Design, Fabrication, and Performance Evaluation of Wood Shredder Using 2-Blade, 3-Blade, and 4-Blade Cutting Discs

Prasert Wirrotecheewan Nataporn Chindaprasert Thanaphon Wiangthong and Padipan Tinprabath\*

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
1381 Pracharat 1 Road, Wong Sawang, Bang Sue, Bangkok, 10800

---

*Received 14 February 2024; Revised 6 June 2024; Accepted 11 July 2024*

## Abstract

This research aims to design, fabrication, and test a mobile wood shredder. The effect of the number of blades on the ability to shred wood branches was studied. Testing was conducted on wood pieces with a diameter not exceeding 70 millimeters, using both fresh and dry wood branches weighing 15 kilograms per test. Three sets of blades were utilized: 2-blade, 3-blade, and 4-blade sets, with a cutting angle of 45 degrees and a blade length of 105 millimeters. The tests were conducted at an engine speed of 3,400 revolutions per minute. The test results revealed that the wood shredder could shred fresh wood faster than dry wood, and increasing the number of cutting blades reduced the shredding rate. The shredding rates for fresh and dry wood with the 2-blade cutting discs were 274.3 and 221.4 kg/h, respectively, followed by the 3-blade cutting discs at 250 and 216.3 kg/h and the 4-blade at 221.7 and 178.6 kg/h, respectively. Moreover, increasing the number of blades resulted in smaller and finer wood chips, with the maximum sizes after shredding being 15x25, 10x15, and 7x10 mm for the 2-blade, 3-blade, and 4-blade cutting discs, respectively. Additionally, it was found that the wood shredder with 4-blade cutting discs had lower shredding rates compared to the shredder with 2-blade cutting discs.

**Keywords :** Wood branches; Wood shredder; Cutting disc; Blades

---

\* *Corresponding Author. Tel.: +66 2665 3777 Ext. 8361, E-mail Address: padipan.t@rmutp.ac.th*

## 1. บทนำ

จากสถานการณ์ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมถึงปัญหามลพิษทางอากาศและฝุ่น PM 2.5 ในปัจจุบัน หลายประเทศทั่วโลกมีโครงการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและช่วยลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น การสร้างและพัฒนาสวนสาธารณะ สวนป่าหรือเขตพื้นที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมตามเป้าหมายของสหประชาชาติ (UN) ที่ได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goal) เป้าหมายที่ 11.7 จัดให้มีการพัฒนาและการเข้าถึงพื้นที่สาธารณะสีเขียวที่ปลอดภัย ครอบคลุมและเข้าถึงได้โดยถ้วนหน้า นอกจากนี้แล้วการเพิ่มพื้นที่สีเขียวยังมีผลดีต่อสุขภาพจิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่งผลที่ดีต่อสุขภาพจิตของผู้สูงอายุในเมืองอีกด้วย [1]

พื้นที่สีเขียว (Green spaces) หมายถึง พื้นที่กลางแจ้งและกึ่งกลางแจ้งที่ปกคลุมไปด้วยต้นไม้ พุ่มไม้ ไม้คลุมดิน หญ้า และอาจมีสิ่งปลูกสร้างรวมอยู่ด้วย มีไว้เพื่อพักผ่อนหย่อนใจหรือเพื่อความสวยงามของเมือง [2] สำหรับประเทศไทย โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครได้มีการส่งเสริมและพัฒนาโครงการเพิ่มจำนวนพื้นที่สีเขียวอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลสำนักงานสวนสาธารณะและสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานครได้ทำการสำรวจปริมาณพื้นที่สีเขียวในเขตกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2549 มีจำนวนพื้นที่สีเขียวต่อจำนวนประชากรอยู่ที่ 3.17 ตารางเมตร ต่อคน หรือมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 18,059,773 ตารางเมตร และในปี พ.ศ. 2563 ได้มีจำนวนพื้นที่สีเขียวต่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นเป็น 7.07 ตารางเมตร [3] และยังมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพื้นที่สีเขียวอย่างต่อเนื่องอีกด้วย อย่างไรก็ตามการจัดการและดูแลพื้นที่สีเขียวเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้พื้นที่สีเขียวมีความยั่งยืนและไม่กลายเป็นแหล่งเสื่อมโทรม ดังนั้นการตัดแต่งกิ่งไม้ภายในพื้นที่สีเขียวจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากจะทำให้เกิดความสวยงาม เป็นระเบียบและได้

ต้นไม้ที่มีรูปทรงตามที่ต้องการแล้ว ยังช่วยแก้ปัญหาอื่น ๆ อีกด้วย อาทิ ปัญหากิ่งไม้บดบังแสงสว่างจากหลอดไฟ ทำให้แสงสว่างไม่เพียงพอต่อการมองเห็นและการทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายในสวนสาธารณะ เช่น การออกกำลังกายในเวลาค่ำ [4] ปัญหาการคุกคามของต้นไม้ในงานภูมิทัศน์ถนน [5] เป็นต้น

การตัดแต่งกิ่งไม้ เป็นขั้นตอนในการดูแลรักษาต้นไม้ โดยการตัดแต่งกิ่งไม้สามารถจำแนกออกเป็น การตัดแต่งกิ่งไม้ที่แห้งตาย กิ่งไม้ที่เป็นโรค กิ่งไม้ที่เจริญเติบโตผิดปกติ กิ่งไม้ที่เลื้อยแนวสายไฟ เป็นต้น ผลจากการตัดแต่งกิ่งไม้จะทำให้มีเศษกิ่งไม้ที่มีจำนวนมาก ทำให้เสียพื้นที่ในการจัดเก็บเศษกิ่งไม้เพื่อรอการกำจัด โดยวิธีการกำจัดเศษกิ่งไม้ไปไม่โดยทั่วไปคือการเผาทำลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายรวดเร็วที่สุด อย่างไรก็ตามการเผาทำลายทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ที่เป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อน อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ในทางกลับกันการนำเศษกิ่งไม้เหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย อาทิ ทำปุ๋ยชีวภาพ ไขปลุกต้นไม้ ทำอาหารสัตว์ และเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นต้น [6]

อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากเศษกิ่งไม้ข้างต้นก็มีข้อจำกัดในด้านขนาดของกิ่งไม้ เช่น การทำปุ๋ยชีวภาพ หากใช้กิ่งไม้ขนาดใหญ่จะทำให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์นั้นใช้เวลานาน อาจใช้เวลาหลายเดือนหรือเป็นปี [7] ดังนั้นการทำให้เศษของกิ่งไม้เล็กลงด้วยเครื่องย่อยกิ่งไม้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อลดขนาดของกิ่งไม้ให้เล็กลง อีกทั้งยังมีความรวดเร็วกว่าการย่อยหรือสับ เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ต่อไป

จากการศึกษาวรรณกรรมพบว่ามีงานวิจัยในด้านการออกแบบ การสร้าง และการพัฒนาเครื่องย่อยไม้ซึ่งมีข้อมูลน่าสนใจดังนี้ อนุรักษ์ มะโนมัย และ รพีพรรณ เหล็กหมื่นไวย [7] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องย่อยไม้ ใช้ชุดใบมีดตัด จำนวน 2 ใบ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาด 11 แรงม้า แรงบิดสูงสุดอยู่ที่ความเร็ว

2,450 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลังและใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลังไปยังชุดย่อยไม้ พบว่าการใช้ความเร็วรอบสูงสามารถย่อยไม้กระถิน ไม้ตะขบ ไม้สะเดา และไม้กระถินณรงค์ ได้ละเอียดและใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความเร็วรอบอื่น ๆ ที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามการใช้ความเร็วรอบที่สูงส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มสูงมากขึ้นด้วย และต่อมา พรชัย แยมบาน และคณะ [6] ได้พัฒนาเครื่องย่อยกิ่งไม้และใบไม้ ใช้ชุดใบมีดตัดจำนวน 3 ใบ โดยใช้เครื่องยนต์ขนาด 5.5 แรงม้า แรงบิดสูงสุดอยู่ที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที สามารถย่อยกิ่งไม้เนื้อแข็งปานกลางและกิ่งไม้เนื้ออ่อน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งไม้อยู่ระหว่าง 30-50 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่าสามารถย่อยกิ่งไม้สดได้มากกว่ากิ่งไม้แห้ง ใบไม้สดและใบไม้แห้ง และจากงานวิจัยของ สิงห์รัฐ ชารี และคณะ [8] ได้ศึกษา ผลของความชื้นใบอ้อยและความเร็วเชิงเส้นปลายใบมีดที่มีต่อสมรรถนะของชุดสับใบอ้อย ใช้ชุดใบมีดสับ จำนวน 3 ใบ ชุดสับใบอ้อยประกอบด้วย ชุดป้อนวัสดุ หัวสับ ช่องทางออกของวัสดุ ระบบถ่ายทอดกำลัง และโครงชุดสับ ปัจจัยที่ใช้ศึกษาคือ ความชื้นใบอ้อย 3 ระดับ ได้แก่ 10 30 และ 50 % (มาตรฐานเปียก) และความเร็วเชิงเส้นปลายใบมีด 4 ระดับ คือ 3.7 5.2 6.8 และ 8.4 เมตรต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่า ใบอ้อยที่มีความชื้นร้อยละ 10 และความเร็วเชิงเส้นปลายใบมีด 8.4 เมตรต่อวินาที มีความเหมาะสมในการสับใบอ้อย จากการศึกษาของงานวิจัยของ กฤตภาส หอมระรื่น [9] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องสับต้นข้าวโพด ใช้เครื่องยนต์เล็กขนาด 5.5 แรงม้า ใบตัดหนา 4 มิลลิเมตร จำนวน 4 ใบ พบว่าสามารถสับต้นข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวของเกษตรกรได้ การสับย่อยเป็นอาหารสัตว์ สามารถสับต้นข้าวโพดให้มีความละเอียดตามความต้องการได้เป็นอย่างดี อีกทั้งพบว่า ปริมาณการสับจะเพิ่มขึ้นตามเวลาในการสับ และจากการศึกษาของงานวิจัยของ สิงห์รัฐ ชารี [10] ได้ศึกษาผลของจำนวนใบมีดและความเร็วใบมีดสับที่มีผลต่อพลังงานในการสับ

ใบอ้อย ใช้จำนวน ใบมีด 4 และ 5 ใบ ใบอ้อยที่ใช้ทดสอบมีความชื้น 17.73 % (มาตรฐานเปียก) ความเร็วรอบใบมีดสับมี 3 ระดับ คือ 800, 950 และ 1,100 รอบต่อนาที ผลการทดสอบพบว่าใบมีด 5 ใบมีด กำลังที่ใช้ในการสับ และพลังงานจำเพาะในการสับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากใบมีด 5 ใบจะทำให้เกิดแรงต้านทานการเฉือนระหว่างใบมีดกับวัสดุ มากกว่าจำนวนใบมีด 4 ใบมีด ยังเพิ่มความเร็วในการสับเพิ่มมากขึ้นแรงต้านจากการสับทำให้เกิดแรงบิดก็เพิ่มตามด้วย ทำให้กำลังที่ใช้ในการสับเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในงานวิจัยนี้สรุปว่าจำนวนใบมีด 5 ใบมีด ที่ความเร็วใบมีด 950-1,100 รอบต่อนาที มีความเหมาะสมในการสับใบอ้อยมากกว่าสภาวะอื่น ๆ จากงานวิจัยของ ชัยณรงค์ หล่มช่างคำ และคณะ [11] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของต้นข้าวโพดเพื่อออกแบบเครื่องสับต้นข้าวโพด ใช้ใบมีดสับ จำนวน 5 ใบ มุมคมใบมีด คือ 30 40 50 60 และ 70 องศา โดยกำหนดอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับ 5 ระดับ คือ 10 20 40 60 และ 100 มิลลิเมตรต่อนาที จากผลการทดสอบพบว่า ใบมีดสับที่ทำมุม 30 ในทุกอัตราการเคลื่อนที่ของใบมีดสับจะใช้แรงสับเฉือนสูงสุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และพลังงานสับจำเพาะสูงสุด น้อยกว่าทุกมุมคมของใบมีดสับ

งานวิจัยฉบับนี้จึงได้เสนอการออกแบบ สร้างและประเมินสมรรถนะของเครื่องย่อยไม้ ที่ใช้งานตัดแบบ 2 ใบ 3 ใบ และ 4 ใบ โดยนำกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งกิ่งของเขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร มาทำการทดสอบ โดยมุ่งออกแบบให้เครื่องย่อยกิ่งไม้มีขนาดเล็ก ทำงานได้ดี และเคลื่อนย้ายได้สะดวก ง่ายต่อการใช้งาน

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 ขอบเขตการวิจัย

1. สร้างเครื่องย่อยกิ่งไม้ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก
2. ใช้ต้นกำลังเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 8.5 แรงม้า
3. ใช้ชุดใบมีดแบบจาน 2 ใบ 3 ใบ และ 4 ใบมีด

4. สามารถย่อยไม้เนื้ออ่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด 70 มิลลิเมตร
5. กิ่งไม้ที่ทำการศึกษาหมายถึงทั้งกิ่งไม้และใบไม้รวมกัน

## 2.2 การออกแบบเครื่องย่อยกิ่งไม้

### 2.2.1 การเลือกเครื่องยนต์ต้นกำลัง

ในการออกแบบ เครื่องย่อยกิ่งไม้ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะกระบอกสูบเดี่ยววาล์วเหนือลูกสูบ (OHV) วางเอียง ของฮอนด้า รุ่น GX270 ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ ดังแสดงในตารางที่ 1



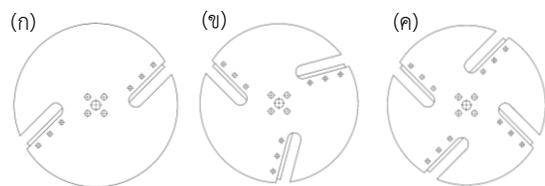
รูปที่ 1 เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 8.5 แรงม้า [12]

### 2.2.2 งานตัดและใบมีด

คณะผู้วิจัยกำหนดขนาดของงานตัดและใบมีด โดยเลือกจากขนาดของงานตัดและใบมีดที่ใช้ในเครื่องย่อยกิ่งไม้ขนาดเล็กในท้องตลาด โดยใบมีดมีขนาดความกว้างจากคมมีด 33.7 มิลลิเมตร ความยาวของใบมีด 105 มิลลิเมตร และความหนาของใบมีด 0.7 มิลลิเมตร งานตัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 350 มิลลิเมตร ความหนาของงานตัด 10 มิลลิเมตร โดยที่จุดยึดระหว่างใบมีดกับงานตัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร และมีความยาวร่องใบมีด 92.3 มิลลิเมตร งานตัดถูกออกแบบ 3 รูปแบบ (1) งานตัด 2 ใบมีด (2) งานตัด 3 ใบมีด และ (3) งานตัด 4 ใบมีด ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของงานตัดทั้ง 3 รูปแบบ ในการย่อยกิ่งไม้

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ [12]

| รายละเอียด                | ข้อมูล               |
|---------------------------|----------------------|
| ปริมาตร / ความจุกระบอกสูบ | 230 ซีซี.            |
| กระบอกสูบ x ระยะชัก (มม.) | 70.0 x 58.0 มม.      |
| กำลังเครื่องยนต์แบบสุทธิ  | 8.5 แรงม้า           |
|                           | 3,000 รอบต่อนาที     |
| แรงบิดสูงสุดแบบสุทธิ      | 1.94 กิโลกรัม - เมตร |
|                           | 2,500 รอบต่อนาที     |
| ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง | 4.8 ลิตร             |
| ความจุถังน้ำมันเครื่อง    | 0.6 ลิตร             |
| อัตราส่วนกำลังอัด         | 8.5:1                |
| ระบบกรองอากาศ             | ไส้กรองอากาศแบบ      |
|                           | ธรรมดา               |
| ระบบสตาร์ทเครื่องยนต์     | เชือกดึงสตาร์ท       |



รูปที่ 2 (ก) งานตัด 2 ใบมีด, (ข) งานตัด 3 ใบมีด และ (ค) งานตัด 4 ใบมีด

หลังจากกำหนดขนาดของเครื่องยนต์ งานตัด และใบมีดแล้วจากนั้นนำข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ และขนาดของงานตัด ไปคำนวณและกำหนดขนาดของเพลลา และมู่เส่ ในหัวข้อ 2.2.3 และ 2.2.4 ต่อไป

### 2.2.3 การคำนวณหาขนาดเพลลา

เพลลาเป็นส่วนสำคัญของเครื่องย่อยกิ่งไม้ มีหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังจากเครื่องต้นกำลัง และทำให้เกิดการหมุนของใบมีดเพื่อใช้ในการตัดเพื่อลดขนาดกิ่งไม้ ในการคำนวณหาขนาดเพลลาได้ดำเนินการตามข้อกำหนดสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME code) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิติศาสตร์ และใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด โดยไม่พิจารณาความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้น [13]

การคำนวณหาแรงต้านต่อการตัดสับของกิ่งไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. โดยการใช้ตาซึ่งสปริงดึงงานตัดสับของกิ่งไม้จนกระทั่งกิ่งไม้ขาด ได้แรงดึงสูงสุด 22.36 กิโลกรัม แล้วนำไป หาแรงบิดของเพลลา และการคำนวณขนาดเพลลางานตัด ดังสมการที่ (1)

$$d^3 = \frac{16}{\pi t_{\max}} [(C_m M)^2 + (C_t T)^2]^{1/2} \quad (1)$$

โดยที่

d = ขนาดของเพลลา (เมตร)

t<sub>max</sub> = ความเค้นเฉือนสูงสุด (นิวตันต่อตารางเมตร)

C<sub>m</sub> = ตัวประกอบจากการล้าเนื่องจากการตัด

C<sub>t</sub> = ตัวประกอบจากการล้าเนื่องจากการบิด

M = โมเมนต์ตัดที่เกิดขึ้นในเพลลา (นิวตัน-เมตร)

T = แรงบิดของเพลลา (นิวตัน-เมตร)

จากสมการที่ (1) สามารถคำนวณหาขนาดของเพลลาได้ 0.25 เมตร หรือ 25 เซนติเมตร

### 2.2.4 การคำนวณหาขนาดของมู่เล่

ในเครื่องย่อยกิ่งไม้ มู่เล่มีหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งในการส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่จานตัด ดังแสดงในรูปที่ 3 การหาอัตราทดของมู่เล่เพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการ สามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$\text{อัตราทด} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

โดยที่

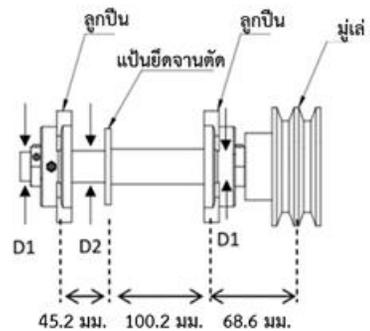
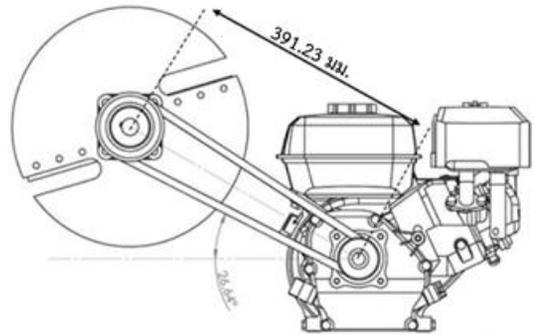
D<sub>1</sub> = เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ขับ (เมตร)

D<sub>2</sub> = เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ตัวตาม (เมตร)

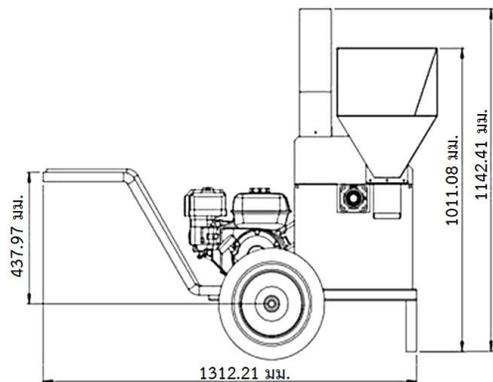
n<sub>1</sub> = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)

n<sub>2</sub> = ความเร็วรอบของเพลลางานตัด (รอบต่อนาที)

จากสมการที่ (2) สามารถคำนวณหาขนาดของมู่เล่ของเพลลาข้อเหวี่ยงเครื่องยนต์ ได้ 0.1016 เมตร หรือ 10.16 เซนติเมตร ขนาดของมู่เล่ตัวตาม หรือมู่เล่งานตัด ได้ 0.2087 เมตร หรือ 20.87 เซนติเมตร



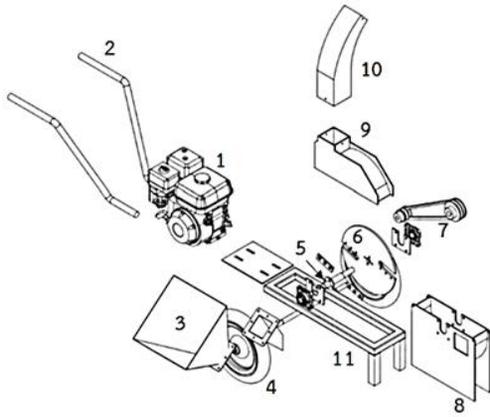
รูปที่ 3 การส่งกำลังเครื่องยนต์ผ่านสายพาน



รูปที่ 4 รูปแบบโครงสร้างเครื่องย่อยกิ่งไม้

### 2.2.5 ออกแบบเครื่องย่อยกิ่งไม้

หลังจากเลือกเครื่องยนต์ กำหนดขนาดของงานตัด คำนวณหาขนาดเพลลาและส่วนประกอบอื่น ๆ แล้ว ได้ทำการออกแบบและกำหนดขนาดของเครื่องย่อยกิ่งไม้ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 5 ส่วนประกอบของเครื่องย่อยกิ่งไม้

จากรูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของเครื่องย่อยกิ่งไม้ โดยที่

1. เครื่องยนต์
2. ด้ามจับ
3. ช่องใส่กิ่งไม้
4. ล้อ
5. เพลลา
6. งานตัดและใบมีด
7. สายพานและมู่เล่
8. ตัวถังครอบงานตัดด้านข้าง
9. ตัวถังครอบงานตัดด้านบน
10. ท่อทิ้งเศษกิ่งไม้ที่ย่อยแล้ว
11. โครงเครื่องและขาตั้ง

เครื่องย่อยกิ่งไม้มีความยาว 1310 มิลลิเมตร ความกว้าง 600 มิลลิเมตร และความสูง 1140 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่ามีขนาดเล็กและสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย เพื่อนำไปใช้งานในสถานที่ต่าง ๆ

### 2.2.3 วิธีการทดสอบ

การทดสอบได้แบ่งออกเป็น 2 การทดสอบ

การทดสอบที่ 1 เป็นการทดสอบเพื่อหาความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่สามารถย่อยกิ่งไม้ ขนาด 70 มิลลิเมตร ได้ โดยการทดสอบนี้ใช้งานตัด 2 ใบมีด เพื่อย่อยกิ่งไม้เนื้ออ่อนที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งไม้ของกรุงเทพมหานคร

โดยใช้กิ่งไม้สด และกิ่งไม้แห้ง ในการทดสอบ ครั้งละ 15 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 6 และใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ระหว่าง 1,000 ถึง 3,400 รอบต่อนาที โดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) แบบเลเซอร์ในการวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ การทดสอบถูกทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำผลมาหาค่าเฉลี่ย หลังจากทราบความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่สามารถย่อยกิ่งไม้ตามขนาดที่ต้องการได้แล้ว จะนำผลที่ได้ใช้ในการทดสอบที่ 2 ต่อไป

การทดสอบที่ 2 เป็นการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะการย่อยกิ่งไม้ของเครื่องย่อยกิ่งไม้ที่มีงานตัด 2 ใบมีด 3 ใบมีด และ 4 ใบมีด โดยการทดสอบนี้ใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบที่ 1 ในการย่อยกิ่งไม้เนื้ออ่อนที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งไม้ของกรุงเทพมหานคร โดยใช้กิ่งไม้สด และกิ่งไม้แห้ง จำนวน 15 กิโลกรัม และจับเวลาที่ใช้ในการย่อยกิ่งไม้เพื่อนำไปหาอัตราการย่อยกิ่งไม้ต่อไป โดยการทดสอบทั้งหมดทำซ้ำกัน 3 ครั้ง แล้วนำผลมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 6 กิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งก่อนผ่านเครื่องย่อย

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 การทดสอบความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เหมาะสม

การทดสอบความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่อขนาดของกิ่งไม้ที่สามารถย่อยได้ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2 สำหรับการย่อยกิ่งไม้สด และในตารางที่ 3 สำหรับการย่อยกิ่งไม้แห้ง

ตารางที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของกิ่งไม้สดที่สามารถย่อยได้ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่าง ๆ

| ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที) | เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของกิ่งไม้สดที่สามารถย่อยได้ (มม.) |
|-------------------------------------|---|
| 1,000                               | 26  |
| 1,400                               | 35  |
| 1,800                               | 40  |
| 2,200                               | 48  |
| 2,600                               | 55  |
| 3,000                               | 58  |
| 3,400                               | 73  |

ตารางที่ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของกิ่งไม้แห้งที่สามารถย่อยได้ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่าง ๆ

| ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที) | เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของกิ่งไม้แห้งที่สามารถย่อยได้ (มม.) |
|-------------------------------------|---|
| 1,000                               | 20  |
| 1,400                               | 30  |
| 1,800                               | 38  |
| 2,200                               | 44  |
| 2,600                               | 50  |
| 3,000                               | 55  |
| 3,400                               | 70  |

จากตารางที่ 2 พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งไม้สดที่สามารถย่อยได้ อยู่ระหว่าง 26 ถึง 73 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ระหว่าง 1,000 ถึง 3,400 รอบต่อนาที โดยที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ต่ำสุด สามารถย่อยกิ่งไม้สดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงที่สุดที่ 26 มิลลิเมตร สังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์แล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งไม้สดที่สามารถย่อยได้จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าว

สอดคล้องกับงานของ อนุรักษ มະโนมัย และ รพีพรรณ เหล็กหมื่นไวย [7] ที่ทำการทดสอบเครื่องย่อยไม้ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 1,150 1,800 และ 2,450 รอบต่อนาที โดยทำการย่อยไม้กระถิน ไม้ตะขบ ไม้สะเดา และไม้กระถินณรงค์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร พบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบต่ำที่สุดของการทดสอบ เครื่องย่อยไม้ไม่สามารถย่อยไม้สะเดาและไม้กระถินณรงค์ได้ อีกทั้งเครื่องยนต์ยังเกิดการกระตุกจนดับไป แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์จึงสามารถย่อยไม้ดังกล่าวได้

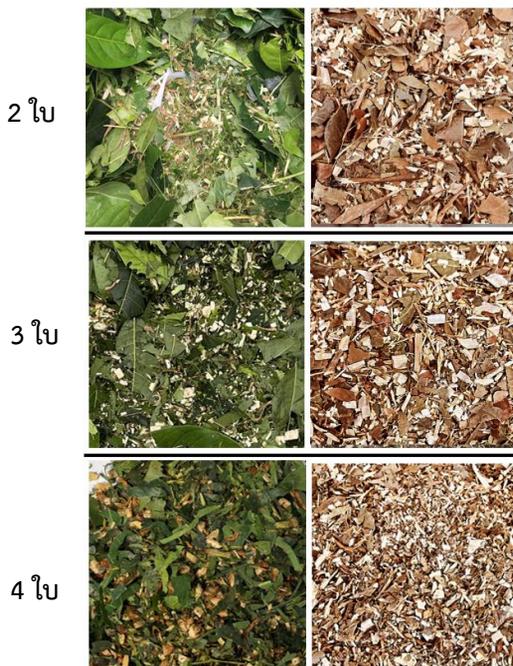
ตารางที่ 3 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของกิ่งไม้แห้งที่สามารถย่อยได้ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่า ในกรณีเดียวกันกับกิ่งไม้สด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 รอบต่อนาที เส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งไม้แห้งที่สามารถย่อยได้เท่ากับ 20 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งไม้แห้งที่สามารถย่อยได้ที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์อื่น ๆ และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งไม้แห้งที่สามารถย่อยได้เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งไม้ที่สามารถย่อยได้ของกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งพบว่า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เท่ากัน เครื่องย่อยกิ่งไม้สามารถย่อยกิ่งไม้สดที่มีขนาดใหญ่กว่ากิ่งไม้แห้งได้ โดยที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุดของการทดลอง ที่ 3,400 รอบต่อนาที พบว่า เครื่องย่อยกิ่งไม้สามารถย่อยกิ่งไม้สดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดที่ 74 เซนติเมตร และสามารถย่อยกิ่งไม้แห้งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดที่ 70 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดไว้ในขอบเขตการศึกษา โดยการทดสอบเปรียบเทียบอัตราการย่อยกิ่งไม้ของจานตัด 2 ใบมีด 3 ใบมีด และ 4 ใบมีด จะใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่ 3,400 รอบต่อนาที ในการทดสอบต่อไป

ความชื้นเป็นปัจจัย สำคัญที่ส่งผลต่อความแข็งแรงและสภาพยืดหยุ่นของกิ่งไม้ เมื่อเนื้อไม้มี

ความชื้นเพิ่มขึ้นความแข็งแรงและสภาพยืดหยุ่นของกิ่งไม้จะลดลง [9] อีกทั้งความชื้นยังเป็นสารหล่อลื่นที่ช่วยในการย่อยกิ่งไม้ [6] เนื่องจากกิ่งไม้แห้งมีปริมาณความชื้นน้อยกว่ากิ่งไม้สดทำให้กิ่งไม้แห้งมีความแข็งแรงมากกว่ากิ่งไม้สดจึงส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของกิ่งไม้แห้งที่สามารถย่อยได้มีค่าน้อยกว่ากิ่งไม้สด

### 3.2 การเปรียบเทียบอัตราการย่อยกิ่งไม้ของ जानตัด 2 ใบมีด 3 ใบมีด และ 4 ใบมีด



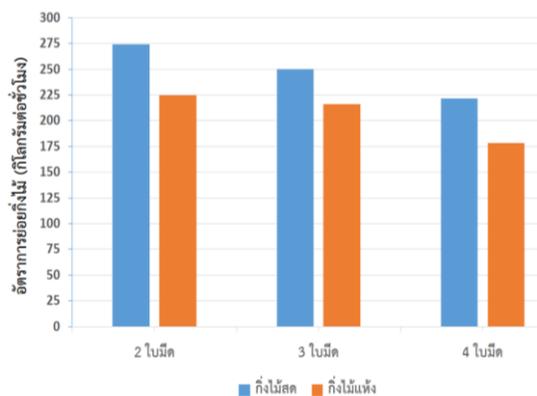
รูปที่ 7 กิ่งไม้สด และกิ่งไม้แห้งหลังผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อย

ในการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ जानตัด 2 ใบมีด जानตัด 3 ใบมีด และ जानตัด 4 ใบมีด จะทำการทดลองโดยใช้กิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้ง และจับเวลาที่ใช้ในการย่อยกิ่งไม้เพื่อนำไปหาอัตราการย่อยกิ่งไม้ โดยเลือกทำการทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,400 รอบต่อนาที เนื่องจากที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ดังกล่าว เครื่องย่อยกิ่งไม้สามารถย่อยกิ่งไม้ที่มีขนาดสูงสุดไม่เกิน 70 มิลลิเมตรได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราการย่อยกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งของ जानตัด 2 ใบมีด जानตัด 3 ใบมีด และ जानตัด 4 ใบมีด ที่ความเร็วเครื่องยนต์ 3,400 รอบต่อนาที

| ชนิดของ जानตัด | ชนิด        | น้ำหนัก (กิโลกรัม) | เวลาที่ใช้ในการย่อย (นาที) | อัตราการย่อยกิ่งไม้ (กก./ชม.) |
|----------------|-------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 2 ใบมีด        | กิ่งไม้สด   | 15                 | 3.28                       | 274.3                         |
|                | กิ่งไม้แห้ง | 15                 | 4.01                       | 224.4                         |
| 3 ใบมีด        | กิ่งไม้สด   | 15                 | 3.60                       | 250.0                         |
|                | กิ่งไม้แห้ง | 15                 | 4.16                       | 216.3                         |
| 4 ใบมีด        | กิ่งไม้สด   | 15                 | 4.06                       | 221.7                         |
|                | กิ่งไม้แห้ง | 15                 | 5.04                       | 178.6                         |

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการย่อยกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งของ जानตัด 2 ใบมีด อยู่ที่ 274.3 และ 221.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ जानตัด 3 ใบมีด สามารถย่อยกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งได้ในอัตราการย่อยที่ 250 และ 216.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และในส่วนของ जानตัด 4 ใบมีด สามารถย่อยกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งได้ในอัตราการย่อยที่ 221.7 และ 178.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากการสังเกตพบว่าการเพิ่มใบมีดส่งผลให้อัตราการย่อยของทั้งกิ่งไม้สดและกิ่งไม้แห้งลดลง ในความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่ากัน



รูปที่ 8 อัตราการย่อยกิ่งไม้ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

อย่างไรก็ตามเมื่อสังเกตเศษไม้หลังการย่อย ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าขนาดสูงสุดของเศษไม้หลังผ่านการย่อยด้วยจานตัด 2 ใบมีดอยู่ที่ 15x25 มิลลิเมตร ขนาดสูงสุดของเศษไม้หลังผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยกิ่งไม้ที่มีจานตัด 3 ใบมีด อยู่ที่ 10x15 มิลลิเมตร และขนาดสูงสุดของเศษไม้หลังผ่านการย่อยด้วยเครื่องย่อยไม้ที่มีจานตัด 4 ใบมีด อยู่ที่ 7x10 มิลลิเมตร โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจานตัด 3 ชนิดพบว่า เครื่องย่อยไม้ที่ใช้จานตัด 2 ใบมีดมีอัตราการย่อยที่ดีกว่า อย่างไรก็ตามเครื่องย่อยกิ่งไม้ที่ใช้จานตัด 4 ใบมีด สามารถย่อยกิ่งไม้ได้ละเอียดกว่าจานตัด 2 ใบมีด และ 3 ใบมีด ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของ ชนิรินทร์ อุปถัมภ์ และคณะ [10] ที่ได้ศึกษาอิทธิพลของจำนวนใบมีดและความเร็วเชิงเส้นของใบมีดสับที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดสับลดขนาดลำต้นมันสำปะหลัง โดยใช้จานสับ 2, 3 และ 4 ใบมีด พบว่า ที่ความเร็วเชิงเส้นที่เท่ากัน การเพิ่มจำนวนใบมีดส่งผลให้อัตราการสับต้นมันสำปะหลังลดลงเนื่องจากการเพิ่มจำนวนใบมีดทำให้จังหวะของการสับลดน้อยลง แต่ต้นมันสำปะหลังหลังผ่านการสับลดขนาด มีความละเอียดและขนาดเล็กกว่า มีเพิ่มจำนวนใบมีด

#### 4. สรุป

จากการทดสอบเครื่องย่อยกิ่งไม้ขนาดเล็กพบว่าการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็นผลให้เครื่องสามารถย่อยกิ่งไม้ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ และเครื่องย่อยกิ่งไม้สามารถย่อยกิ่งไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 70 มิลลิเมตรได้ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุดที่เลือกใช้ 3,400 รอบต่อนาที

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างจานตัด 2 ใบมีด จานตัด 3 ใบมีด และจานตัด 4 ใบมีด พบว่า อัตราการย่อยกิ่งไม้สดมีค่ามากกว่าอัตราการย่อยกิ่งไม้แห้ง จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าความชื้นในกิ่งไม้มีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการย่อยกิ่งไม้ เนื่องจากความชื้นเป็นสารหล่อลื่นที่ช่วยในการย่อยกิ่งไม้และทำให้อัตราการ

ย่อยสูงขึ้น การเพิ่มจำนวนใบมีด ทำให้ไม้หลังผ่านการย่อยมีขนาดเล็กและละเอียดกว่า ดังนั้นการเลือกใช้จานตัด 2 ใบมีด จานตัด 3 ใบมีด หรือจานตัด 4 ใบมีด จึงขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งาน หากต้องการขนาดของกิ่งไม้ที่มีความละเอียดมากการใช้จานตัด 4 ใบมีดจะเหมาะสมกว่า แต่หากต้องการความรวดเร็วในการย่อยไม้ควรเลือกใช้จานตัด 2 ใบมีด

อย่างไรก็ตามยังมีตัวแปรอื่นที่ยังต้องนำมาศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องย่อยกิ่งไม้ขนาดเล็กต่อไป เช่น การคำนวณความสัมพันธ์ของพลังงานด้านพลังงานเพื่อนำมาคำนวณต้นทุนในการย่อยกิ่งไม้ การศึกษาอิทธิพลของมุมการติดตั้งของใบมีดและมุมของคมมีดต่อการย่อยกิ่งไม้เพื่อให้เครื่องย่อยกิ่งไม้มีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย นายนนทวัฒน์ ชื่นจรูญ นายปฏิพล ทรัพย์รุ่งโรจน์ นายรัชชวัน ชูชื่น นายธนภัทร์ เสรีธนาโรจน์ นายพาดูวิชัย พลภักดี นายธรมณัฐ รอดชีวิต ที่ช่วยเหลือในการทดสอบ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Nimnuan, "Urban Public Space Management for Sustainable and Equitable Development," *Humanities and Social Sciences Nakhonsawan Rajabhat University Academic Journal*, vol. 9, no.1, pp. 45–58, Jan. – Jun. 2022.
- [2] U. Buarapa, "Developing rural green areas for sustainability," *Journal of Architecture, Design and Construction*, vol. 4, no.1, pp. 27–37, Jan. – Apr. 2022.
- [3] Department of Environment, Bangkok Metropolitan Administration, "Annual

- operational plan,” [Online]. Available: <https://webportal.bangkok.go.th/upload/user/00000231/data/plan64/plan2564.pdf>. [Accessed: Jan. 10, 2024].
- [4] J. Sompong and W. Khongouan, “The role of Lumipini park, Bangkok, and its developing plan,” *Journal of the Faculty of Architecture King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang*, vol. 22, no. 1, pp. 56–69, Jan. – Jun. 2016.
- [5] S. Choothong, J. Hatthong, W. Na Nakon, and P. Sinumporn, “Study of species and threat status of street trees in an urban landscape in Nakhon Si Thammarat Province”, *Rajabhat Chiang Mai Research Journal*, vol. 23, no. 1, pp. 198–212, Jan. – Apr. 2022.
- [6] P. Yaemban, C. Thuaichan, and S. Luechanda, “Development leaves chipper creating machine,” *Vocational Education Innovation and Research Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 19-26, Jan. – Jun. 2017.
- [7] A. Manomai and R. Leakmuinwai, “Design and construction of a wood chipper,” *Journal of Vongchavalitkul University*, vol. 33, no. 2, pp. 86-94, Jul.-Dec. 2020.
- [8] S. Charee, S. Sudajan, and N. Khongthon, “Effects of Moisture Content and Blade Cutting Velocity on the Performance of a Sugarcane Leaf Chopping Unit,” in *Proceeding of the 25th TSAE National Conference*, Chiang Mai, Thailand, 2012, pp. 291-297.
- [9] *Research report*, The design and build machines from corn, Research and Development Institute, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, 2014.
- [10] S. Charee, S. Bumrungkeeree, C. Upatum and K. Doungpueng, “Effect of blade number and blade cutting speeds on the chopping energy of sugarcane leaves,” *Agricultural Science Journal*, vol. 53, no. 3 (Suppl.), pp. 132-136, 2022.
- [11] C. Lomchangkum, C. Junsiri, P. Jomlaperatikul, A. Jomlaperatikul, D. Manklang, and P. Sopa, “A study on the mechanical properties of maize plant for design cutting machine of maize plant,” *FEAT JOURNAL*, vol. 8, no. 2, pp. 169-178, Jul-Dec. 2022.
- [12] Eu Honda Motor Co., Inc., “Specification engine Honda GX270,” [Online]. 2020. Available: <https://www.honda-engines-eu.com/en/products/engines/gx270>. [Accessed: Feb. 2, 2024].
- [13] W. Uengphakon and C. Thanadngarn, *Machine Design 1*. 1st ed. Bangkok: Se-education, 2013

# ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา-อะไมเลส และแอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดด้วยเอทานอลจากใบหนานเฉาเหว่ย

ณพัทธ์อร บัวฉุน\*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

1 หมู่ 20 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

รับบทความ 17 มกราคม 2567 แก้ไขบทความ 26 สิงหาคม 2567 ตอรับบทความ 25 กันยายน 2567

## บทคัดย่อ

จากภูมิปัญญาท้องถิ่นพบว่าสมุนไพรหนานเฉาเหว่ยเป็นพืชสมุนไพรที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ทางยา เช่น ช่วยลดน้ำตาลในเลือด และลดความดัน งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟา-อะไมเลส และแอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดใบหนานเฉาเหว่ย ผลการศึกษาเมื่อทำการสกัดใบหนานเฉาเหว่ยด้วยวิธีการแช่หมัก (Maceration) โดยใช้ 95% เอทานอลเป็นตัวทำละลาย จะได้ร้อยละสารสกัดเท่ากับ 11.59 และพบว่า สารสกัดมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด  $59.03 \pm 0.67$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก ต่อกรัมสารสกัด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด  $22.98 \pm 0.21$  มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด และจากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย DPPH free radical scavenging พบว่า สารสกัดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $9.37 \pm 1.31$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และ เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ได้ดี โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $10.39 \pm 1.08$  และ  $11.08 \pm 0.76$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐานอะคาร์โบสที่ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และ เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $14.08 \pm 0.21$  และ  $12.47 \pm 0.46$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดใบหนานเฉาเหว่ยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟา-อะไมเลส และแอลฟา-กลูโคซิเดส อยู่ในระดับที่สูงเมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน ดังนั้นควรมีการศึกษาฤทธิ์และองค์ประกอบทางเคมีให้กว้างขวาง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในการรักษาโรคที่สัมพันธ์กับอนุมูลอิสระ รวมทั้งโรคเบาหวาน

**คำสำคัญ :** ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, แอลฟา-อะไมเลส, แอลฟา-กลูโคซิเดส, หนานเฉาเหว่ย

# Antioxidant, Anti- $\alpha$ -Amylase and $\alpha$ -Glucosidase Activities Ethanollic Extract from *Vernonia amygdalina* Leave

Napattaorn Buachoon\*

Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage  
1 Moo 20, Khlong Nueng Subdistrict, Khlong Luang District, Pathum Thani, 13180

---

Received 17 January 2024; Revised 26 August 2024; Accepted 25 September 2024

## Abstract

From local wisdom, it is found that *Vernonia amygdalina* is a medicinal plant used for medicinal purposes such as helping to reduce blood sugar and pressure but only few academic supports are still provided. The objective of this study is to determine the total phenolic content, total flavonoids content, antioxidant,  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities extract from *V. amygdalina* leaves. In this study, the leave extract of *V. amygdalina* showed the total phenolic content at  $59.03 \pm 0.67$  mg GAE/g extract, and total flavonoid content at  $22.98 \pm 0.21$  mg QE/g extract. The antioxidant activity of *V. amygdalina* leave extract determined using DPPH free radical scavenging method was found with  $IC_{50}$  value of  $9.37 \pm 1.31$  mg/mL. Additionally, the extract from dried leaves of *V. amygdalina* extracted showed good anti- $\alpha$ -glucosidase and anti- $\alpha$ -amylase activities with  $IC_{50}$  values of  $10.39 \pm 1.08$  and  $11.08 \pm 0.76$  mg/mL, respectively, compared with those of acarbose with  $IC_{50}$  values of  $14.08 \pm 0.21$  and  $12.47 \pm 0.46$  mg/mL respectively. Therefore, extensive studies of biological activity and composition should be conducted to lead the development of products for use in the therapy of free radical related diseases and diabetes.

**Keywords :** Antioxidant activity,  $\alpha$ -amylase inhibitor,  $\alpha$ -glucosidase inhibitor, *Vernonia amygdalina*

---

\* Corresponding Author. Tel.: +668 1413 5944, E-mail Address: napattaorn@vru.ac.th

## 1. บทนำ

สมุนไพรหนานเฉาเหว่ย มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Vernonia amygdalina* เป็นพืชวงศ์ทานตะวัน (Compositae) มีลักษณะเป็นไม้ยืนต้น สูง 6-8 เมตร เเพาะปลูกง่าย จากภูมิปัญญาด้านสมุนไพรมีการนำใบหนานเฉาเหว่ยมารับประทานเป็นยารักษาโรคเบาหวาน ในรูปแบบการแปรรูปเป็นชาชงดื่ม เพื่อช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ชาวบ้านและหมอยาพื้นบ้านเชื่อว่าหนานเฉาเหว่ยลดน้ำตาลในเลือดได้ [1], [2] นอกจากนี้ได้มีการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพเพื่อสนับสนุนการนำมาใช้ประโยชน์ทางยา ได้แก่ สารสกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้น 250 มวลต่อปริมาตร มีผลการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging ได้ดีกว่าการสกัดด้วยน้ำเย็นและน้ำร้อน ตามลำดับ นอกจากนี้มีรายงานฤทธิ์ว่าสารสกัดหนานเฉาเหว่ยด้วยเมทานอลยังสามารถลดน้ำตาลในเลือดหนูทดลองที่ถูกเหนี่ยวนำให้เป็นเบาหวานด้วย Alloxan ด้วยการทดสอบให้สารสกัดจากหนานเฉาเหว่ยทางปากเป็นเวลา 28 วัน พบว่า สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ถึง 32.1% ทั้งนี้เนื่องจากในใบหนานเฉาเหว่ยมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ ได้แก่ สารกลุ่มเทอร์พีนอยด์ และสารกลุ่มฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดผ่านกลไกการเพิ่มอินซูลินและการสังเคราะห์ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อสัตว์ทดลอง [3] และมีรายงานว่าสารสกัดจากใบหนานเฉาเหว่ยด้วยเอทานอล น้ำ และบิวทานอลสามารถต้านภาวะน้ำตาลในเลือดสูง [4] เมื่อนำสารสกัดด้วยน้ำจากใบหนานเฉาเหว่ยมาใช้ร่วมกับยารักษาเบาหวานเมทฟอร์มิน สามารถลดน้ำตาลกลูโคสในเลือดของหนูที่เป็นโรคเบาหวานได้ [5] นอกจากนี้ยังพบรายงานที่ สารสกัดจากใบหนานเฉาเหว่ยมีสารสำคัญ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) อัลคาลอยด์ (alkaloids) สเตียรอยด์ (steroids) เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ไกลโคไซด์ (glycosides) แทนนิน (tannins) ฟีนอล

(phenols) ซาโปนิน (saponins) และโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) [6]

อนุมูลอิสระ (free radicle) คือ โมเลกุลหรืออะตอมที่ไม่เสถียรเนื่องจากขาดอิเล็กตรอน ซึ่งโดยปกติในร่างกายมีโมเลกุลหรืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนมาก ในกรณีที่ร่างกายมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากการถูกอนุมูลอิสระแย่งจับ จะทำให้โมเลกุลของเซลล์ในร่างกายไม่เสถียร ขาดความสมดุล ส่งผลทำให้เซลล์ร่างกายเสียหาย โดยที่ร่างกายสามารถสร้างอนุมูลอิสระขึ้นได้ ตัวอย่างของอนุมูลอิสระ เช่น superoxide anion, hydroxyl radicle, peroxy radicle, hydrogen peroxide และ lipid peroxy [7] เมื่อร่างกายไม่สามารถผลิตหรือได้รับสารต้านอนุมูลอิสระเพียงพอที่จะไปยับยั้งหรือไปจับอนุมูลอิสระได้ภายในเซลล์ของร่างกาย ผลทำให้เซลล์เกิดความเสียหายและนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ ซึ่งโรคมะเร็ง หัวใจและหลอดเลือด แก่ก่อนวัย และโรคอื่นๆ เช่น อนุมูลอิสระไปทำลายผนังหลอดเลือดแดง และเมื่อมีไขมันไปสะสมอยู่ในบริเวณหลอดเลือดแดงที่ถูกทำลายจะทำให้เกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดในที่สุด ดังนั้นร่างกายจึงจำเป็นต้องมีสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อช่วยป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระซึ่งกลไกในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น ดักจับอนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับกับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ โดยทั่วไปสารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติ เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบไนโตรเจน และแคโรทีนอยด์ [7]

โรคเบาหวาน (diabetes mellitus) เป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย ทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง ซึ่งมีสาเหตุมาจากเซลล์สร้างอินซูลินในตับอ่อน เพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดถูกทำลาย ทำให้ร่างกายหยุดการหลั่งอินซูลิน หรือการหลั่งอินซูลินน้อยลง เกิดจากอินซูลินที่

หลังออกมาไม่สามารถทำงานได้ตามปกติเนื่องจากมีภาวะดื้ออินซูลิน ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงผิดปกติ ผลกระทบของโรคเบาหวานต่อร่างกายในระยะยาวส่งผลให้เกิดภาวะแทรกซ้อนต่างๆ โรคเบาหวานสามารถจำแนกเป็น 2 ชนิด โรคเบาหวานชนิดที่ 1 (Type 1 Diabetes, Insulin-dependent diabetes mellitus หรือ IDDM) สาเหตุเกิดจาก CD4 (helper T cells) และ CD8 (killer cell) ซึ่งเป็นเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันมีการทำลายเบตาเซลล์( $\beta$ -cell) โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes, Noninsulin-dependent diabetes mellitus หรือ NIDDM) เป็นชนิดที่พบมาก ผู้ป่วยด้วยโรคเบาหวานชนิดนี้ ร่างกายยังคงมีการสร้างและหลั่งอินซูลิน แต่อินซูลินที่หลั่งออกมาไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ หรือเกิดภาวะดื้ออินซูลิน โรคเบาหวานชนิดนี้สามารถรักษาโดยการควบคุมอาหารหรือรับประทานยา ร่วมกับ ในรายที่ป่วยเป็นระยะเวลานานจำเป็นต้องได้รับการฉีดอินซูลินทดแทนเพิ่มเติมด้วย งานวิจัยทางคลินิกที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กันระหว่างการพัฒนาของโรคเบาหวานและระดับของภาวะเครียดออกซิเดชันในร่างกายของผู้ป่วย โดยพบว่า เมื่อระดับน้ำตาลสูงขึ้นสามารถที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดสารอนุมูลอิสระมากมาย และส่งผลทำให้ลดการทำงานของระบบต้านทานอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยกลไกที่เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชันที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ได้แก่ กระบวนการออกซิเดชันของกลูโคส กระบวนการรวมตัวกันระหว่างน้ำตาลกับโปรตีน และการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่เอมีโนในโครงสร้างของโปรตีนที่เกาะกับน้ำตาล [8]

ในปัจจุบันพบว่ามีการวิจัยได้ให้ความสนใจที่จะศึกษาสมุนไพรเพื่อใช้ในการรักษาโรคเบาหวานกันมากขึ้น โดยเฉพาะการศึกษาสารจากสมุนไพรเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีผลต่อการเกิดโรคเบาหวาน ได้แก่ แอลฟา-กลูโคซิเดส ( $\alpha$ -glucosidase) และแอลฟา-อะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ใน

การย่อยแป้ง หากสารสกัดหยาบสมุนไพรสามารถที่จะช่วยในการชะลอการย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ให้เป็นโมเลกุลเดี่ยวด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ การรักษาด้วยสารยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส และ แอลฟา-อะไมเลสจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง นอกจากนี้สารยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดส และแอลฟา-อะไมเลส ยังช่วยลดระดับอินซูลิน สามารถต้านโรคมะเร็ง ปัจจุบันยาในกลุ่มนี้มีหลายชนิด เช่น อะคาร์โบส (acarbose) วอกลีโบส (voglibose) และมิกลิทอล (miglitol) โดยจะมีผลในการลดระดับน้ำตาลหลังรับประทานอาหาร

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟา-อะไมเลส และ แอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดจากใบหนานเฉาเหว่ย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจะนำไปหนานเฉาเหว่ยมาเป็นประโยชน์ในทางการแพทย์เพื่อรักษาผู้ป่วยโรคเบาหวานและยังเป็นข้อมูลพื้นฐานของพืชสมุนไพรในชุมชน

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 ขั้นตอนการวิจัย

#### 2.1.1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากใบหนานเฉาเหว่ย

ใบหนานเฉาเหว่ยที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมจากแหล่งเพาะปลูกในตำบลตาพระยา อำเภอตาพระยา จังหวัดสระแก้ว โดยเลือกเฉพาะใบอ่อนทำการพิสูจน์เอกลักษณ์พืช โดยส่งตัวอย่างใบหนานเฉาเหว่ยไปที่กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร นำมาทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ออบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างใบมา 2,950 กรัม บดให้ละเอียด ทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล ในอัตราส่วน 1:2 [9] ด้วยวิธีการแช่หมัก (maceration) ปิดภาชนะทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนด กรองด้วย

เครื่องกรองสุญญากาศ นำสารที่สกัดได้มาระเหยตัวทำละลายออก ด้วยเครื่องระเหยสารภายใต้สุญญากาศ (rotary evaporator) จะได้เป็นส่วนสกัดหยาบชั้นเอทานอล (ethanol crude extract) ชั่งน้ำหนักของสารสกัดหยาบที่ได้ และเก็บตัวอย่างไว้ในขวดแก้วสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

### 2.1.2 การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

เตรียมสารละลายตัวอย่างโดยชั่งสารสกัดหยาบ 10.0 มิลลิกรัม ละลายด้วย 99.9 % เอทานอล ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร จะได้สารสกัดเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเตรียมความเข้มข้นต่างๆ (1.0, 0.8, 0.4, 0.2, 0.1 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ 99.9 % เอทานอลเป็นตัวทำละลาย) นำสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบและสารมาตรฐาน ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำลงในปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ที่ ความเข้มข้น 10% ปริมาตรต่อปริมาตร ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ทำการเขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำคาร์บอนเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ความเข้มข้น 7% มวลต่อปริมาตร ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้สารผสมกันด้วยเครื่องผสม ตั้บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ดัดแปลงจากวิธีการของ Majhenic Skerget & Knez [9] คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

$$Y = 0.0441x + 0.291$$

### 2.1.3 การหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

เตรียมสารละลายตัวอย่างโดยชั่งสารสกัดหยาบ 10.0 มิลลิกรัม ละลายด้วย 99.9 % เอทานอล ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร ส่วนสารละลายมาตรฐานเคอร์ซีตินเตรียมความเข้มข้นต่างๆ (1.0, 0.8, 0.4, 0.2, 0.1 และ

0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ 99.9 % เอทานอลเป็นตัวทำละลาย) นำสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบและสารมาตรฐาน ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เติมน้ำลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10 % มวลต่อปริมาตร อะลูมิเนียมคลอไรด์ ( $\text{AlCl}_3$ ) ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10% มวลต่อปริมาตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 10.0 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ดัดแปลงจากวิธีการของ Arvouet-Grand et al. [10] คำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานเคอร์ซีติน

$$Y = 2.834x + 0.039$$

### 2.1.4 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH Radical Scavenging

เตรียมสารละลายตัวอย่างด้วย 99.9% เอทานอล ให้ได้ความเข้มข้น (500, 250, 125, 62.5, และ 31.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ส่วนสารละลายมาตรฐาน butylated hydroxytoluene (BHT) ด้วย 99.9% เอทานอล เตรียมความเข้มข้นต่างๆ (500, 250, 125, 62.5 และ 31.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) นำสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบและสารมาตรฐาน ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น DPPH ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีในที่มืด แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ดัดแปลงจากวิธีการของ Braca, Sortino, Politi, Morelli, & Mendez [11] คำนวณหา ค่าคำนวณหา ค่าร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH radical inhibition%) และ ค่าความเข้มข้นที่สามารถ

ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ 50% (IC<sub>50</sub>) หาได้จากกราฟเส้นตรงระหว่าง DPPH radical inhibition (%) กับความเข้มข้นของสารสกัด

$$\text{DPPH radical inhibition (\%)} = [(A-B)/A] \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

A = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารทดสอบ (กลุ่มควบคุม)

B = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่มีสารทดสอบ

ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ใช้ BHT เป็น positive control

### 2.1.5 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (Anti- $\alpha$ -amylase assay)

นำสารละลายมาตรฐานอะคาร์โบส หรือสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.03, 0.05, 0.10, 0.42 และ 0.21 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 20.0 ไมโครลิตร ผสมโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.9) ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลายเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ในโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.9 ที่ความเข้มข้น 10 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20.0 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที เติมสารละลาย 2-chloro-4-nitrophenyl- $\alpha$ -D-maltotrioseide เข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 20.0 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate เขย่า และบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 40 ไมโครลิตร นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร ดัดแปลงจากวิธีการของ Gella et al. [12] หาค่าร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (%  $\alpha$ -amylase inhibition) จากสูตร

$$\% \alpha\text{-amylase inhibition} = [(A-B)/A] \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

A = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสารทดสอบ

B = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีสารทดสอบ

### 2.1.6 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

นำสารละลายมาตรฐานอะคาร์โบส หรือสารละลายตัวอย่าง ที่ความเข้มข้นต่างๆ (0.03, 0.05, 0.10, 0.42 และ 0.21 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.9) ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เติมสารละลายเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ในโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.9) ที่ความเข้มข้น 10 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที เติมสารละลาย p-nitrophenyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside เข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 20.0 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate เขย่า และบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 40.0 ไมโครลิตร นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร ดัดแปลงจากวิธีการของ Matsui et al. [13] หาค่าร้อยละการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (%  $\alpha$ -glucosidase inhibition) จากสูตร

$$\% \alpha\text{-glucosidase inhibition} = [(A-B)/A] \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

A = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสารทดสอบ

B = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีสารทดสอบ

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 3.1 การสกัดสารสกัดจากพืช

จากการสกัดใบหนานเฉาเหว่ยน้ำหนักจำนวน 2,950 กรัม ด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล ได้สารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยเท่ากับ 341.92 กรัม คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 11.59 ของน้ำหนักแห้ง

#### 3.2 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากการหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยด้วย วิธี Folin-Ciocalteu colorimetric โดยใช้สารละลายมาตรฐานเป็นกรดแกลลิก พบว่า สารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ  $59.03 \pm 0.67$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg GAE/g) ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Qing et al. [14] ที่พบว่า ในสารสกัดใบหนานเฉาเหว่ยที่สกัดด้วยเอทานอลมีค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด  $63.044 \pm 2.60$  มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ซึ่งสารสกัดจากเอทานอลจะให้ปริมาณฟีนอลิกมากกว่าเมื่อเทียบกับตัวทำละลายชนิดอื่น เนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่ละลายได้ง่ายในตัวทำละลายเอทานอล และเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดหยาบชั้นเอทานอลของใบหูกวาง ใบสัก ฝักปอปิด และบอระเพ็ด ที่มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ  $21.20 \pm 3.06$   $67.45 \pm 1.35$   $31.33 \pm 0.82$  และ  $8.02 \pm 1.14$  มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ

#### 3.3 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

จากการหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดด้วยวิธี Aluminium trichloride ( $AlCl_3$ ) Colorimetric

โดยใช้สารละลายมาตรฐานเป็นเคอร์ซีติน พบว่า สารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ  $22.98 \pm 0.21$  มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด ดังแสดงในตารางที่ 1 และจากการศึกษาของ Omede et al. [15] พบปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยเท่ากับ  $0.857 \pm 0.15$  มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด สำหรับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดใบสัก ฝักปอปิด ใบหูกวาง และบอระเพ็ด มีค่าเท่ากับ  $68.28 \pm 1.44$   $44.78 \pm 1.49$   $38.06 \pm 2.11$  และ  $6.72 \pm 0.25$  มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด ทั้งนี้เนื่องจากใบหูกวาง ใบสัก ฝักปอปิด และบอระเพ็ด เป็นสมุนไพรไทยบางชนิดที่ใช้รักษาโรคเบาหวาน [16]

#### 3.4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging โดยใช้สารละลายมาตรฐานคือ BHT พบว่า สารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $9.37 \pm 1.31$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน BHT โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $10.02 \pm 2.46$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า สารสกัดเอทานอลจากใบหนานเฉาเหว่ยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและออกฤทธิ์โดยวิธีกำจัดอนุมูล DPPH ผลการวิจัยในครั้งนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Omede et al., [15]; Wang et al., [17]; Adeoye et al., [18]; Qing et al., [14] ที่รายงานว่า สารสกัดเอทานอล และเมทานอลของใบหนานเฉาเหว่ยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระวิเคราะห์โดยวิธี DPPH radical ของสารสกัดจากใบหนานเฉาเหว่ย<sup>1</sup>

| สารสกัด                  | ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g extract) | ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g extract) | ค่า IC <sub>50</sub> ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical (mg/mL) |
|--------------------------|---|---|---|
| สารสกัดจากใบหนานเฉาเหว่ย | 59.03±0.67                              | 22.98±0.21                                | 9.37±1.31   |
| Positive control (BHT)   |   |   | 10.02±2.46  |

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหนานเฉาเหว่ยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ชนิดของสารสกัดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสาร [19] ความเข้มข้นหรือขนาดของสารสกัดที่ใช้ และปริมาณของสารปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ย [6]

### 3.5 ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

จากการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ผลการทดสอบอะคาร์โบส และสารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ย พบว่า สารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มีค่าร้อยละการยับยั้งเท่ากับ 85.35± 0.61 เมื่อนำมาหาค่า IC<sub>50</sub> พบว่า สารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยมีค่า IC<sub>50</sub> เท่ากับ 10.39±1.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐานอะคาร์โบส มีการยับยั้งได้ 92.15±0.39% และมีค่า IC<sub>50</sub> 14.08 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 2 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ แอลฟา-อะไมเลสของสารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยในการวิจัยครั้งนี้ สอดคล้องกับการวิจัยของ

Alara et al., [6]; Erukainure et al., [20]; Alara & Abdurahman [21]; ที่พบว่าสารสกัดในเอทานอล และสารสกัดในบิวทานอลมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และ สารโพลีฟีนอลในธรรมชาติสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ในการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต

### 3.6 ฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

จากการทดสอบฤทธิ์ การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส พบว่า สารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส มีร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสเท่ากับ 74.39±0.15 เมื่อนำมาหาค่า IC<sub>50</sub> พบว่า สารสกัดใบหนานเฉาเหว่ยมีค่า IC<sub>50</sub> เท่ากับ 11.08±0.76 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐานอะคาร์โบส มีการยับยั้งได้ 89.82±1.86 % และมีค่า IC<sub>50</sub> 12.47±0.46 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และ เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสของสารมาตรฐานอะคาร์โบส ของสารสกัดจากใบหนานเฉาเหว่ย<sup>1</sup>

| สารตัวอย่าง              | เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส |                          | เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส       |                          |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
|                          | % α-amylase inhibition  | IC <sub>50</sub> (mg/mL) | % α-glucosidase inhibition | IC <sub>50</sub> (mg/mL) |
| สารสกัดจากใบหนานเฉาเหว่ย | 85.35±0.61              | 10.39±1.08               | 74.39±0.15                 | 11.08±0.76               |
| สารมาตรฐานอะคาร์โบส      | 92.15±0.39              | 14.08 ± 0.21             | 89.82±1.86                 | 12.47±0.46               |

<sup>1</sup> ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ แอลฟา-กลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ยในการ

วิจัย สอดคล้องกับการวิจัยของ Alara & Abdurahman [21]; Alara et al., [6] ที่พบว่าสารสกัดของเอทานอล สารสกัดน้ำ และสารสกัดของบิวทานอลมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ทั้งนี้ฤทธิ์ของสารสกัดที่ใช้ทดสอบในฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส และเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น ระยะเวลาในการให้สารสกัด และชนิดของสารสกัดสารสำคัญ [19] อาจเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกฤทธิ์ต้านเบาหวานของใบหนานเฉาเหว่ย

ผลการทดลองฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ของสารสกัดใบหนานเฉาเหว่ย พบว่า สารสกัดของเอทานอลจากใบหนานเฉาเหว่ยสามารถออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสได้ และการที่สารสกัดใบหนานเฉาเหว่ยจากเอทานอลสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวทำละลายเอทานอลเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จะสามารถดึงสารละลายที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสได้ดี [6] สารสกัดของเอทานอลจากใบหนานเฉาเหว่ยสามารถออกฤทธิ์ต้านเบาหวานโดยสามารถชะลอการดูดซึมหรือป้องกันการดูดซึมของน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด โดยจะออกฤทธิ์ในการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และแอลฟา-กลูโคซิเดส [26] เป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของแป้งได้เป็นน้ำตาลกลูโคส ทำให้การดูดซึมน้ำตาลกลูโคสจากลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือดลดลง หรือความเข้มข้นของน้ำตาลไม่สูงเกินไปจนเกิดภาวะอันตราย ซึ่งผลจากการทดลองมีข้อมูลพื้นฐานในการนำสารสกัดด้วยเอทานอลจากใบหนานเฉาเหว่ยไปใช้ในการศึกษาทางการแพทย์

ต่อไป เพื่อนำมาใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ทั้งนี้ในการบริโภคสารสกัดใบหนานเฉาเหว่ยควรอยู่ในการดูแลของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ โดยเฉพาะผู้ป่วย ผู้ที่มีโรคประจำตัว ซึ่งควรระมัดระวังเป็นพิเศษ

#### 4. สรุป

ผลจากการศึกษา เมื่อทำการสกัดใบหนานเฉาเหว่ยด้วยวิธีการแช่หมัก (Maceration) โดยใช้ 95% เอทานอลเป็นตัวทำละลาย จะได้ร้อยละสารสกัดเท่ากับ 11.59 ของน้ำหนักแห้ง พบว่า สารสกัดหยาบใบหนานเฉาเหว่ย มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส และฤทธิ์การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จึงมีความเป็นไปได้ในการนำสารสกัดนี้ไปทำการวิจัยหรือเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดลองต่อทางคลินิก เพื่อเป็นแนวทางไปสู่การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในการรักษาโรคที่สัมพันธ์กับอนุมูลอิสระ รวมทั้งโรคเบาหวาน ดังนั้น การใช้หนานเฉาเหว่ยจึงต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณชุมชนตำบลตาพระยา จังหวัดสระแก้ว ที่ให้ความอนุเคราะห์พืชตัวอย่าง และให้ข้อมูลภูมิปัญญาพื้นบ้านการใช้พืชตัวอย่างนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Zainul, N. F. N. Hassan, Y. Zakaria, and H. Muhammad, "In vivo antidiabetic efficacy

- of Malaysian *Vernonia amygdalina* aqueous extract,” *Journal of Medicinal Plants Studies*, vol. 6, no. 4, pp. 72-77, Jul. 2018.
- [2] N. Yunitasari, R. T. Swasono, H. D. Pranowo, and T. J. Raharjo, “Phytochemical screening and metabolomic approach based on Fourier transform infrared (FTIR): Identification of  $\alpha$ -amylase inhibitor metabolites in *Vernonia amygdalina* leaves,” *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 26, no. 6, p. 101540, Jun. 2022.
- [3] N. J. Toyang and R. Verpoorte, “A review of medicinal potentials of plants of the genus *Vernonia* (Asteraceae).” *Journal Ethnopharmacology*, vol. 146, no. 3, pp. 681-723, Apr. 2013.
- [4] F. M. Katemo, R. D. Marini, and J. N. Kadima, “Antihyperglycemic activity of *Vernonia amygdalina* leaf extracts, *Hibiscus esculentus* fruit extract and *Garcinia kola* seed extract from Kisangani plants,” *Journal of Pharmaceutical Research International*, vol. 21, no. 5, pp. 1-8, 2018.
- [5] F. Yazid, N. B. Hasanah, M. Hanafi, and V. D. Prasasty, “Antidiabetic and antioxidant potential of *Vernonia amygdalina* leaf extract in alloxan-induced Sprague-Dawley rats,” *Online Journal of Biological Sciences*, vol. 20, no. 4, pp. 190-200, Nov. 2020.
- [6] O. R. Alara, N. H. Abdurahman, C. I. Ukaegbu, and N. A. Kabbashi, “Extraction and characterization of bioactive compounds in *Vernonia amygdalina* leaf ethanolic extract comparing soxhlet and microwave-assisted extraction techniques,” *Journal of Taibah University for Science*, vol. 13, no. 1, pp. 414-422, Feb. 2019.
- [7] S. B. Nimse, and D. Pal, “Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms,” *RSC Advances*, vol. 5, no. 35, pp. 27986-28006. Mar. 2015.
- [8] K. Nowotny, T. Jung, A. Höhn, D. Weber, and T. Grune, “Advanced glycation end products and oxidative stress in type 2 diabetes mellitus,” *Biomolecules*, vol. 5, no. 1, pp. 194-222, Mar. 2015.
- [9] L. Majhenic, M. Skerget, and Z. Knez, “Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts,” *Food Chemistry*, vol. 104, no. 3, pp. 1258-1268, 2007.
- [10] A. A. Grand, B. Vennat, A. Pourrat, and P. Legret, “Standardization of propolis extract and identification of principal constituents,” *Journal de Pharmacie de Belgique*, vol. 49, no. 6, pp. 462-468, Nov-Dec. 1994.
- [11] A. Braca, C. Sortino, M. Politi, I. Morelli, and J. Mendez, “Antioxidant activity of flavonoids from *Licania licaniaeflora*,” *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 79, no. 3, pp. 379-381, Mar. 2002.
- [12] F. J. Gella, G. Gubern, R. Vidal, and F. Canalias, “Determination of total and pancreatic  $\alpha$ -amylase in human serum with 2-chloro-4-nitrophenyl-  $\alpha$  -D-maltotrioxide as substrate,” *Clinica*

- Chimica Acta*, vol. 259, no. 1-2, pp. 147-160, Mar. 1997.
- [13] T. Matsui, C. Yoshimoto, K. Osajima, T. Oki, and Y. Osajima, "In vitro survey of alpha-glucosidase inhibitory food components," *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, vol. 60, no. 12, 2019-2022.
- [14] F. R. Qing, M. Elumalai, and G. Akowuah, "Antimicrobial and antioxidant studies of *Vernonia amygdalina*," *Journal of Applied Pharmacy*, vol. 6, no. 4, pp. 360-371, Nov. 2014.
- [15] A. Omede, M. S. Suleiman, F. O. Atanu, S. Momoh, E. T. Friday, V. D. Sheneni, and E. R. Jegede, "Evaluation of antioxidant and cytotoxic properties of *Vernonia Amygdalina*," *International Journal of Cell Science & Molecular Biology*, vol. 4, no. 4, pp. 81-86, May. 2018.
- [16] N. Huayhongthong, "Phytochemical screening and biological activity of some Thai medical plants using in the diabetes therapy," M.S. thesis, Burapha Univ., Chonburi, Thailand, 2016.
- [17] Wang, W.T., Liao, S.F., Wu, Z.L., Chang, C.W., & Wu, J.Y. (2020). Simultaneous study of antioxidant activity, DNA protection and anti-inflammatory effect of *Vernonia amygdalina* leaves extracts. *Plos One*, 15 (7), e0235717.
- [18] A. T. Adeoye, T. O. Ajibade, A. A. Oyagbemi, T. O. Omobowale, A. D. Adedapo, A. E. Ayodele, M. A. Yakubu, and A. A. Adedapo, "The methanol leaf extract of *Vernonia amygdalina* ameliorates cardiomyopathy in alloxan-induced diabetic rats," *Ornamental and Medicinal Plants*, vol. 1, no. 2, pp. 26-48, Dec. 2017.
- [19] I. J. Atangwho, G. E. Egbung, M. Ahmad, M. F. Yam, and M. Z. Asmawi, "Antioxidant versus anti-diabetic properties of leaves from *Vernonia amygdalina* Del. growing in Malaysia," *Food Chemistry*, vol. 141, no. 4, pp. 3428-3434, Dec. 2013.
- [20] O. L. Erukainure, O. A. Oyebode, C. U. Ibeji, N. A. Koorbanally, and M. S. Islam, "Vernonia amygdalina Del. stimulated glucose uptake in brain tissues enhances antioxidative activities; and modulates functional chemistry and dysregulated metabolic pathways," *Metabolic Brain Disease*, vol. 34, no. 3, pp. 721-732, Jan. 2019.
- [21] O. R. Alara and N. H. Abdurahman, "Anti-diabetic activity and mineral elements evaluation of *Vernonia amygdalina* leaves obtained from Malaysia," *Journal of Research in Pharmacy*, vol. 23, no. 3, pp. 514-521, Feb. 2019.
- [22] C. E. C. C. Ejike, S. O. Awazie, P. A. Nwangozi, and C. D. Godwin, "Synergistic postprandial blood glucose modulatory properties of *Vernonia amygdalina* (Del.), *Gongronema latifolium* (Benth.) and *Occimum gratissimum* (Linn.) aqueous decoctions," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 149, no. 1, pp. 111-116, Aug. 2013.

# การพัฒนาวิธีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยสารสกัดใบบัวหลวง และเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

อุษารัตน์ คำทับทิม\* เกษมณี พลุกคล้าย นภาพร รัศมีเฟื่องฟู และ รัฐพล หงส์เกรียงไกร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

รับบทความ 3 ธันวาคม 2566 แก้ไขบทความ 27 สิงหาคม 2567 ตอรับบทความ 25 กันยายน 2567

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยสารสกัดใบบัวหลวงและเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี โดยสารสกัดใบบัวหลวงเตรียมด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารสกัดใบบัวหลวงด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์พบว่าหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดใบบัวหลวงมีความสอดคล้องกับสารมาตรฐานกรดแทนนิก จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นได้แก่ การใช้ตัวทำละลายคือสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.8 ความเข้มข้นของกรดแทนนิกในสารสกัดใบบัวหลวง 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 10 นาที ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร วิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมีช่วงความเป็นเส้นตรง 1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร สมการความเป็นเส้นตรงคือ  $y = 0.0326x + 0.289$  ซีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9956 ค่าความเที่ยงในการวิเคราะห์ของวิธีที่พัฒนาขึ้นภายในวันเดียวกันและต่างวันกันมีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 0.14 และ 1.28 ตามลำดับ ร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 87-104 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างเม็ดยาเสริมธาตุเหล็กด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นพบว่าให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความสอดคล้องกับเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Flame-Atomic Absorption Spectroscopy) วิธีที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ใช้สารสกัดใบบัวหลวงเป็นรีเอเจนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเครื่องมือที่ใช้อยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการและราคาถูก

**คำสำคัญ :** สารสกัดใบบัวหลวง; การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก; การพัฒนาวิธี; อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 9130 1001, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: usarat.k@mail.rmutk.ac.th

# Method Development for Iron Content Analysis Using Lotus Leaves Extract and Ultraviolet-Visible Spectroscopy Technique

Usarat Kumtabtim\* Katmanee Phunkhlai Napaporn Rusamee feaungfoo and Rattapon Hongkreingkai

Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep  
2 Nang Linchi Road, Thung Maha Mek, Sathon, Bangkok, 10120

---

*Received 3 December 2023; Revised 27 August 2024; Accepted 25 September 2024*

## Abstract

This research aims to study the method development for Iron content analysis using lotus leaves extract and Ultraviolet-Visible spectroscopy. The lotus leaves extract was prepared by solvent extraction method that used acetate buffer solution as extractant. The chemical structure of lotus leaves extracts was detected by Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR). The result showed the functional groups of lotus leaves extracts were similar to tannic acid standard. The optimum condition for Iron content analysis with the developed method included acetate buffer solution (pH 4.8) used as suitable solvent, the concentration of tannic acid in lotus leaves extracts of 5.6 milligrams per liter. The reaction time was 10 minutes. The detected wavelength was 570 nanometers. The linearity range of the developed method was 1-10 milligrams per Liter. The linear equation was  $y = 0.0326x + 0.289$ . The coefficient of determination ( $R^2$ ) was 0.9956. The limit of detection was 0.51 milligrams per Liter. The percentage relative standard deviation (%RSD) of intra-day and inter-day were 0.14 and 1.28, respectively. The percentage recovery was 87-104. The result of iron content in pharmaceutical tablet that obtained from the developed method was well-correlated with Flame Atomic Absorption Spectroscopy. This developed method is simple, convenient, environmentally friendly, cheap and use the instrument that available in laboratory.

**Keywords:** Lotus Leaves Extract; Iron Content Analysis; Method Development; Ultraviolet-Visible Spectroscopy

---

\* Corresponding Author. Tel.: +668 9130 1001, E-mail Address: [usarat.k@mail.rmutk.ac.th](mailto:usarat.k@mail.rmutk.ac.th)

## 1. บทนำ

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในตัวอย่งที่มีความเข้มข้นต่ำในห้องปฏิบัติการทางเคมีนั้นสามารถใช้เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูงได้หลายชนิดเช่น เครื่องเพลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (Flame-Atomic Absorption Spectrometer) เครื่องอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมา อะตอมมิคอีมิสชันสเปกโตรมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer, ICP-AES) และเครื่องอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมา แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, ICP-MS) เป็นต้น [1], [2] แต่การใช้เครื่องมือเหล่านี้มีข้อจำกัดเกี่ยวกับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง สารเคมีที่ใช้ ความชำนาญเฉพาะของผู้ปฏิบัติงานและราคาของเครื่องมือส่งผลให้มีงานวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาการวิเคราะห์โลหะด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet-Visible Spectroscopy) เนื่องจากเทคนิคนี้มีขั้นตอนการวิเคราะห์ไม่ซับซ้อน สะดวก และเครื่องมือราคาถูก [3], [4]

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีนั้นอาศัยหลักการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะและรีเอเจนต์ (Reagent) แล้วเกิดเป็นผลิตภัณฑ์หรือสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยรีเอเจนต์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีหลายชนิด ทั้งที่เป็นรีเอเจนต์จากธรรมชาติ (Natural reagent) และรีเอเจนต์สังเคราะห์ (Synthesis reagent) ซึ่งการใช้รีเอเจนต์สังเคราะห์นั้นอาจส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานและเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ทำให้มีการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ด้วยการใช้สารสกัดจากธรรมชาติเช่น เปลือกแก้วมังกร ใบฝรั่ง กะหล่ำปลีม่วง ดอกกล้วยไม้ และดอกเฟื่องฟ้า [5]-[10] สำหรับการวิเคราะห์สารสกัดจากธรรมชาติเป็นรีเอเจนต์นั้นเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ราคาถูกและปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานทดสอบ นอกจากนี้ยังเป็นเพิ่มมูลค่าให้กับ

พืชที่หาง่ายในท้องถิ่นและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยมีรายงานการวิจัยที่ใช้สารสกัดใบฝรั่งและสารสกัดกะหล่ำปลีม่วงสำหรับการตรวจวัดปริมาณเหล็ก [7], [8]

แทนนิน (Tannin) เป็นสารประกอบจำพวกฟีนอลที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ขนาดโมเลกุลของแทนนินมีขนาดใหญ่และเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยทั่วไปสารแทนนินพบได้ตามส่วนต่างๆ ของพืชเช่น รากไม้ เปลือกไม้ ดอกไม้ ผล ใบ และเมล็ด ซึ่งสารแทนนินพบมากในใบมันสำปะหลัง ใบบัวหลวง ใบฝรั่ง เปลือกมังคุด ใบชา และเปลือกเงาะ เป็นต้น สารแทนนินมีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะเจาะจงของฟีนอลสามารถตกตะกอนกับโปรตีนประเภทต่างๆ เช่น เจลลาตินและโปรตีนจากหนังสัตว์ นอกจากนี้สารละลายของแทนนินยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับโลหะหนักบางชนิดเช่น เหล็ก ตะกั่ว และสังกะสี เป็นต้น [11]

บัวหลวง (Lotus) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Nelumbo nucifera* Gaertn. เป็นพืชน้ำที่สามารถพบได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยมีพื้นที่การผลิตบัวสำหรับการตัดดอกในแถบจังหวัดนนทบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี อุบลราชธานี กรุงเทพฯและปริมณฑล การผลิตเพื่อเก็บเมล็ด ตัดดอกและเกสรตากแห้งได้แก่พื้นที่แถบอยุธยา อ่างทอง นครสวรรค์ ส่วนพื้นที่แถบจังหวัดปราจีนบุรีเน้นการปลูกเพื่อเก็บเกี่ยวไหลบัว ผลผลิตส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในประเทศ ที่เหลือจึงส่งออกไปต่างประเทศเช่น แลบบอเมริกา ญี่ปุ่น และ ยุโรป เป็นต้น ส่วนของบัวหลวงที่มีการนำมาใช้ประโยชน์เช่น ดอก เกสร เหง้า และใบ โดยมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic compound) ในสารสกัดจากส่วนของใบบัว ลำต้นและรากบัวซึ่งพบว่าปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดจากใบบัว ลำต้นและรากบัวเท่ากับ 165, 74 และ 30 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ

[12], [13] ซึ่งส่วนของใบบัวหลวงนั้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าส่วนอื่นๆ

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยสารสกัดใบบัวหลวงและเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี โดยวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ราคาถูก ขั้นตอนไม่ซับซ้อน และการใช้สารสกัดใบบัวหลวงเป็นรีเอเจนต์ในขั้นตอนการวิเคราะห์ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับบัวหลวงซึ่งเป็นพืชท้องถิ่นของไทยอีกด้วย

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 ขั้นตอนการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้เตรียมสารสกัดใบบัวหลวงด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายและศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับวิธีที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย ค่าพีเอชของสารละลาย ความเข้มข้นของสารสกัดใบบัวหลวง ความเข้มข้นของสารละลายเหล็กไอออน ( $Fe^{3+}$ ) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความเสถียรของสารสกัดใบบัวหลวง และศึกษาคุณลักษณะของวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น

#### 2.1.1 สารเคมี

โซเดียมอะซิเตต ( $CH_3COONa \cdot 3H_2O$ , Kemaus) น้ำปราศจากไอออน (DI water) กรดไฮโดรคลอริก (HCl, Ajax Finechem) กรดแทนนิก ( $C_{75}H_{52}O_{46}$ , Himedia) โฟลีน-ซีโอแคลทูรีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteus reagent, Loba Chemie) เฟอริกไนเตรท ( $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ , Kemaus) กรดอะซิติก ( $CH_3COOH$ , Merck)

#### 2.1.2 เครื่องมือ

เครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (V650, Jasco) เครื่องวัดสภาพความเป็นกรดเบส (SP-2300, Suntex) เครื่อง Vortex mixer (G560-E, Vortex Genie 2) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟรา

เรดสเปกโตรมิเตอร์ (Nicolet 6700, Thermo Fisher Scientific) เครื่องเฟลมอะตอมมิคแอฟซอพท์ ซินสเปกโตรมิเตอร์ (PinAAcle 900T, PerkinElmer) เครื่องกวนสาร (MS-500, INTLLAB) ตู้อบลมร้อน (Mettler) เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง (BP110S, Startorius) ไมโครปิเปต (Eppendorf Research)

#### 2.1.3 วัตถุดิบใบบัวหลวง

วัตถุดิบใบบัวหลวงที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นใบบัวหลวงแก่ สายพันธุ์สีชมพูจากตำบลบางตาเถร อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

#### 2.1.4 การเตรียมสารสกัดใบบัวหลวง

นำใบบัวหลวงสด 10 กิโลกรัม มาล้างด้วยน้ำให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วตากแดดให้แห้ง จากนั้นอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างใบบัวหลวงมาบดให้ละเอียด ร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน แล้วเก็บไว้ในขวดสีชาสำหรับสารสกัดใบบัวหลวงเตรียมด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย (สารละลายอะซิเตตบัพเฟอร์, สารละลายกรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่น) อัตราส่วนน้ำหนักใบบัวหลวงแห้งบดละเอียดต่อปริมาตรตัวทำละลายเท่ากับ 1 ต่อ 20 กรัมต่อมิลลิลิตร [7] บั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที เวลาในการสกัด 30 นาที เมื่อครบเวลา กรองแยกสารสกัดใบบัวหลวงด้วยกระดาษกรอง Whatman no.1 จากนั้นเก็บสารสกัดใบบัวหลวงที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิดไว้ในขวดสีชาและเก็บไว้ในตู้เย็น

## 2.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดใบบัวหลวงด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดใบบัวหลวงโดยการเทียบกับสารมาตรฐานกรดแทนนิก (Tannic acid) สถานะที่ใช้ในการทดลองเป็น

ATR Mode ทำการสแกนในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  ที่อุณหภูมิห้อง ความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 4 (ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสารสกัดใบบัวหลวงได้ทำการระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง Rotary Evaporator ให้ได้เป็นสารสกัดใบบัวหลวงเข้มข้น)

## 2.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก รวมในสารสกัดใบบัวหลวง

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลิกที่มีในสารสกัดใบบัวหลวงกับฟอลิน-ซิโอะแคลทรีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu's reagent) เกิดเป็นสารประกอบ สีน้ำเงิน แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตร (ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกรดแทนนิกที่ใช้ในทดลองเท่ากับ 1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร)

## 2.4 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับวิธี วิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

### 2.4.1 การศึกษาชนิดของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองได้แก่สารละลาย อะซิเตทบัฟเฟอร์, สารละลายกรดไฮโดรคลอริก และน้ำกลั่น โดยปีเปิดสารสกัดใบบัวหลวงในตัวทำละลายแต่ละชนิด (ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกรวม 16.8 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาตร 5 มิลลิตรใส่ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด จากนั้นปีเปิดสารละลายเหล็กไอออน ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ในตัวทำละลายแต่ละชนิด (ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาตร 5 มิลลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เขย่าหลอดทดลองให้สารผสมกัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำสารละลายผสมในตัวทำละลายแต่ละชนิด ไปสแกนสเปกตรัมการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 ถึง 900 นาโนเมตร

### 2.4.2 การศึกษาชนิดของโลหะ

นำสารละลายผสมระหว่างสารสกัดใบบัวหลวงกับสารละลายไอออนของโลหะแต่ละชนิด ได้แก่  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  และ  $\text{Pb}^{2+}$  ในตัวทำละลายที่เหมาะสม ความเข้มข้นของสารละลายไอออนโลหะเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรสารสกัดใบบัวหลวงที่มีความเข้มข้นของสารประกอบ ฟีนอลิกรวม 16.8 มิลลิกรัมต่อลิตร) ไปสแกนสเปกตรัมด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 ถึง 900 นาโนเมตร

### 2.4.3 การศึกษาค่าพีเอชของสารละลาย

ในการทดลองส่วนนี้ ตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม (ตามผลการทดลองข้อ 2.4.2) โดยมีการปรับค่า pH ของสารละลายเท่ากับ 3.6, 4.0, 4.4, 4.8, 5.2 และ 5.6 ตามลำดับ จากนั้นทำการเตรียมสารละลายผสมระหว่างสารสกัดใบบัวหลวงกับสารละลาย  $\text{Fe}^{3+}$  (ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่ละลายในตัวทำละลายที่มีค่า pH ต่างๆ ไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร (แต่ละชุดการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง)

### 2.4.4 การศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดใบบัวหลวง

ปีเปิดสารสกัดใบบัวหลวงที่มีความเข้มข้นของกรดแทนนิก 0.84, 1.68, 3.36, 4.2, 5.6, 8.4 และ 16.8 มิลลิกรัมต่อลิตร 5 มิลลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด จากนั้นปีเปิดสารละลาย  $\text{Fe}^{3+}$  ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5 มิลลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เขย่าหลอดทดลองให้สารผสมกัน (แต่ละชุดการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง) ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำสารละลายผสมที่ได้แต่ละหลอดไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตรด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

#### 2.4.5 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไอออนเหล็ก ( $Fe^{3+}$ )

ในส่วนนี้มีขั้นตอนการทดลองเหมือนข้อ 2.4.4 แต่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายไอออนเหล็ก ( $Fe^{3+}$ ) เท่ากับ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้สารสกัดใบบัวหลวงที่มีความเข้มข้นของกรดแทนนิกเท่ากับ 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นนำสารละลายผสมที่เตรียมได้ไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร

#### 2.4.6 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ขั้นตอนการทดลองในส่วนนี้เหมือนกับข้อ 2.4.5 โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายไอออนเหล็ก ( $Fe^{3+}$ ) 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้สารสกัดใบบัวหลวงที่มีความเข้มข้นกรดแทนนิก 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 นาที (แต่ละชุดการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง,  $n=3$ ) เมื่อครบเวลา นำสารละลายผสมไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร

#### 2.4.7 การศึกษาความเสถียรของสารสกัดใบบัวหลวง

ในการทดลองส่วนนี้ได้ทำการเตรียมสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายผสม(ความเข้มข้นของสารละลาย  $Fe^{3+}$  10 มิลลิกรัมต่อลิตรและสารสกัดใบบัวหลวงที่มีความเข้มข้นกรดแทนนิกเท่ากับ 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตร) แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ( $25^{\circ}C$ ) เป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบตามเวลา นำสารละลายที่เตรียมได้ไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร

#### 2.4.8 การศึกษาสารรบกวน (Interference)

ในการทดลองส่วนนี้ได้ศึกษาผลของสารรบกวนที่มีผลต่อวิธีที่พัฒนาขึ้นได้แก่ สารละลายไอออนบวกของโลหะชนิดต่างๆ ( $Na^+$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$  และ  $Pb^{2+}$ ) โดยเตรียมสารละลายไอออนโลหะแต่ละชนิดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อ

ลิตรในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 4.8 จากนั้นทำการผสมสารละลาย  $Fe^{3+}$  กับสารละลายไอออนบวกของโลหะแต่ละชนิดในอัตราส่วน 1:0 1:1 1:2 1:5 และ 1:10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร [7] แล้วนำสารละลายผสมที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กตามขั้นตอนของวิธีวิเคราะห์ที่ได้พัฒนาขึ้น

#### 2.4.9 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีที่พัฒนาขึ้น

วิธีที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity range) ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) โดยทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์จำนวน 10 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และคำนวณขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด ( $LOD = 3SD/slope$ ) และขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation,  $LOQ = 10SD/slope$ ) โดยสารละลายแบลงค์ที่ใช้คือสารสกัดใบบัวหลวงที่ละลายในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ ส่วนค่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ใช้วิธีการเติมสารละลายมาตรฐาน  $Fe^{3+}$  ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิลิตรลงในตัวอย่าง (Spike sample) โดยทดสอบที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ แต่ละความเข้มข้นทดสอบ 10 ตัวอย่าง(ทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 30 ตัวอย่าง) ความสำคัญความเที่ยง (Precision) ในการวิเคราะห์เป็นการศึกษาภายในวันเดียวกัน (Intra-day) และวิเคราะห์ระหว่างวัน (Inter-day) แล้วนำผลการวิเคราะห์มาคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

### 2.5 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างยาเม็ดเสริมเหล็กด้วยวิธีวิเคราะห์ที่ได้พัฒนาขึ้นและเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

ตัวอย่างยาเม็ดที่ใช้ในการทดลองเป็นยาเม็ดเสริมเหล็กที่มีขายในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ ( A B และ C)

โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างเม็ดขนาดนี้ บดยาเม็ด ตัวอย่างแต่ละยี่ห้ออย่างละ 10 เม็ด จากนั้นชั่งตัวอย่าง ยาที่บดละเอียด 0.25 กรัม ละลายในน้ำปราศจาก ไอออน 90 มิลลิลิตรแล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc.HCl) 4 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำ ควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่ 100 องศาเซลเซียส 30 นาที เมื่อครบเวลา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman no.1 แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร [8] หลังจากนั้นปีเตอร์สารละลายที่เตรียมได้ 20 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.5 มิลลิลิตร เพื่อทำให้เกิดการออกซิเดชันที่สมบูรณ์ (Complete oxidation) จาก  $Fe^{2+}$  ไปเป็น  $Fe^{3+}$  จากนั้นปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วนำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้ไป วิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นและเครื่องเพ ลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (Detection wavelength 248.3 nm)

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 3.1 ผลการเตรียมสารสกัดใบบัวหลวง

ลักษณะใบบัวหลวงที่อบด้วยตู้อบลมร้อนแสดง ดังรูปที่ 1ก) ส่วนใบบัวหลวงแห้งที่ผ่านการบดมี ลักษณะเป็นผงละเอียดสีเขียวดังรูปที่ 1ข) จากผลการ ทดลองน้ำหนักใบบัวหลวงแห้งบดละเอียดที่เตรียมได้ เท่ากับ 1.8 กิโลกรัม สำหรับสารสกัดใบบัวหลวงที่สกัด ได้มีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลอ่อนดังรูปที่ 1ค)

#### 3.2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของ สารสกัดใบบัวหลวงด้วยเครื่องฟูเรียร์ทราน ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

เมื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดใบ บัวหลวงโดยการเทียบกับสารมาตรฐานกรดแทนนิก

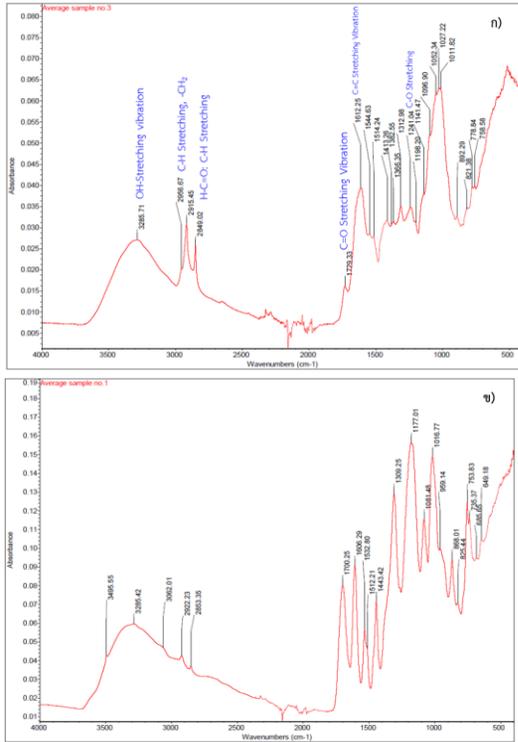
ลักษณะสเปกตรัม (FT-IR Spectrum) ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2ก) และ 2ข) จากการพิจารณาลักษณะสเปกตรัมของ สารสกัดใบบัวหลวงพบที่มีความสอดคล้องกับสเปกตรัม ของสารมาตรฐานกรดแทนนิก โดยสารสกัดใบบัวหลวง มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่สำคัญได้แก่หมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ซึ่งแสดงลักษณะของแถบสเปกตรัมที่กว้างและชัดเจนที่ เลขคลื่น (Wave number) ประมาณ  $3,285.71\text{ cm}^{-1}$  ส่วนพีคที่เลขคลื่น  $2,915.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการแสดงถึงหมู่ ฟังก์ชัน -CH Stretching และ -CH<sub>2</sub> Vibration ของ อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) นอกจากนี้ยังพบหมู่ฟังก์ชัน C=O และ C=C ที่เลขคลื่น ประมาณ  $1,600\text{-}1,730\text{ cm}^{-1}$  โดยผลการวิเคราะห์หมู่ ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดใบบัวหลวงที่ได้จากงานวิจัย นี้มีความสอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับ โครงสร้างทางเคมีของกระเทียมขาวและบัวด้วยเทคนิค ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี [14]



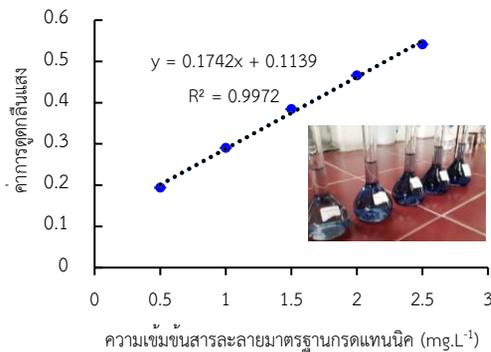
รูปที่ 1 ก) ใบบัวหลวงที่ผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อน ข) ใบบัวหลวงบดละเอียด ค) สารสกัดใบบัวหลวง

#### 3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล ิกรวมในสารสกัดใบบัวหลวง

เมื่อนำสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิกและสาร สกัดใบบัวหลวงมาทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteus reagent จะได้สารละลายสีน้ำเงินดังรูปที่ 3 จากผลการ วิเคราะห์พบว่าสารสกัดใบบัวหลวงที่เตรียมได้จาก งานวิจัยนี้มีปริมาณกรดแทนนิกเท่ากับ  $16.8 \pm 0.12$  มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 2 ก) FT-IR Spectrum ของสารสกัดใบบัวหลวง  
ข) FT-IR Spectrum ของสารมาตรฐานกรดแทนนิก



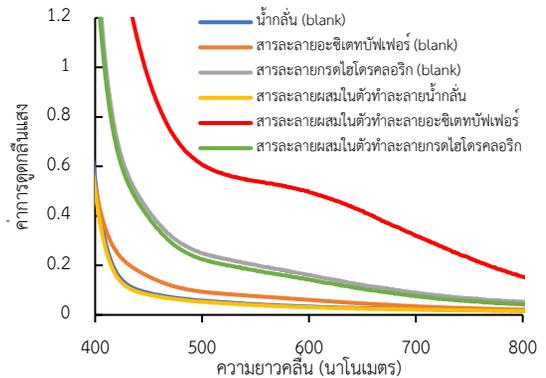
รูปที่ 3 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแทนนิก

### 3.4 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับวิธีวิเคราะห์ที่ได้พัฒนาขึ้น

#### 3.4.1 ผลการศึกษาชนิดของตัวทำละลาย

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมในตัวทำละลายทั้งสามชนิด ดังรูปที่ 4 พบว่าในตัวทำละลายที่เป็นสารละลายอะซิ

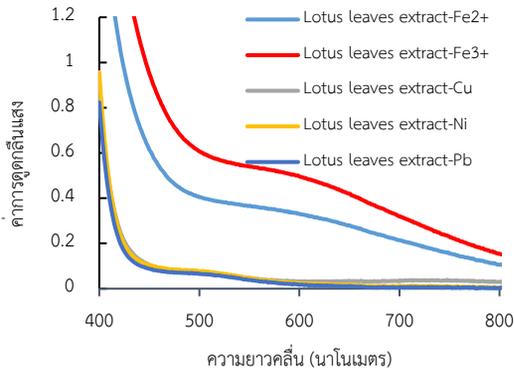
เตทบัฟเฟอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมอย่างชัดเจน โดยเกิดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดประมาณ 570 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างกรดแทนนิกที่มีอยู่ในสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายเหล็กไอออน ( $Fe^{3+}$ ) ส่วนลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมในตัวทำละลายชนิดอื่น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสเปกตรัม โดยรายงานการวิจัยที่ใช้สารสกัดจากใบฝรั่งสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กได้รายงานถึงสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ว่าไม่มีผลรบกวนต่อการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแทนนินในสารสกัดใบฝรั่งและ  $Fe^{3+}$  สามารถเกิดขึ้นได้ดีในสถานะที่มีค่า pH ในช่วงกรด [7] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับวิธีที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมในตัวทำละลายแต่ละชนิด

#### 3.4.2 ผลการศึกษาชนิดของโลหะ

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่างสารสกัดใบบัวหลวงกับสารละลายไอออนโลหะ ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ) พบว่าลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม  $Fe^{3+}$  มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนมากที่สุดดังรูปที่ 5



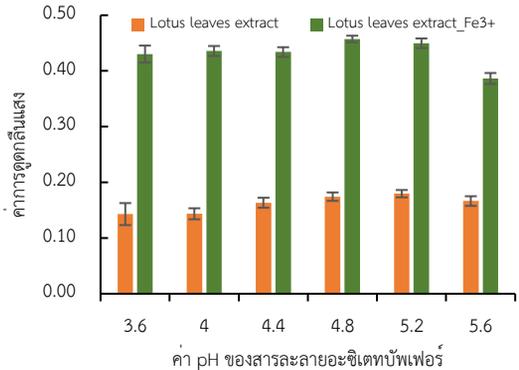
รูปที่ 5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่างสารสกัดใบบัวหลวงกับสารละลายไอออนโลหะ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมแต่ละชนิดพบว่า สารละลายผสมของ Fe<sup>3+</sup> มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเส้นสเปกตรัมที่ชัดเจนมากกว่าสารละลายผสมของ Fe<sup>2+</sup> ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับรายงานที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารสกัดจากใบฝรั่งสำหรับการตรวจวัดปริมาณเหล็ก [7] โดยเกิดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตรเป็นการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจากกรดแทนนิกที่มีอยู่ในสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายไอออน Fe<sup>3+</sup> ส่วนลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมของโลหะไอออนชนิดอื่นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับรายงานที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารสกัดจากใบฝรั่งสำหรับการตรวจวัดปริมาณเหล็ก [7] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับกรดแทนนิกด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีแล้วอธิบายถึงการเกิดพันธะที่เชื่อมต่อระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของกรดแทนนิกและ Fe<sup>3+</sup> [15]

3.4.3 ผลการศึกษาค่าพีเอชของสารละลาย

เมื่อพิจารณาผลการทดลองดังรูปที่ 6 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมเมื่อใช้ตัวทำละลายเป็นสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH 4.8 จะทำ

ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH เท่ากับ 4.8 เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างกรดแทนนิกในสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายเหล็กไอออน (Fe<sup>3+</sup>)



รูปที่ 6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมเมื่อใช้ตัวทำละลายที่มีค่า pH 3.6, 4.0, 4.4, 4.8, 5.2 และ 5.6

3.4.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นสารสกัดใบบัวหลวง

จากการพิจารณาผลการทดลองดังตารางที่ 1 พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารสกัดใบบัวหลวงที่แตกต่างกันจะได้ค่าความชันของกราฟเส้นตรง (Slope) และค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น (R<sup>2</sup>) ที่แตกต่างกัน โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดแทนนิกในสารสกัดใบบัวหลวงเท่ากับ 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตรจะได้ค่าความชันของกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุดและให้ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นที่มากที่สุด (y=0.034x+0.0341, R<sup>2</sup>=0.9901) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของกรดแทนนิกในสารสกัดใบบัวหลวงเท่ากับ 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับวิธีที่พัฒนาขึ้น

3.4.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย Fe<sup>3+</sup>

จากการทดลองพบว่าสีของสารละลายผสมที่เกิดจากสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลาย Fe<sup>3+</sup> ที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีน้ำตาลที่เข้มข้นตามความเข้มข้นของสารละลาย Fe<sup>3+</sup> ที่เพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 7 และเมื่อนำผล

การวัดค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลาย  $Fe^{3+}$  ไปพล็อตกราฟโดยให้แกนในแนวนอนเป็นความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  ส่วนแกนในแนวแกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสงจะได้ลักษณะกราฟเส้นตรง ดังรูปที่ 7 มีสมการความเป็นเส้นตรง  $y = 0.0326x + 0.289$  ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นเท่ากับ 0.9956 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่างสารสกัดใบบัวหลวงกับ  $Fe^{2+}$  และ  $Fe^{3+}$  (ดังรูปที่ 8) พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม  $Fe^{3+}$  มีค่าการดูดกลืนแสงที่มากกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสเปกตรัมที่ชัดเจนซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงความสามารถในการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารสกัดใบบัวหลวงกับ  $Fe^{3+}$  ที่ดีกว่า  $Fe^{2+}$  นั่นเอง โดยผลการทดลองในส่วนนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่พัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กโดยใช้รีเอเจนต์สารสกัดใบฝรั่ง [7]

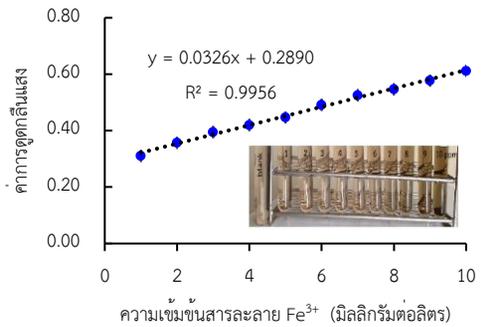
ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของสารสกัดใบบัวหลวง สมการความเป็นเส้นตรง และค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น

| ความเข้มข้นของกรดแทนนิกในสารสกัดใบบัวหลวง (mg L <sup>-1</sup> ) | สมการความเป็นเส้นตรง   | ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น (R <sup>2</sup> ) |
|---|------------------------|---|
| 16.80   | $y = 0.059x + 0.1408$  | 0.9594                                  |
| 8.40  | $y = 0.0173x - 0.2307$ | 0.9658                                  |
| 5.60  | $y = 0.034x + 0.0341$  | 0.9901                                  |
| 4.20  | $y = 0.035x + 0.0212$  | 0.9858                                  |
| 3.36  | $y = 0.033x + 0.0156$  | 0.9534                                  |
| 1.68  | $y = 0.044x + 0.0022$  | 0.9841                                  |
| 0.84  | $y = 0.045x - 0.0001$  | 0.9891                                  |

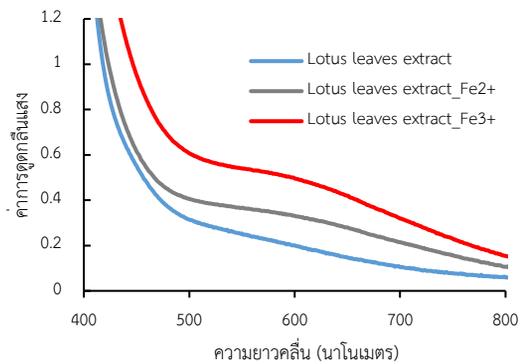
### 3.4.6 ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาผลการทดลองดังรูปที่ 9 พบว่าเวลาที่ใช้ในเกิดปฏิกิริยาในช่วง 10 นาทีแรก การทำปฏิกิริยาระหว่างสารสกัดใบบัวหลวงกับสารละลาย  $Fe^{3+}$  จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีการเพิ่มขึ้นของค่าการ

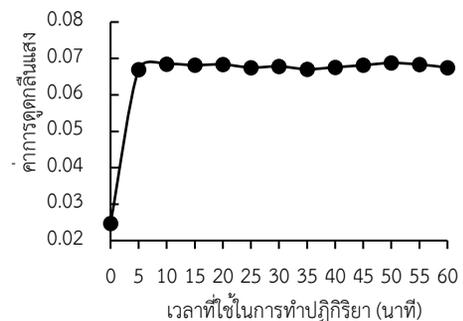
ดูดกลืนแสงอย่างชัดเจน และเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 10 นาทีจะเห็นว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 10 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับวิธีที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมและความเข้มข้นสารละลาย  $Fe^{3+}$



รูปที่ 8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายผสม (ความเข้มข้นของสารละลาย  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร)

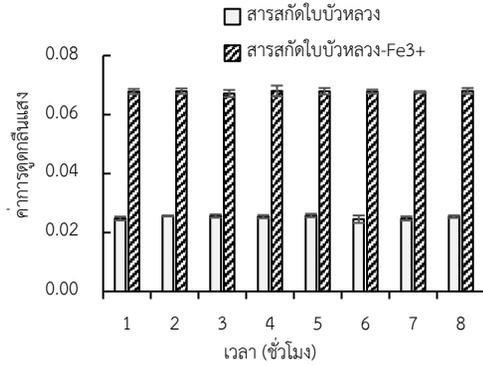


รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

### 3.4.6 ผลการศึกษาความเสถียรของสารสกัดใบบัว

#### หลวงและสารละลายผสม

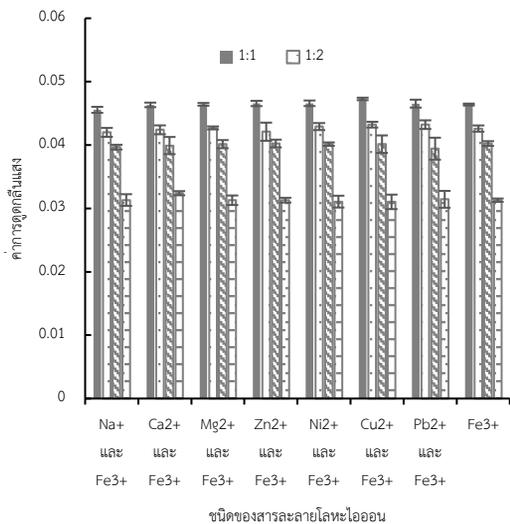
เมื่อพิจารณาผลทดลองดังรูปที่ 10 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายผสมเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมงนั้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกันซึ่งเป็นการแสดงถึงความเสถียรของสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายผสมที่มีความเสถียรอย่างน้อย 8 ชั่วโมง



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายผสม

### 3.4.7 ผลการศึกษาสารรบกวน (Interference)

จากการพิจารณาผลทดลองดังรูปที่ 11 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสมระหว่างสารละลายไอออน Fe<sup>3+</sup> กับสารละลายไอออนของโลหะชนิดต่างๆ (อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:5 และ 1:10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร) มีค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม Fe<sup>3+</sup> ที่ไม่มีสารรบกวน ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าสารละลายไอออนบวกของ Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> และ Pb<sup>2+</sup> ไม่มีผลรบกวนต่อการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (Fe<sup>3+</sup>) ด้วยวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น



รูปที่ 11 ผลการศึกษาสารรบกวนที่มีต่อวิธีที่พัฒนาขึ้น (สารละลายไอออนบวกของโลหะชนิดต่างๆ)

### 3.4.8 ผลการศึกษาความใช้ได้ของวิธี

สำหรับช่วงความเป็นเส้นตรงของวิธีที่พัฒนาขึ้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีช่วงความเข้มข้น 1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร สมการความเป็นเส้นตรง  $y = 0.0326x + 0.2890$  ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9956 ค่าความชัน (Slope) เท่ากับ 0.0326 วิธีที่พัฒนาขึ้น มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ 1.53 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่าความเที่ยงในการวิเคราะห์ของวิธีที่พัฒนาขึ้นภายในวันเดียวกันและต่างวันกันมีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 0.14 และ 1.28 ตามลำดับ ร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 87-104

ตารางที่ 2 งานวิจัยที่ใช้สารสกัดจากธรรมชาติสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

| สารสกัดจากธรรมชาติ | ความยาวคลื่น (nm) | Limit of Detection (mg L <sup>-1</sup> ) | เอกสารอ้างอิง |
|--------------------|-------------------|--|---------------|
| มะเข่าตง           | 520               | 1.00                                     | [16]          |
| กะหล่ำม่วง         | 540-560           | 0.11                                     | [17]          |
| กระเจี๊ยบ          | 464               | 27.92                                    | [18]          |

| สารสกัด<br>จาก<br>ธรรมชาติ | ความยาว<br>คลื่น<br>(nm) | Limit of<br>Detection<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | เอกสาร<br>อ้างอิง |
|----------------------------|--------------------------|--|-------------------|
| ใบฝรั่ง                    | 560                      | 0.05   | [7]               |
| ใบบัวหลวง                  | 570                      | 0.51   | งานวิจัยนี้       |

### 3.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างยาเม็ดเสริมเหล็กด้วยวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นและเทคนิคเฟลมอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างเม็ดยาเสริมธาตุเหล็กที่ได้จากทั้งสองวิธี ดังตารางที่ 3 ด้วยสถิติทดสอบแบบที (Paired t-test) พบว่าผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กที่ได้จากทั้งสองวิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ (t stat = 2.96, t critical = 4.3) โดยวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างเม็ดยาเสริมธาตุเหล็กได้ซึ่งวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ใช้สารสกัดใบบัวหลวงเป็นรีเอเจนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังใช้เครื่องมือที่มีอยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการและมีราคาถูก

ตารางที่ 3 ปริมาณเหล็กในตัวอย่างเม็ดยาเสริมเหล็กด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นและเทคนิค Flame-AAS

| ยา | ความเข้มข้นของ Fe <sup>3+</sup> (ppm) |                  |
|----|---------------------------------------|------------------|
|    | Flame-AAS                             | วิธีที่พัฒนาขึ้น |
| A  | 5.1266 ± 0.0521                       | 5.2098 ± 0.0287  |
| B  | 5.2029 ± 0.0769                       | 5.3130 ± 0.0682  |
| C  | 5.5525 ± 0.0347                       | 5.6156 ± 0.0101  |

### 4. สรุป

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยสารสกัดใบบัวหลวงและเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีที่ได้จากงานวิจัยนี้

ได้แก่ การใช้สารสกัดใบบัวหลวงที่มีกรดแทนนิกเข้มข้น 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที โดยสารสกัดใบบัวหลวงและสารละลายผสมมีความเสถียรอย่างน้อย 8 ชั่วโมง วิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมีช่วงความเป็นเส้นตรงคือ  $y = 0.0326x + 0.2890$  ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นเท่ากับ 0.9956 ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ 1.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเที่ยงในการวิเคราะห์ภายในวันเดียวกันและต่างวันกันมีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.14 และ 1.28 ตามลำดับ ร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 87-104 วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างเม็ดยาเสริมเหล็กได้โดยวิธีที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ทั่วไปในห้องปฏิบัติการและมีราคาถูก นอกจากนี้การใช้สารสกัดใบบัวหลวงเป็นรีเอเจนต์ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับใบบัวหลวงซึ่งเป็นพืชท้องถิ่นของไทยอีกด้วย

### 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีงบประมาณ 2565 และได้รับการสนับสนุนด้านห้องปฏิบัติการจากสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. O. Fakayode, A. G. King, M. Yakubu, A. K. Moammed, and D. Pollard, "Determination of Fe content of some food items by Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS): A guided-inquiry learning experience in

- instrumental analysis laboratory,” *Journal of Chemical Education*, vol. 89, no.1, pp. 109-113, Nov. 2011.
- [2] N. J. M. Ihli, “Trace element determinations in foods and biological samples using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and flame atomic absorption spectrometry,” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 44, no. 9, pp. 2675–2679, Sep. 1996.
- [3] Z. Yao, Y. Yang, X. Chen, X. Hu, L. Zhang, L. Liu, Y. Zhao, and H. C Wu, “Visual detection of copper (II) ions based on an anionic polythiophene derivative using clicks chemistry,” *Analytical Chemistry*, vol. 85, no. 12, pp. 5650-5653, Jun. 2013.
- [4] B. K. Adebayo, S. Ayejuyo, H. K. Okoro and B. J. Ximba, “Spectrophotometric determination of iron (III) in tap water using 8-hydroxyquinoline as a chromogenic reagent,” *African Journal of Biotechnology*, vol. 10, no. 71, pp. 16051-16057, 2011.
- [5] M. Khairy, M. Ismael, R. E. Khatib, M. Abdelnaeem, and M. Khalaf, “Natural betanin dye extracted from bougainvillea flowers for the naked-eye detection of copper ions in water samples,” *Analytical Methods*, vol. 8, no. 8, pp. 4977-4982, Jun. 2016.
- [6] W. Khodee, R. Wongkitti, and S. Madang, “Naked-eye detection of lead ion in water sample using reagent extracted from white dragon fruit peel,” *KKU Science Journal*, vol. 45, no. 4, pp. 886-895, Oct.-Dec. 2017.
- [7] T. Settheeworarit, S. K. Hartwell, S. Lapanatnoppakhun, J. Jakmune, G. D. Christian, and K. Grudpan, “Exploiting guava leaf extract as an alternative natural reagent for flow injection determination of iron,” *Talanta*, vol. 68, no. 2, pp. 262-267, Dec. 2005.
- [8] K. Saowongjan and S. Muncharoen, “Development of quantitative analysis technique for Fe(III) using natural anthocyanin extract detected by smartphone,” *Science and Technology Journal*, vol. 28, no. 8, pp. 1372-1388, Aug. 2020.
- [9] S. Killedar, A. Pawar, S. Nadaf, A. Nale, U. Tamboi, and S. Pishawikar, “Novel analytical method development for some amide group containing drugs using Bougainvillea spectabilis bract extracts,” *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, vol. 7, Supplement1, pp. S560-S567, Sep. 2014.
- [10] T. Sukaram, P. Sirsakwisut, and S. Chaneam, “Use of natural pigment from orchid as a reagent for quantitative analysis of ammonia in chemical fertilizers,” *Burapha Science Journal*, vol. 2017 (special), pp. 366-376, Aug. 2017.
- [11] Z. Tong, W. He, X. Fan, and A. Guo, “Biological Function of Plant Tannin and Its Application in Animal Health,” *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 8, pp. 1-7, Jan 2022.
- [12] J. Choe, A. Jang, J. H. Choi, and Y. S. Choi, “Antioxidant activities of lotus leaves (*Nelumbo nucifera*) and barley leaves

- (*Hordeum vulgare*) extracts,” *Food Science and Biotechnology*, vol. 19, no. 3, pp. 831–836, Jun. 2010.
- [13] H. Y. Choi, K. Jung, and H. S. Shin, “Antioxidant Activity of the Various Extracts from Different Parts of Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertner). *Food Science and Biotechnology*,” vol. 18, no. 4, pp. 1051–1054, Aug. 2009.
- [14] A. O. Jesse, “Fourier Transform Infrared Spectroscopy Analysis of *Allium sativum* L. and *Nymphaea lotus* L.,” *Asian Journal of Applied Chemistry research*. vol. 6, no. 2, pp. 7-24, Jul. 2020.
- [15] Z. Fu and R. Chen, “Study of complexes of Tannic acid with Fe(III) and Fe(II),” *Journal of Analytical method in Chemistry*, vol. 2019, no. 1, pp. 1-6, Feb. 2019.
- [16] J. M. Barcelo, J. N. Abril, K. M. P. Castillo, A. Diaz, J. P. Ladera, J. Javar, and E. Labuguen, “Detection of copper (II) and iron (III) in aqueous solutions using the spectroscopic characteristics of bugnay (*Antidesma bunius*) anthocyanins,” *Annals of Tropical Research*, vol. 36, no. 1, pp. 102-118, 2014.
- [17] W. Khaodee, W. Aeungmaitrepirom, and T. Tuntulani, “Effectively simultaneous naked-eye detection of Cu(II), Pb(II), Al(III) and Fe(III) using cyanidin extracted from red cabbage as chelating agent,” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 126, no. 21, pp. 98-104, May. 2014.
- [18] R. Wattanayon, S. Satapor, B. Yama, S. Samanman, and P. Vangsirigul, “Determination of iron ion using anthocyanin from roselle,” *Princess of Naradhiwas University Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 97-103, May.-Aug. 2017.

# ผลของ pH เวลา และอุณหภูมิต่อปริมาณกรดแอมมาอะมิโนบิวทีริก (สารกาบ้า) ของข้าวหลากสายพันธุ์ในพื้นที่ปลูกจังหวัดนครสวรรค์

ณัฐพงษ์ เพชรอำไพ\* และ ศิริกาญจนา ศิริรินทร์

ศูนย์ห้องปฏิบัติการ หน่วยวิจัย เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตนครสวรรค์  
402/1 หมู่ 5 ตำบลเขาทอง อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์ 60130

รับบทความ 25 มกราคม 2567 แก้ไขบทความ 23 กันยายน 2567 ตอรับบทความ 15 ตุลาคม 2567

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ และการงอกต่อปริมาณกรดแอมมาอะมิโนบิวทีริกของข้าวที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์จำนวน 26 สายพันธุ์ โดยใช้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์อ้างอิงสถานะที่เหมาะสมในสารละลายบัฟเฟอร์ (pH4, pH5, pH6, pH7) และน้ำ อุณหภูมิ (35, 40 และ 45 องศาเซลเซียส) และเวลาในการแช่ (3, 8 และ 12 ชั่วโมง) และเวลาในการงอก (24, 36 และ 48 ชั่วโมง) ที่แตกต่างกัน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนแห้งเพื่อหยุดการงอกของข้าว พบว่าสถานะแช่ข้าว ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ส่งผลให้ข้าวมีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดในเมล็ดข้าวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่สถานะข้าวงอกมีปริมาณกาบ้าสูงสุดคือ ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากนั้นทำการทดสอบในข้าวทั้ง 26 สายพันธุ์ ภายใต้สภาวะดังกล่าว พบว่า ข้าวที่มีกาบ้าสูงสุด ได้แก่ ข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 มีปริมาณกาบ้าในช่วงแช่ข้าว และช่วงข้าวงอกเท่ากับ  $12.79 \pm 0.12$  และ  $20.47 \pm 0.35$  ppm ตามลำดับ ข้าวพันธุ์เจ้าขาวแจ่มมีปริมาณกาบ้าในช่วงแช่ข้าวต่ำสุด ( $10.17 \pm 0.15$  ppm) และข้าวพันธุ์ กข47 มีปริมาณกาบ้าในช่วงข้าวงอกต่ำสุด ( $11.58 \pm 0.15$  ppm) ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมที่ข้าวมีปริมาณสาร กาบ้าสูงสุด เมื่อข้าวงอกในสารละลายบัฟเฟอร์ pH5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

คำสำคัญ : ข้าว; กาบ้า; การแช่; การงอก

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 8829 2494, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: natth1977@gmail.com

# Effect of pH, Time and Temperature Affecting Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) Content of Various Rice Varieties in Plantation Areas, Nakhon Sawan Province

Natthapong Pechampai\* and Sirikanjana Sirinon

Laboratory Center, Research Unit, Instruments and Technology, Mahidol University, Nakhonsawan 402/1 Moo 5, Khao Thong Subdistrict, Phayuha Khiri District, Nakhon Sawan Province, 60130

---

*Received 25 January 2024; Revised 23 September 2024; Accepted 15 October 2024*

## Abstract

The objective of this research was to study the effect of pH, temperature, soaking time, and germination on the gamma-aminobutyric acid (GABA) content of 26 varieties of rice grown in Nakhon Sawan Province. The rice seeds of the Pathum Thani1 variety were soaked in various buffer solutions (pH4, pH5, pH6, pH7) and water at different temperatures (35, 40, and 45 °C) and for varying soaking times (3, 8, and 12 hours) and different germination times (24, 36, and 48 hours). Afterward, the rice was dried at a temperature of 50 °C until dry to stop the germination of rice. The results indicated that soaking the rice in a pH 5 buffer solution at 40°C for 8 hours led to the highest GABA content in rice grains and was significantly different ( $p < 0.05$ ). Additionally, the germinated rice condition with the highest GABA content was in the pH5 buffer solution at a temperature of 40°C for 36 hours and was also significantly different ( $p < 0.05$ ). Following this, all 26 rice varieties were tested using the Pathum Thani1 rice variety as a reference. Under these conditions, it was found that KDML105 had the highest GABA content during both the rice soaking period ( $12.79 \pm 0.12$  ppm) and rice germination ( $20.47 \pm 0.35$  ppm). In contrast, Jao Khao Jek rice had the lowest GABA content during rice soaking ( $10.17 \pm 0.15$  ppm), and rice variety RD47 had the lowest GABA content during rice germination ( $11.58 \pm 0.15$  ppm). In conclusion, the optimal conditions for rice to have the highest GABA content during germination were found to be in a pH 5 buffer solution at a temperature of 40°C for 36 hours and the difference was statistically significant at the 0.05 level.

**Keywords:** Rice; GABA; Soaking; Germination

## 1. บทนำ

ข้าวที่นิยมปลูกเพื่อบริโภคมี 2 ชนิด คือ ข้าวปลูกเอเชีย (*Oryza sativa* L.) และข้าวปลูกแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud) ในประเทศไทยนั้นข้าวมีความหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งแต่ละสายพันธุ์ มีลักษณะที่แตกต่างกัน คนไทยนิยมบริโภคข้าวอยู่ 2 ชนิดคือ ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว ขึ้นอยู่กับวัฒนธรรมในแต่ละภูมิภาคพื้นถิ่นดั้งเดิมมา ทั้งข้าวเจ้า และข้าวเหนียวก็จำแนกได้หลายประเภทหลากหลายสายพันธุ์ ที่มีการปรับปรุงพันธุ์มาแต่ ดั้งเดิมจนถึงปัจจุบัน คนไทยในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างภาคกลางตอนบนก็นิยมบริโภครับประทานข้าวเป็นอาหารหลักเช่นกันด้วย ซึ่งในประเทศไทยร้อยละ 80 ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมด (107.24 ล้านไร่) เป็นพื้นที่นาปลูกข้าวถึง 71.88 ล้านไร่ ในจังหวัดนครสวรรค์มีพื้นที่ 130 ตำบล 15 อำเภอ มีเกษตรกรทำนาประมาณ 117,148 ราย มีพื้นที่ ทำนา 2.98 ล้านไร่ จำแนกเป็นข้าวนาปี และนาปรัง เท่ากับ 2.56 และ 0.42 ล้านไร่ ตามลำดับ [1] มีความต้องการใช้เมล็ดข้าวพันธุ์ดี ประมาณ 56,000 ตันต่อปี [2] ชาวนาในเขตพื้นที่ ภาคเหนือตอนล่าง และภาคกลางตอนบน มีการพัฒนาศักยภาพในการรวมกลุ่มกันเพื่อพัฒนาการปลูกข้าวโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เข้ามาประยุกต์เพื่อให้ได้สารโภชนเภสัชที่สำคัญในการบริโภค สารสำคัญที่มีอยู่ในข้าวได้แก่ สารกาบ้า (Gamma-aminobutyric acid; GABA) โดยในพืชถูกพบครั้งแรกในเนื้อเยื่อของมันฝรั่ง และต่อมาก็มีการค้นพบสารชนิดนี้ในพืชผักชนิดต่าง ๆ เช่น ผักโขม มะเขือเทศ ผักเคล บล๊อคโคลี่ มันหวาน เห็ดชิตาเกะ เกาลัด ชาชาวกะหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง และยังพบสารนี้ในผลไม้ เช่น องุ่น แอปเปิ้ล และพบในเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวกล้องงอก ถั่วเหลือง และพบในเมล็ดธัญพืชที่เพาะงอกซึ่งจะให้สารกาบ้าสูง [3]

สารกาบ้าเป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็น (Non-essential Amino Acid) ชนิดหนึ่ง ที่ผลิตจาก

กระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ของกรดกลูตามิก (Glutamic acid) โดยวิตามินไพริดอกซอล (Vitamin Pyridoxal) พบมากในสมองและตาของมนุษย์ ที่มีบทบาทสำคัญเป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) ประเภทยับยั้ง (Inhibitor) ในระบบประสาทส่วนกลางของมนุษย์ ทำหน้าที่ในการรักษาสมดุลของสมองช่วยให้สมองเกิดการผ่อนคลาย ซึ่งเกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติที่เปลี่ยนสารกลูตาเมต (Glutamate) ในสมองเป็นสารกาบ้า [4] อย่างไรก็ตามสารกาบ่านั้นเป็นที่รู้จักกันมานานแล้วในหลายประเทศสามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติของอาหารหลายประเภทที่มีปริมาณแตกต่างกันไป และด้วยความเป็นธรรมชาตินี้เองจึงมีปริมาณไม่คงที่ และไม่เพียงพอต่อความต้องการที่จะทำให้เกิดผลตามที่ผู้บริโภคคาดหวัง ดังนั้นจึงมีการเติมสารกาบ้าลงในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ผู้บริโภคได้รับในปริมาณที่เพียงพออย่างแท้จริง [5] สารกาบ้า มีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่ช่วยลดความตึงเครียด ลดอาการวิตกกังวล ลดอาการซึมเศร้า ลดอาการแปรปรวนของอารมณ์ช่วงประจำเดือน ทำให้นอนหลับได้ดีขึ้น ป้องกันโรคที่เกี่ยวข้องกับสารสื่อประสาท เช่น อัลไซเมอร์ หรือพาร์กินสัน ชะลอความเสื่อมของเซลล์ ป้องกันการเกิดมะเร็ง ควบคุมการเคลื่อนไหวช่วยให้ผ่อนคลาย (Relaxation) รักษาสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้นทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายจากกระบวนการทางธรรมชาติที่เปลี่ยนสารกลูตาเมต [6] ในสมองเป็นสารกาบ้า จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นสารธรรมชาติในสมองที่ช่วยให้สงบ (Brain's Natural Calming Agent) ช่วยในการรักษาโรคลมบ้าหมู และความดันโลหิตสูง ถ้ามีสารกาบ้าต่ำจะทำให้เกิดอาการชักได้ ในผู้ที่มีพฤติกรรมคลุ้มคลั่ง (Manic Behavior) ลูกลี้ลูกรน (Acute Agitation) สารกาบ้าจะทำให้ผู้ป่วยสงบจึงมีฤทธิ์คล้ายยาแก้ลมประสาทแต่ไม่ทำให้ติดยา [7] ซึ่งปริมาณสารกาบ้าในข้าวแต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์ก็มี

ปริมาณที่ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่นชนิดพันธุ์ข้าว สภาวะแวดล้อมของการปลูก กระบวนการในขั้นตอนการแช่และการงอกของเมล็ดข้าวเป็นต้น [8] โดยผลจากการศึกษาปริมาณสารกาบ้าในข้าวเพาะงอกที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของข้าว 5 สายพันธุ์คือ มะลิ105, พิษณุโลก2, สุพรรณบุรี1, ชัยนาท1 และปทุมธานี1 พบว่าในเมล็ดข้าวจะมีปริมาณสารกาบ้าสูงขึ้นในระหว่างการงอก และสูงที่สุดในการงอกเป็นเวลา 20 วัน หลังจากนั้นปริมาณกาบ้าจะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวมีระยะเวลาที่ให้ปริมาณสารกาบ้าสูงที่เหมาะสมต่อการบริโภค [9] และมีการศึกษาปริมาณสารกาบ้าในข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 พบว่าข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำจะมีปริมาณของสารกาบ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาปริมาณสารกาบ้าในข้าวกล้องงอกพบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณสารกาบ้าของข้าวเพิ่มขึ้นและสูงที่สุดที่การบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปริมาณสารกาบ้าจะลดลงที่ระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น [10] ซึ่งจากการศึกษาผลการวิจัยในข้าวจึงพบว่า อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าวและการงอกมีผลต่อ ปริมาณสารกาบ้า [11] และ pH ของสารละลายที่ใช้ในการแช่และการงอกก็มีผลต่อปริมาณสารกาบ้า [12] โดยในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ ต่อปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทีริกของข้าวหลากสายพันธุ์ในพื้นที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยศึกษาปริมาณสารกาบ้าในสภาวะที่เหมาะสม ช่วง pH อุณหภูมิ ระยะเวลา (การแช่และการงอก) แล้วทำการเปรียบเทียบปริมาณสารกาบ้า โดยทำการศึกษาค้นคว้าสำรวจข้อมูลพันธุ์ข้าวในพื้นที่ 130 ตำบล 15 อำเภอ ในจังหวัดนครสวรรค์ ทำการเก็บตัวอย่างพันธุ์

ข้าวที่ใช้ปลูกจากเกษตรกรชาวนา ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่และการงอกของข้าว ที่มีผลต่อปริมาณสารกาบ้าของข้าวหลากสายพันธุ์ในพื้นที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์

### 2.1 การเตรียมวัตถุดิบข้าวกล้องงอก

การเก็บตัวอย่างพันธุ์ข้าว ขณะเก็บเกี่ยวความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 500 กรัม จำนวน 26 ตัวอย่าง 26 สายพันธุ์ (ตารางที่ 1) จากนั้นนำไปกะเทาะเปลือกออกเพื่อนำเมล็ดข้าวไปเตรียมเป็นสารละลายตัวอย่างข้าว

#### ตารางที่ 1 พันธุ์ข้าวที่ปลูกในจังหวัดนครสวรรค์

| Rice sample group                | Rice varieties   |
|----------------------------------|--|
| Photoperiod sensitivity Rice     | Black glutinous, Daeng Noi, Khao Kamnan, Ha Ruang, Hawm Bai Tuey62, Chor Ratri, Hom Khaojek, KDML105, Khao Dawk Mali, Khao Tha Phra, Niaw dang, Niaw Wan, Nok Na, Phra Vet, San pah tawng, Sinlek, |
| Non-photoperiod sensitivity Rice | Hom Nin, Pathum Thani1, Phitsanulok2, RD31, RD41, RD47, RD49, Red Jasmine, Riceberry, Suphan Buri1   |

Source: Subdistrict Agriculture Office, District and Nakhon Sawan Province (2014)

### 2.2 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา โดยตัดแปลงวิธีของ KittakoKa and Nakano (1967)

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Gamma-aminobutyric acid (GABA) ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0,

1.5 และ 3.0 มิลลิกรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร วัดค่าดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร โดยทำการวัด 3 ซ้ำ แล้วสร้างกราฟมาตรฐาน

การเตรียมตัวอย่าง นำเมล็ดข้าวมาบดให้ละเอียดเป็นผงแห้งขนาด 3-5 ไมครอน โดยชั่งแบ่งข้าว 3 กรัม สกัดในสารละลาย Ethanol เข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร เพื่อเตรียมเป็นสารละลายตัวอย่างข้าวแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยทำการวัด 3 ซ้ำ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (ยี่ห้อ CECIL รุ่น CE1011 1000 Series ผลิตจากประเทศอังกฤษ) ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร ดัดแปลงตามวิธีของ Kittaka and Nakano (1967) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้าในสถานะที่เหมาะสม [13]

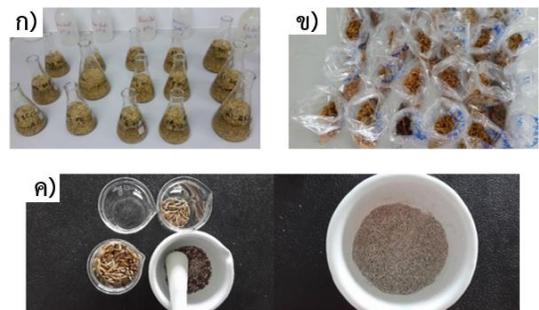
## 2.3 การศึกษาผลของ pH อุณหภูมิ และระยะเวลาในการแช่ข้าว และช่วงข้าวงอก

ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการแช่ข้าว ทำได้โดยเตรียมตัวอย่างพันธุ์ข้าว 100 กรัม โดยผู้วิจัยเลือกใช้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่มีปลูกทั่วไปทุกภูมิภาค เป็นพันธุ์อ้างอิงสถานะที่เหมาะสม โดยทำการแช่ข้าวใน Citrate buffer ที่ pH 4, 5, 6, 7 และน้ำ อย่างละ 20 กรัม (รูปที่ 1ก) เป็นเวลา 3, 8 และ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเมล็ดข้าวมา 10 กรัม อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนแห้งเพื่อหยุดการงอกของข้าว กะเทาะเปลือกออกแล้วนำไปบดจนเป็นผงแห้งขนาด 3-5 ไมครอน เพื่อเตรียมเป็นสารละลายตัวอย่างข้าว และวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้าจะได้สถานะเหมาะสมที่ข้าวมีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดของช่วงการแช่ข้าว

ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในช่วงข้าวงอก นำเมล็ดข้าวที่เหลือของข้าวในสถานะเหมาะสมในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดของการแช่ข้าว มา 10 กรัม (รูปที่ 1ข) ทำให้ข้าวงอกต่อเป็นเวลา 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35, 40

และ 45 องศาเซลเซียส อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนแห้งเพื่อหยุดการงอกของข้าวกะเทาะเปลือกออก แล้วนำไปบดจนเป็นผงแห้งขนาด 3-5 ไมครอน เพื่อเตรียมเป็นสารละลายตัวอย่างข้าว และวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า

วิเคราะห์ปริมาณสารกาบ้าในเมล็ดข้าวที่งอกจากการแช่น้ำ นำเมล็ดข้าวที่เหลือจากการแช่ข้าวในน้ำในสถานะแช่ข้าวที่ได้ปริมาณการบ่มสูงสุด 10 กรัม มาทำให้ข้าวงอกต่อในน้ำ (วัดค่า pH ประมาณ 7.5) เป็นเวลา 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนแห้งเพื่อหยุดการงอกของข้าวกะเทาะเปลือกออก แล้วนำไปบดจนเป็นผงแห้งขนาด 3-5 ไมครอน (รูปที่ 1ค) เตรียมเป็นสารละลายตัวอย่างข้าว และวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า



รูปที่ 1 ก) การแช่ข้าวในสารละลายบัฟเฟอร์ ข) ข้าวที่ได้จากการอบที่ 50 องศาเซลเซียส เพื่อหยุดการงอก ค) แบ่งข้าวที่ได้จากการบด

วิเคราะห์ปริมาณสารกาบ้า ในพันธุ์ข้าวปลูกพื้นที่ในจังหวัดนครสวรรค์ จำนวน 26 สายพันธุ์ ดังแสดงใน (ตารางที่ 1) ในสถานะที่เหมาะสม (ช่วง pH อุณหภูมิ และระยะเวลาแช่) ได้ปริมาณสารกาบ้าสูงสุด เปรียบเทียบปริมาณสารกาบ้าของข้าวแต่ละสายพันธุ์

## 2.4 สถิติและการวางแผนการทดลอง

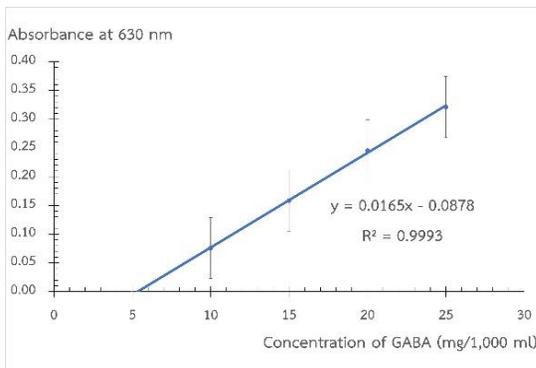
วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Gamma-aminobutyric acid (GABA)

โดยให้แกน X เป็นความเข้มข้นและ แกน y เป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 นาโนเมตร โดยสมการของกราฟมาตรฐาน  $Y=0.0165X-0.0878$  มีค่า R Square เท่ากับ 0.9993 (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสง และปริมาณความเข้มข้นของกาบ้า

#### 3.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า Gamma-aminobutyric acid (GABA) ในสภาวะช่วงแช่ข้าว

ในสภาวะช่วงแช่ข้าว โดยใช้ข้าวพันธุ์พุ่มธานี 1 เป็นพันธุ์อ้างอิง พบว่าในสภาวะช่วงแช่ข้าวใน Citrate buffer pH4 ข้าวมีสารกาบ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงมีปริมาณสารกาบ้า 11.91 ppm, Citrate buffer pH5 ข้าวมีสารกาบ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้า 16.47 ppm, Citrate buffer pH6 ข้าวมีสารกาบ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ 45 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้า 15.32 และ 15.20 ppm ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 35 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้า 15.30 ppm, Citrate buffer pH7 ข้าวมีสารกาบ้าสูงสุดที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้า 14.03 ppm และในน้ำ ข้าวมีสารกาบ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้า 16.03 ppm (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ ค่า pH และเวลา มีผลต่อปริมาณสารกาบ้าที่แตกต่างในสภาวะที่ต่างกันของการแช่ข้าว โดยพบว่า การแช่ข้าวใน Citrate buffer pH5 ข้าวมีสารกาบ้าสูงสุด ซึ่งจากรายงานการศึกษาวิจัย พบว่าระยะเวลา อุณหภูมิ และค่า pH ของสารละลายในการแช่ข้าว มีผลต่อปริมาณสารกาบ้า [12], [14]

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า Gamma-aminobutyric acid (GABA) ในสภาวะช่วงแช่ข้าว

| Temperature (°C) | Buffer pH4   | Buffer pH5   | Buffer pH6   | Buffer pH7    | Water        |
|------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
|                  | Time (3hr)   |              |              |               | (ppm)        |
| 35               | 11.91±0.36 a | 9.44±0.06 g  | 14.65±0.13 b | 14.03±0.09 a  | 14.74±0.10 b |
| 40               | 9.99±0.06 d  | 13.02±0.06 c | 15.20±0.12 a | 12.96±0.12 e  | 13.99±0.12 c |
| 45               | 9.44±0.06 e  | 12.33±0.09 d | 15.32±0.12 a | 13.42±0.13 cd | 14.84±0.06 b |
| Time (8hr)       |              |              |              |               | (ppm)        |
| 35               | 10.86±0.07 b | 6.23±0.06 h  | 15.30±0.15 a | 13.56±0.06 bc | 13.54±0.09 d |
| 40               | 10.59±0.06 c | 16.47±0.10 a | 14.65±0.07 b | 12.29±0.12 f  | 16.03±0.09 a |
| 45               | 8.47±0.06 g  | 13.62±0.06 b | 12.41±0.06 c | 12.29±0.06 f  | 14.78±0.06 b |

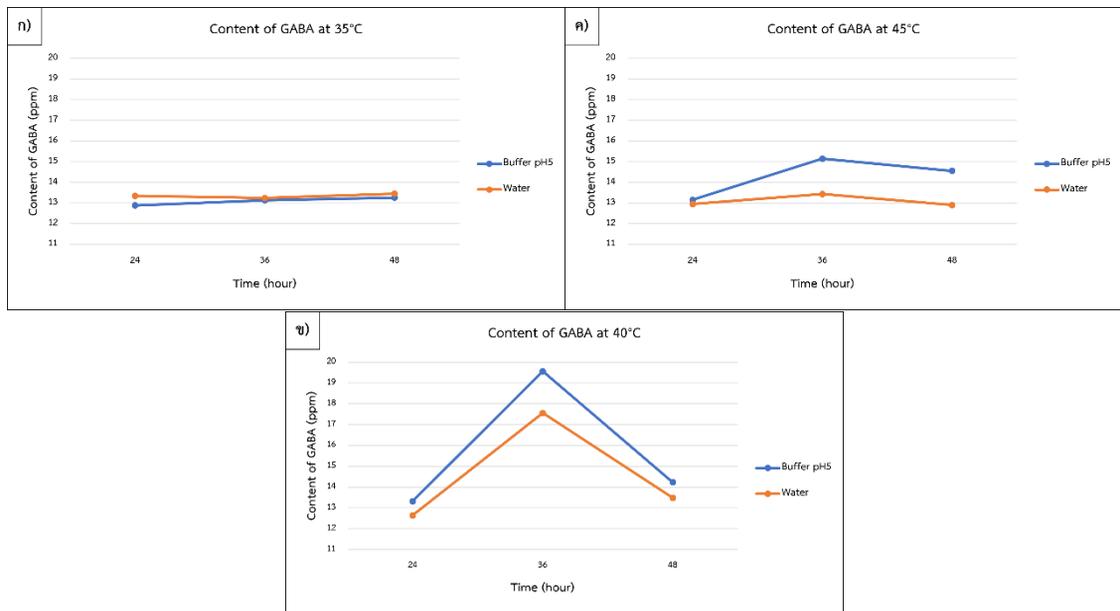
| Temperature (°C) | Buffer pH4   | Buffer pH5   | Buffer pH6   | Buffer pH7   | Water        |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  | Time (12hr)  |              |              |              |              |
| 35               | 9.12±0.09 f  | 9.66±0.10 f  | 12.45±0.09 c | 12.19±0.09 f | 9.73±0.10 g  |
| 40               | 8.56±0.06 g  | 11.83±0.06 e | 9.40±0.09 d  | 13.32±0.06 d | 11.79±0.10 f |
| 45               | 10.84±0.06 b | 11.83±0.06 e | 14.59±0.13 b | 13.60±0.09 b | 12.41±0.06 e |
| F-Test           | *            | *            | *            | *            | *            |
| % C.V.           | 0.980        | 0.654        | 0.774        | 0.699        | 0.659        |

\* = Significant difference at probability level 0.05

### 3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้าในสภาวะช่วงข้าวออก

โดยใช้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพันธุ์อ้างอิง พบว่า ในสภาวะช่วงข้าวออก Citrate buffer pH5 ข้าวมีสารกาบ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้า 19.56 ppm และในน้ำข้าวมีสารกาบ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้า 17.56 ppm (ตารางที่ 3)

แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ ค่า pH และเวลา มีผลต่อปริมาณสารกาบ้าที่แตกต่างในสภาวะที่ต่างกันของช่วงข้าวออก โดยพบว่า การข้าวออกใน Citrate buffer pH5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้าสูงสุด (รูปที่ 2ข) ซึ่งจากรายงานการศึกษาวิจัย พบว่าระยะเวลา อุณหภูมิ และค่า pH ของสารละลายในสภาวะช่วงข้าวออกมีผลต่อปริมาณสารกาบ้า [14]



รูปที่ 2 ก) ปริมาณสารกาบ้าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ข) ปริมาณสารกาบ้าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส  
ค) ปริมาณสารกาบ้าที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารกาบ้า Gamma-aminobutyric acid (GABA) ในสภาวะช่วงข้าวงอก

| Temperature (°C) | 24hr       |   | 36hr       |   | 48hr       |   |
|------------------|------------|---|------------|---|------------|---|
|                  | Buffer pH5 |   |            |   | (ppm)      |   |
| 35               | 12.88±0.15 | b | 13.13±0.09 | d | 13.26±0.09 | b |
| 40               | 13.32±0.06 | a | 19.56±0.06 | a | 14.23±0.15 | a |
| 45               | 13.15±0.06 | a | 15.14±0.15 | c | 14.55±0.10 | a |
|                  | Water      |   |            |   | (ppm)      |   |
| 35               | 13.34±0.09 | a | 13.24±0.06 | d | 13.45±0.15 | b |
| 40               | 12.64±0.09 | b | 17.56±0.06 | b | 13.48±0.09 | b |
| 45               | 12.95±0.10 | b | 13.43±0.10 | d | 12.90±0.12 | c |
| F-Test           | *          |   | *          |   | *          |   |
| % C.V.           | 0.705      |   | 0.587      |   | 0.855      |   |

\* = Significant difference at probability level 0.05

### 3.4 เปรียบเทียบปริมาณสารกาบ้า Gamma-aminobutyric acid (GABA) ในช่วงแช่ข้าว กับช่วงข้าวงอก

ในช่วงแช่ข้าว (40 องศาเซลเซียส, 8 ชั่วโมง) และช่วงข้าวงอก (40 องศาเซลเซียส, 36 ชั่วโมง) ในสารละลาย buffer pH5 และน้ำ ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้สารกาบ้าสูงสุด ของข้าวแต่ละสายพันธุ์พบว่า ข้าวที่มีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดคือ ข้าวพันธุ์มะลิ 105 ที่สภาวะข้าวงอกในสารละลาย Citrate buffer pH5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง มีปริมาณสารกาบ้า 20.47 ppm (ตารางที่ 4) แสดงให้

เห็นว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดในสภาวะที่แตกต่างกัน โดยข้าวทุกสายพันธุ์จะมีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดในช่วงข้าวงอกในสารละลาย Citrate buffer pH5 ซึ่งจากรายงานการวิจัยพบว่า สภาวะแช่ข้าว (40 องศาเซลเซียส, 8 ชั่วโมง) และช่วงข้าวงอก (40 องศาเซลเซียส, 36 ชั่วโมง) ในสารละลายกรดอ่อน pH5-6 เป็นช่วงค่า pH ที่ให้ปริมาณสารกาบ้าสูงกว่าในช่วงค่า pH อื่น ซึ่งสารละลายน้ำมีค่า pH7-8 ดังนั้นสภาวะแช่ข้าว และช่วงข้าวงอก ในสารละลาย Citrate buffer pH5 จึงมีปริมาณสารกาบ้าสูงกว่าในน้ำ [14]

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบ้า Gamma-aminobutyric acid (GABA) ในช่วงแช่ข้าว กับช่วงข้าวงอก

| Conditions      | Soak in (40°C, 8hr) |       | Germinate in (40°C, 36hr) |       | F-Test | % C.V. |       |   |   |       |
|-----------------|---------------------|-------|---------------------------|-------|--------|--------|-------|---|---|-------|
|                 | buffer pH5          | water | buffer pH5                | water |        |        |       |   |   |       |
| Black glutinous | 11.38               | b     | 10.17                     | d     | 12.59  | a      | 10.78 | c | * | 0.008 |
| Chor Ratri      | 11.18               | c     | 9.97                      | d     | 18.25  | a      | 12.59 | b | * | 0.035 |
| Daeng Noi       | 10.78               | c     | 9.76                      | d     | 18.65  | a      | 13.20 | b | * | 0.015 |
| Ha Ruang        | 11.38               | b     | 10.17                     | d     | 13.40  | a      | 10.78 | c | * | 0.011 |
| Hawm Bai Tuey62 | 11.38               | c     | 10.17                     | d     | 19.06  | a      | 12.59 | b | * | 0.008 |
| Hom Khaojek     | 10.17               | c     | 9.97                      | c     | 12.59  | a      | 10.78 | b | * | 0.014 |

| Conditions<br>Rice varieties (ppm) | Soak in (40°C, 8hr) |         | Germinate in (40°C, 36hr) |         | F-Test | % C.V. |
|------------------------------------|---------------------|---------|---------------------------|---------|--------|--------|
|                                    | buffer pH5          | water   | buffer pH5                | water   |        |        |
| Hom Nin                            | 12.19 c             | 10.58 d | 19.67 a                   | 14.82 b | *      | 0.043  |
| KDML105                            | 12.79 c             | 10.78 d | 20.47 a                   | 15.02 b | *      | 0.032  |
| Khao Dawk Mali                     | 11.38 c             | 10.17 d | 18.85 a                   | 12.79 b | *      | 0.019  |
| Khao Kamnan                        | 10.78 b             | 10.17 c | 12.39 a                   | 10.98 b | *      | 0.025  |
| Khao Tha Phra                      | 11.38 b             | 9.56 d  | 12.79 a                   | 10.78 c | *      | 0.011  |
| Niaw dang                          | 11.38 c             | 10.17 d | 18.85 a                   | 13.40 b | *      | 0.018  |
| Niaw Wan                           | 11.38 b             | 10.17 d | 13.20 a                   | 10.78 c | *      | 0.018  |
| Nok Na                             | 11.38 b             | 9.56 d  | 12.59 a                   | 10.78 c | *      | 0.018  |
| Pathum Thani1                      | 12.19 c             | 11.18 d | 19.46 a                   | 14.41 b | *      | 0.032  |
| Phitsanulok2                       | 11.38 b             | 9.56 d  | 13.20 a                   | 10.98 c | *      | 0.013  |
| Phra Vet                           | 11.18 b             | 9.76 c  | 12.59 a                   | 10.78 b | *      | 0.028  |
| RD31                               | 11.18 b             | 8.55 c  | 12.79 a                   | 10.78 b | *      | 0.041  |
| RD41                               | 11.18 b             | 9.56 c  | 11.79 a                   | 10.78 b | *      | 0.025  |
| RD47                               | 10.98 b             | 10.17 c | 11.58 a                   | 10.98 b | *      | 0.039  |
| RD49                               | 11.38 b             | 9.76 c  | 12.59 a                   | 10.98 b | *      | 0.028  |
| Red Jasmine                        | 11.18 c             | 10.37 d | 18.25 a                   | 14.01 b | *      | 0.045  |
| Riceberry                          | 11.99 c             | 10.58 d | 19.46 a                   | 14.61 b | *      | 0.031  |
| San pah tawng                      | 11.38 b             | 9.97 d  | 13.40 a                   | 10.78 c | *      | 0.025  |
| Sinlek                             | 10.98 c             | 9.76 d  | 17.64 a                   | 13.40 b | *      | 0.047  |
| Suphan Buri1                       | 11.38 b             | 9.56 d  | 11.99 a                   | 10.78 c | *      | 0.008  |

\* = Significant difference at probability level 0.05

### 3.5 เปรียบเทียบปริมาณสารกาบ้า Gamma-aminobutyric acid (GABA) ของพันธุ์ข้าวในจังหวัดนครสวรรค์

ในสารละลาย Citrate buffer pH5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง (เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ข้าวมีปริมาณสารกาบ้าสูงสุด) พบว่าข้าวพันธุ์มะลิ 105 มีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดเท่ากับ 20.47 ppm ส่วนข้าวพันธุ์ กข 47 เป็นข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณสารกาบ้า

ต่ำสุดเท่ากับ 11.58 ppm (ตารางที่ 5) จะเห็นได้ว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารกาบ้าที่แตกต่างกัน โดยพันธุ์ข้าวปลูกพื้นที่ในจังหวัดนครสวรรค์ที่มีปริมาณสารกาบ้าสูงได้แก่ KDML105, Pathum Thani 1, Khao Dawk Mali, Chor Ratri และ Ha Ruang ตามลำดับ จึงควรส่งเสริมเพื่อเป็นตัวเลือกให้เกษตรกร นำข้าวไปแปรรูปเป็นข้าวที่มีสารกาบ้าสูงในการขายเพื่อสร้างมูลค่าและรายได้ให้กับเกษตรกรต่อไป

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณสารกาบ้า Gamma-aminobutyric acid (GABA) ของพันธุ์ข้าวในจังหวัดนครสวรรค์

| Rice varieties | GABA<br>(ppm) | Rice varieties  | GABA<br>(ppm) | Rice varieties  | GABA<br>(ppm) |
|----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| KDML105        | 20.47 a       | Hom Nin         | 19.67 b       | Riceberry       | 19.46 bc      |
| Pathum Thani 1 | 19.46 bc      | Hawm Bai Tuey62 | 19.06 cd      | Niaw dang       | 18.85 d       |
| Khao Dawk Mali | 18.85 d       | Daeng Noi       | 18.65 de      | Red Jasmine     | 18.25 e       |
| Chor Ratri     | 18.25 e       | Sinlek          | 17.64 f       | San pah tawng   | 13.40 g       |
| Ha Ruang       | 13.40 g       | Niaw Wan        | 13.20 gh      | Phitsanulok 2   | 13.20 gh      |
| RD31           | 12.79 hi      | Khao Tha Phra   | 12.79 hi      | Black glutinous | 12.59 i       |
| RD49           | 12.59 i       | Phra Vet        | 12.59 i       | Hom Khaojek     | 12.59 i       |
| Nok Na         | 12.59 i       | Khao Kamnan     | 12.39 ij      | Suphan Buri 1   | 11.99 jk      |
| RD41           | 11.79 k       | RD47            | 11.58 k       | F-Test          | *             |
|                |               |                 |               | % C.V.          | 1.595         |

\* = Significant difference at probability level 0.05

#### 4. สรุป

สภาวะที่ข้าวมีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดคือ ที่สภาวะข้าวงอกในสารละลาย Citrate buffer pH5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง โดยข้าวพันธุ์มะลิ 105 มีปริมาณสารกาบ้าสูงสุดเท่ากับ  $20.47 \pm 0.35$  ppm ข้าวพันธุ์ กข 47 มีปริมาณสารกาบ้าต่ำสุดเท่ากับ  $11.58 \pm 0.15$  ppm ซึ่งจากการทดสอบนี้ทำให้ทราบถึง อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง ระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อปริมาณกรดแอมมาอะมิโนบิวทีริก (สารกาบ้า) ของข้าวหลากหลายพันธุ์ ซึ่งแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณกรดแอมมาอะมิโนบิวทีริกที่แตกต่างกัน เป็นประโยชน์ในการเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสมในขั้นตอนการสกัดกรดแอมมาอะมิโนบิวทีริกมาใช้ประโยชน์เป็นโภชนเภสัชสาร

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์ห้องปฏิบัติการ หน่วยวิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์ ห้องปฏิบัติการ วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ ในการ

ทำวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำผลงานเพื่อพัฒนางานของบุคลากร ช่วยให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nakhon Sawan Provincial Agriculture and Cooperatives Office, "Basic information about Nakhon Sawan Province," [Online]. Available: <https://www.opsmoac.go.th/nakhonsawan-dwl-preview-412991791898>. [Accessed: Jun. 30, 2023].
- [2] Office of Agricultural Economics, "Weekly production and marketing situation, August 14–20, 2023," [Online]. Available: <https://shorturl.asia/krsKE>. [Accessed: Aug. 21, 2023].
- [3] B. J. Shelp, A. W. Bown, and M. D. McLean, "Metabolism and functions of gamma-aminobutyric acid," *Trends in*

- Plant Science*, vol. 4, no. 11, pp. 446-452, Nov. 1999.
- [4] K. Ploysri, "GABA and stress relief" [Online]. Available: <https://archives.mfu.ac.th/database/files/original/ff8b8171db88d8597c56851246617aaf.pdf>. [Accessed: Jul. 8, 2012].
- [5] Q. Zhang, J. Xiang, L. Zhang, X. Zhu, J. Evers, W. V. D. Werf, and L. Duan, "Optimizing soaking and germination conditions to improve gammaaminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice," *Journal of Functional Foods*, vol. 10, pp. 283-291, Sep. 2014.
- [6] P. Tungtrakul, W. Varayanond, V. Surojanametakul, and L. Wattanasiritham, "Accumulation of gamma-Aminobutyric acid (GABA) in non-waxy and waxy rice germ during water soaking," in *Proceedings of the 32th Congress on Science and Technology of Thailand*, Bangkok, Thailand, 2006.
- [7] C. Sovaphan, K. Jangchud, and P. Tungtrakul, "Effect of germination conditions on pasting properties and gaba content of germinated brown rice flour produced from paddy rice," in *Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry*, Bangkok, Thailand, 2011, pp. 250-257.
- [8] E. Khampang, O. Kerdchoechuen, and N. Laohakunjit, "Changes of nutrition and bioactive compounds of fermented soybean," *Agricultural Science Journal*, vol. 41, no. 3/1(Suppl.), pp. 589-592, 2010.
- [9] N. Bouche and H. Fromm, "GABA in plants: just a metabolite?," *Trends in Plant Science*, vol. 9, no. 3, pp. 110-115, Mar. 2004.
- [10] M. Diana, J. Quilez, and M. Rafecas, "Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: a review," *Journal of Functional Foods*, vol. 10, pp. 407-420, Sep. 2014.
- [11] P. Annoey, H. Niamsup, S. Lumyong, S. Tajima, M. Nomura, and G. Chairote, "γ-Aminobutyric acid (GABA) accumulations in rice during germination," *Chiang Mai Journal of Science*, vol. 37, no. 1, pp. 124-133, 2010.
- [12] N. Laokuldilok, S. Khumpan, T. Prom-in, N. Chokumnoyporn, and N. Damrongwattanagool, "Optimal Condition for Glutinous Brown Rice 'RD6' Germination and Application in Puffed Rice Snack Products," *Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University*, vol. 34, no. 2, pp. 297-309, 2018.
- [13] D. Karladee and S. Suriyong, "γ-Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during

germination,” *Science Asia*, vol. 38, pp. 13-17, 2012.

[14] *Research report*, Effects of temperature soaking, germination and cooking to

thiamine GABA, antioxidants in sungyod malts and parboiled germinated brown rice, Faculty of Science and Fisheries Technology, RMUTSV, Trang, 2013.

# การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยผงเปลือกงาขาว

สุปรียา กัญยาประสิทธิ์ ประยูร ประเทศ และ ศิริรัตน์ แจ้จรรย์\*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

234 ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอมืองเลย จังหวัดเลย 42000

รับบทความ 27 พฤศจิกายน 2566 แก้ไขบทความ 30 กันยายน 2567 ตอรับบทความ 16 ตุลาคม 2567

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเปลือกงาขาว ซึ่งเป็นของเสียทางการเกษตรกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำมาทำ ความสะอาด อบอุ่นและบดเป็นผงละเอียด หลังจากนั้นนำมาดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ดังนี้ ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลู เวลาในการดูดซับ ความเร็วรอบเขย่า ในการดูดซับ และความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ โดยใช้เทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรีในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ผลการศึกษาปัจจัยในการดูดซับแต่ละปัจจัย ที่ทำให้เกิดการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ได้สูงที่สุดมีดังนี้ ปริมาณตัวดูดซับ 0.2 กรัม ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลู 30 มิลลิกรัม/ลิตร เวลาในการดูดซับ 4 ชั่วโมง ความเร็วรอบเขย่าในการดูดซับ 150 รอบ/นาที และความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับคือ 11 ซึ่งทั้งห้าปัจจัยได้ค่า ร้อยละการดูดซับดังนี้ ร้อยละ 89.4, 93.3, 93.1, 89.8 และ 90.2 ตามลำดับ รวมถึงศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรีในการวิเคราะห์ตัวอย่าง พบว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบ ฟรุนดริช ซึ่งมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.93 สามารถอธิบายได้ว่าการดูดซับเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่ขรุขระไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งการดูดซับบนพื้นผิวเป็นแบบหลายชั้น ดังนั้นผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเปลือกงาขาวสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้ ซึ่งเป็นการนำของเสียทางการเกษตรกลับมาใช้ประโยชน์ และเป็นแนวทางการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมผ้า

คำสำคัญ : เปลือกงาขาว; ของเสียทางการเกษตร; การดูดซับ; เมทิลีนบลู

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 4600 7792, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: s.jangkorn@gmail.com

## Removal of Methylene Blue Dye Using White Sesame Husks Powder

Supreeya Kanyaprasit Prayoon Prathet and Sirirat Jangkorn\*

Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University

234 Loei-Chiang Khan Road, Mueang Subdistrict, Mueang Loei District, Loei Province, 42000

---

*Received 27 November 2023; Revised 30 September 2024; Accepted 16 October 2024*

### Abstract

This research involves the utilization of white sesame husks, which were agricultural waste, to create a beneficial application. The process involves cleaning, drying, and grinding the husks into a fine powder. Then, they employed methylene blue dye adsorption. Additionally, the study explored isotherm adsorption using spectroscopy techniques to analyze samples. The conditions that resulted in the maximum amount of methylene blue dye adsorption were: 0.2 g of adsorbent material; 30 mg/L of methylene blue dye; 4 hours of adsorption time; 150 rpm of shaking speed; and 11 pH. 89.4%, 93.3%, 93.1%, 89.8%, and 90.2%, respectively, were the dye adsorbed percentages for these five parameters. This research includes a study of adsorption isotherms and employs spectrophotometric techniques for sample analysis. As a result, the adsorption isotherm study, correlating to Freundlich isotherm adsorption, shown the  $R^2$  value of 0.93, indicating that the adsorption occurs on a non-uniform and multilayer surface. The results of this study show that white sesame husks can efficiently absorb methylene blue dye, which presents an opportunity to recycle agricultural waste and possibly even give a treatment option for wastewater tainted by dye.

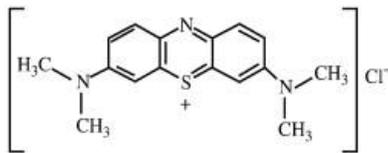
**Keywords :** White Sesame Husks; Agricultural Waste; Adsorption; Methylene Blue

---

\* *Corresponding Author. Tel.: +668 4600 7792, E-mail Address: s.jangkorn@gmail.com*

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาอุตสาหกรรมฟอกย้อมได้เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว สารเคมีหลายชนิดถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมดังกล่าว โดยเฉพาะสีย้อมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะแหล่งน้ำ มักพบการเจือปนของสารพิษและเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไข [1] สีย้อมเมทิลีนบลูมีโครงสร้างทางเคมี [2] แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของเมทิลีนบลู

ซึ่งเป็นสีที่นิยมนำมาใช้ย้อมผ้า เช่น ผ้าคอตตอน ผ้าฝ้าย และผ้าขนสัตว์ เป็นต้น [3] และเป็นสีย้อมประเภทประจุบวก (Cationic dye) [4], [5] เมื่อถูกปล่อยสู่แหล่งน้ำ จะเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศและสัตว์น้ำ [6] และยังเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย [7] สำหรับวิธีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมย้อมผ้ามีหลายวิธี เช่น กระบวนการดูดซับ การตกตะกอน และการย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นต้น [8]-[10] จากวิธีที่กล่าวมาพบว่ากระบวนการดูดซับ เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม เนื่องจากมีประสิทธิภาพและประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำเสีย ตัวดูดซับที่นำมาใช้ได้แก่ ป่าลัม [11] เปลือกส้มโอ [12] และเปลือกหน่อไม้ [13] เป็นต้น สำหรับตัวดูดซับที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเปลือกงาขาว (*Sesamum indicum* Linn.) ซึ่งเป็นงาพันธุ์เมืองเลย หรือเรียกอีกชื่อว่า งาไข่ปลา เนื่องจากมีเมล็ดเล็ก นิยมปลูกมากในจังหวัดเลย เป็นที่ต้องการของตลาด เพราะสามารถนำมาสกัดน้ำมันได้และมีกลิ่นหอม หลังจากที่จะเพาะเปลือก แล้วนำเมล็ดงาขาวออกมาเพื่อสกัดน้ำมัน เปลือกจะถูกนำไปทั้งกลายเป็นขยะและของเสียตามที่

ต่าง ๆ เปลือกงาขาวมีองค์ประกอบของโพลีแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารดูดซับทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วย [14] ทางผู้วิจัยจึงได้นำแนวทางการจัดการของเสียจากกระบวนการผลิตให้เกิดน้อยที่สุด (Zero-Waste) และแปรสภาพเพื่อนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) จึงได้นำเปลือกงาขาวกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นตัวดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ซึ่งทำให้ได้ตัวดูดซับที่ราคาถูก หาง่าย และมีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียต่อไป

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

ตัวอย่างเปลือกงาขาวพันธุ์เมืองเลย เป็นพืชที่นิยมปลูกในจังหวัดเลย มีประโยชน์ด้านโภชนาการ จึงเป็นพันธุ์ที่ตลาดต้องการ [15] ซึ่งงานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างจากสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

### 2.1 การเตรียมเปลือกงาขาว

นำเปลือกงาขาวล้างด้วยน้ำกลั่น 3 รอบ และทำแห้งในตู้อบร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยเครื่องบดแห้งไฟฟ้าให้ละเอียด แล้วร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงความละเอียด 40 เมช (Mesh) ให้ได้ผงเปลือกงาขาว ตักใส่ถุงซิปล็อคแล้วเก็บรักษาในโถแก้วดูดความชื้น เพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

### 2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของดูดซับ

ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเปลือกงาขาว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: FE- SEM) รุ่น X-Max 50 บริษัท FEI Quanta 450 FEG/EDS Oxford Instruments และศึกษาลักษณะทางเคมีของหมู่ฟังก์ชันเปลือกงาขาวด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR) รุ่น Id7 ATR Accessory บริษัท Thermo Scientific

## 2.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ จะทำการทดลองแบบแบตช์ (Batch) เพื่อศึกษา 5 ปัจจัย ดังนี้ ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลู เวลาในการดูดซับ ความเร็วรอบเขย่าในการดูดซับ และความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับ ซึ่งแต่ละปัจจัยทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ หลังการดูดซับ แยกสารละลายออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น Z206A, Hermle ใช้ความเร็วรอบ 3,600 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น Lambda 35, Perkin Elmer ด้วยความยาวคลื่นแสง 663 นาโนเมตร เพื่อคำนวณร้อยละการดูดซับ และคำนวณหาความสามารถในการดูดซับ ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$R\% = \left( \frac{C_0 - C_1}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_1)V}{w} \quad (2)$$

โดยที่

$R$  = ร้อยละการดูดซับ (%)

$q_e$  = ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

$C_0$  = ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูก่อนการดูดซับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

$C_1$  = ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูหลังการดูดซับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

$V$  = ปริมาตรของสีย้อมเมทิลีนบลู (ลิตร)

$w$  = น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)

### 2.3.1 การศึกษาปริมาณตัวดูดซับ

ปริมาณตัวดูดซับที่ศึกษา มีดังนี้ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 กรัม นำแต่ละตัวอย่างใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด

125 มิลลิลิตร แต่ละขวดควบคุมปัจจัยคือ ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลู 10 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 นำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณตัวดูดซับที่กำจัดเมทิลีนบลูได้สูงสุด

### 2.3.2 การศึกษาความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลู

ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูที่ทำการศึกษามีดังนี้ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเตรียมปริมาตรละ 100 มิลลิลิตร นำแต่ละตัวอย่างใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร แต่ละขวดควบคุมปัจจัยดังนี้ ปรับสารละลายให้มีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 แล้วใส่ปริมาณผงเปลือกงาขาวที่ศึกษาได้จากข้อ 2.3.1 นำเข้าเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อหาตัวดูดซับที่กำจัดความเข้มข้นได้สูงสุด

### 2.3.3 การศึกษาเวลาในการดูดซับ

เวลาในการดูดซับที่ศึกษามีดังนี้ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง แต่ละตัวอย่างควบคุมปัจจัยดังนี้ ซึ่งปริมาณผงเปลือกงาขาวที่ศึกษาได้จากข้อ 2.2.1 ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ที่มีสีย้อมเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2.3.2 ปริมาตรละ 100 มิลลิลิตร แล้วปรับสารละลายให้มีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 นำเข้าเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาในการดูดซับที่กำจัดเมทิลีนบลูได้สูงสุด

### 2.3.4 การศึกษาความเร็วรอบเขย่าในการดูดซับ

ความเร็วรอบเขย่าในการดูดซับที่ศึกษามีดังนี้ 100, 150, 200, 250 และ 300 รอบ/นาที แต่ละตัวอย่างควบคุมปัจจัยดังนี้ ซึ่งปริมาณผงเปลือกงาขาวที่ศึกษาได้จากข้อ 2.3.1 ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ที่มีสีย้อมเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2.3.2 ปริมาตรละ 100 มิลลิลิตร แล้ว

ปรับสารละลายให้มีความเป็นกรด-ต่างเท่ากับ 5 นำเข้าเครื่องเขย่าตามเวลาในการดูดซับที่ศึกษาได้จากข้อ 2.3.3 เพื่อหาความเร็วรอบเขย่าที่ตัวดูดซับกำจัดเมทิลีนบลูได้สูงสุด

**2.3.5 การศึกษาความเป็นกรด-ต่างในการดูดซับ**

ความเป็นกรด-ต่างในการดูดซับที่ศึกษามีดังนี้ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 แต่ละตัวอย่างควบคุมปัจจัยดังนี้ ซึ่งปริมาณผงเปลือกงาขาวที่ศึกษาได้จากข้อ 2.3.1 ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ที่มีสี้อมเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2.3.2 ปริมาตรละ 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าตามเวลาในการดูดซับที่ศึกษาได้จากข้อ 2.3.3 ด้วยความเร็วรอบเขย่าที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2.3.4 เพื่อหาความเป็นกรด-ต่างของสารละลาย ที่ตัวดูดซับกำจัดเมทิลีนบลูได้สูงสุด

**2.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ**

นำขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 8 ขวด ใส่ผงเปลือกงาขาวขวดละ 0.2 กรัม นำแต่ละขวดใส่สี้อมเมทิลีนบลูความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตรละ 100 มิลลิลิตร ปรับสารละลายให้มีความเป็นกรด-ต่างที่ 11 แล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายหลังการดูดซับมาคำนวณหาไอโซเทอม ซึ่งการศึกษานี้ใช้ 2 ไอโซเทอมคือแลงเมียร์ไอโซเทอม (Langmuir isotherm) และฟรุนดลิชไอโซเทอม (Freundlich isotherm) ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสี้อมเมทิลีนบลูที่สมดุลกับปริมาณผงเปลือกงาขาว ณ อุณหภูมิคงที่

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L} \tag{3}$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \tag{4}$$

โดยที่

$C_e$  = ความเข้มข้นสี้อมเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับในสถานะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

$q_m$  = ปริมาณสูงสุดของสี้อมเมทิลีนบลูที่สามารถดูดซับแบบชั้นเดียวต่อปริมาณผงเปลือกงาขาว (มิลลิกรัม/กรัม)

$K_L$  = ค่าคงที่แลงเมียร์ (ลิตร/มิลลิกรัม)

$K_F$  = ค่าคงที่ฟรุนดลิช (มิลลิกรัม/กรัม)

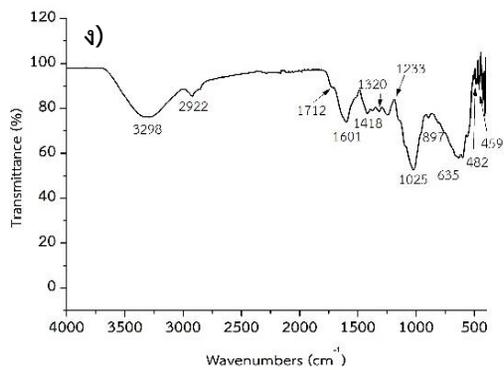
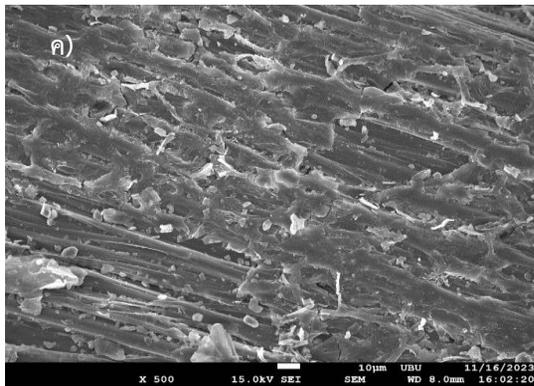
$\frac{1}{n}$  = ปัจจัยแสดงถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

**3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล**

**3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ**

เปลือกงาขาวที่แกะเมล็ดงาออกแล้ว ล้างทำความสะอาดและอบแห้งจะได้ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2 ก) เมื่อนำมาบดละเอียดและคัดขนาดด้วยตะแกรงความละเอียด 40 เมส จะได้ผงเปลือกงาขาวเนื้อละเอียดสีน้ำตาล ดังแสดงในรูปที่ 2 ข) ส่วนลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของตัวดูดซับ ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าพื้นผิวมีลักษณะไม่เรียบและขรุขระ แสดงในรูปที่ 2 ค) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ทำให้เปลือกงาขาว สามารถเป็นตัวดูดซับที่ดี เพราะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับ สามารถกักจับและกักเก็บอนุภาคของสี้อมผ้าได้ดีกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นผิวเรียบ [16] ส่วนผลการศึกษาลักษณะทางเคมีประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน ดังนี้ ช่วงแถบที่ 3,200-3,600 ซม.<sup>-1</sup> คือหมู่ -OH สามารถกักเก็บความชื้นได้ดี [17] และสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของเมทิลีนบลู อีกทั้งมีประจุลบซึ่งสามารถจับกับเป็นสี้อมที่มีประจุบวกอย่างเมทิลีนบลูได้ [4], [18] ส่วนแถบที่ 2,922 ซม.<sup>-1</sup> คือหมู่ -CH<sub>3</sub> แถบที่ 1,712 ซม.<sup>-1</sup> คือหมู่ C=O ซึ่งสามารถจับกับไอออนของสี้อมผ่านแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตได้ [19] แถบที่ 1,601 ซม.<sup>-1</sup> แสดงถึงสารประกอบอโรมาติกต่อต้านอนุมูลอิสระ [20] สำหรับแถบที่ 1,418, 1,320 และ 1,233 ซม.<sup>-1</sup> คือหมู่ -CH<sub>2</sub> ขององค์ประกอบไขมันเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในเปลือกงา [21] แถบที่

1,025 และ 897  $\text{cm}^{-1}$  คือหมู่  $-\text{CH}$  ของอัลเคนและกลุ่มเมทิล ตามลำดับ ขณะที่แถบ 482 และ 452  $\text{cm}^{-1}$  คือองค์ประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ง)



รูปที่ 2 ก) เปลือกงาขาว ข) ผงเปลือกงาขาว  
ค) ลักษณะพื้นผิว และ ง) องค์ประกอบหมู่ฟังก์ชันกทางเคมีของเปลือกงาขาว

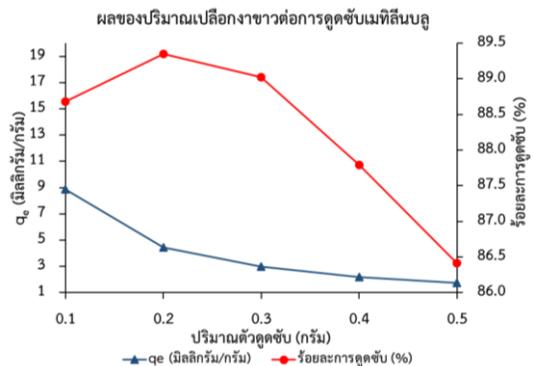
### 3.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

เมื่อนำเปลือกงาขาว มาทดสอบการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู โดยศึกษาหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับสี

ย้อมเมทิลีนบลูในสารละลายมีทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังนี้ ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของเมทิลีนบลู เวลาในการดูดซับ ความเร็วรอบเขย่าในการดูดซับ และความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับ ซึ่งผลการทดสอบได้ปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้

#### 3.2.1 ผลการศึกษาปริมาณตัวดูดซับ

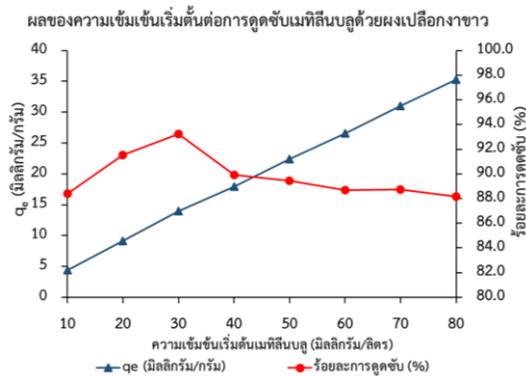
จากการศึกษาพบว่า ตัวดูดซับปริมาณ 0.1 กรัม มีค่าการดูดซับ 88.7% และค่า  $q_e$  เท่ากับ 8.87 มิลลิกรัม/กรัม เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 0.2 กรัม ค่าการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 89.4% ส่วนค่า  $q_e$  เท่ากับ 4.47 มิลลิกรัม/กรัม เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น จึงทำให้เกิดการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย [22] แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 0.3, 0.4 และ 0.5 กรัม กลับพบว่ามีค่าการดูดซับลดลงเป็น 89.0%, 87.8% และ 86.4% และมีค่า  $q_e$  เท่ากับ 89.0, 87.8 และ 86.4 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งตัวดูดซับจะมีพื้นผิวจำเพาะ (Active site) ที่ทำให้ประสิทธิภาพดูดซับมากขึ้น เมื่อดูดซับสีจนอิ่มตัวจะเกิดสภาวะสมดุลระหว่างอนุภาคสีที่ถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของตัวดูดซับ และอนุภาคสีที่อยู่ในสารละลาย จึงทำให้การดูดซับลดลงถึงแม้ว่าจะเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากขึ้นก็ตาม [23] อีกทั้งการเพิ่มปริมาณ อาจทำให้เกิดความหนาแน่นจนอนุภาคของตัวดูดซับเกิดการเกาะตัวกัน ประสิทธิภาพในการดูดซับจึงลดลง [24] ดังนั้นปริมาณตัวดูดซับที่ดูดซับเมทิลีนบลูได้สูงที่สุดคือ 0.2 กรัม



รูปที่ 3 ปัจจัยปริมาณเปลือกงาขาวต่อการดูดซับ

### 3.2.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของเมทิลีนบลู

จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่ 10 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร มีการดูดซับที่เพิ่มขึ้นเป็น 88.4% และ 91.5% และมีค่า  $q_e$  เท่ากับ 4.42 และ 9.15 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ และดูดซับเพิ่มสูงสุดที่ความเข้มข้นเมทิลีนบลู 30 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่า 93.3% และค่า  $q_e$  เท่ากับ 13.99 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งเมื่อความเข้มข้นเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอนุภาคของสีย้อมในสารละลาย และพื้นผิวของตัวดูดซับ จึงเกิดแรงขับเคลื่อนการถ่ายเทมวลของอนุภาคสีย้อมเพื่อเข้าจับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ (Binding site) ได้มากขึ้น [25] แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 40, 50, 60, 70 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่ามีการดูดซับลดลงที่ 89.95%, 89.4%, 88.7%, 88.7% และ 88.2% ซึ่งมีค่า  $q_e$  เท่ากับ 17.98, 22.35, 26.60, 31.05 และ 35.26 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากอนุภาคของสีย้อมเมื่อเข้าจับกับพื้นผิวของตัวดูดซับจนเต็ม จึงทำให้อนุภาคของสีไม่สามารถเข้าจับได้อีก การดูดซับจึงลดลง [26] ดังนั้นความเข้มข้นเมทิลีนบลูที่เลือกงานขาวดูดซับได้สูงสุดคือ 30 มิลลิกรัม/ลิตร

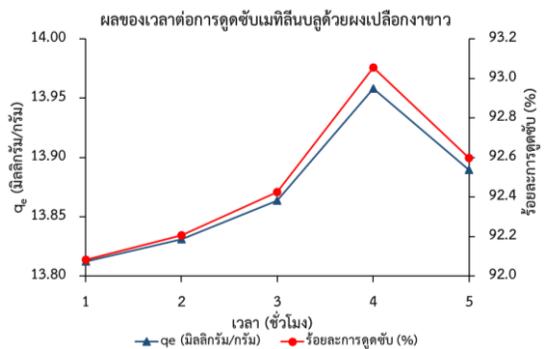


รูปที่ 4 ปัจจัยความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลูต่อการดูดซับ

### 3.2.3 ผลการศึกษาเวลาในการดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่าเวลาในการดูดซับที่ 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง มีการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 92.7%, 92.2%,

92.4% และ 93.1% มีค่า  $q_e$  เท่ากับ 13.81, 13.83, 13.86 และ 13.96 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มเวลาดูดซับ ทำให้ตัวดูดซับสัมผัสกับอนุภาคสีได้มากขึ้น เป็นผลให้การดูดซับมีค่าเพิ่มตามไปด้วย ซึ่งช่วงแรกการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะมีแรงขับเคลื่อน [25] แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 5 ชั่วโมง พบว่ามีการดูดซับลดลงเป็น 92.6% และมีค่า  $q_e$  เท่ากับ 13.89 มิลลิกรัม/กรัม ดังแสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากการดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวตัวดูดซับแล้ว จึงเข้าสู่ภาวะสมดุลซึ่งอนุภาคสีย้อมจะมีการเกาะหรือหลุดออกจากตัวดูดซับเท่า ๆ กัน ถึงแม้ว่าจะเพิ่มเวลาในการดูดซับให้มากขึ้นก็ตาม [27] ดังนั้นเวลาในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยเปลือกงาขาว ที่สามารถดูดซับได้สูงสุดคือ 4 ชั่วโมง

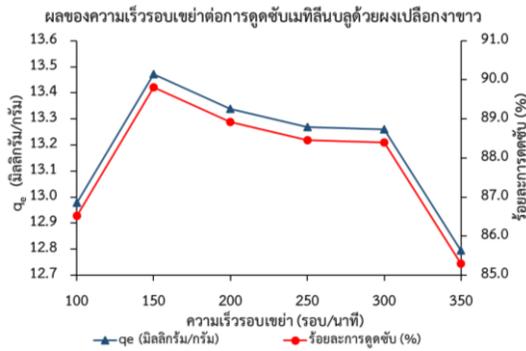


รูปที่ 5 ปัจจัยเวลาในการดูดซับ

### 3.2.4 ผลการศึกษาความเร็วรอบเขย่าในการดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วรอบเขย่า 100 และ 150 รอบ/นาที มีการดูดซับ 86.5% และ 89.8% มีค่า  $q_e$  เท่ากับ 12.98 และ 13.47 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ เมื่อความเร็วรอบเขย่าเพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคสีย้อมสามารถสัมผัสกับตัวดูดซับได้มากขึ้น จึงทำให้มีการดูดซับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [13] เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเขย่าเป็น 200, 250, 300 และ 350 รอบ/นาที มีการดูดซับลดลงเป็น 88.9%, 88.5%, 88.4% และ 85.3% มีค่า  $q_e$  เท่ากับ 13.34, 13.27, 13.26 และ 12.80 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 การเพิ่มความเร็ว

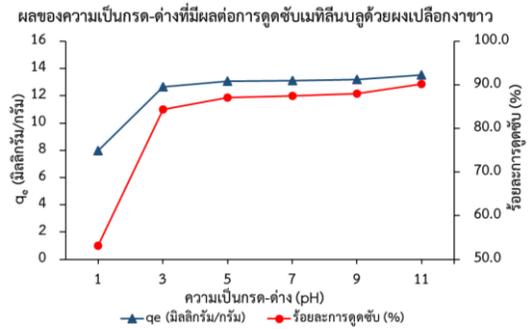
รอบเขย่าที่มากเกินไป จะทำให้เกิดแรงเฉือน ซึ่งทำให้การสัมผัสกันระหว่างอนุภาคสีและพื้นผิวของตัวดูดซับลดลงจึงขัดขวางการดูดซับด้วย [28] ดังนั้นความเร็วรอบเขย่าในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่เปลือกองขาวสามารถดูดซับได้สูงสุดคือ 150 รอบ/นาที



รูปที่ 6 ปัจจัยความเร็วรอบเขย่าต่อการดูดซับ

### 3.2.5 ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่า ความเป็นกรด-ด่างที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 มีการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 53.1%, 84.4%, 87.1%, 87.4%, 88.0%, และ 89.8% มีค่า  $q_e$  เท่ากับ 7.96, 12.66, 13.07, 13.12, 13.21 และ 13.53 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเมทิลีนบลูเป็นสีย้อมประจุบวก ถูกดูดซับได้ดีที่ความเป็นกรด-ด่างสูง [29] เพราะที่สภาวะนี้มีไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ซึ่งมีประจุบวกลดลง [30] รวมทั้งความเป็นกรด-ด่างที่สูง พื้นผิวของตัวดูดซับอาจเป็นประจุลบ ซึ่งจับกับประจุบวกของสีย้อมได้ดีขึ้นด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic attraction) และสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่า การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยตัวดูดซับต่าง ๆ เช่น เปลือกถั่ว และเปลือกกระเทียม มีการดูดซับได้สูงสุดที่ความเป็นกรด-ด่าง 11 [31], [33] ดังนั้นความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับที่เปลือกองขาวสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้สูงสุดคือ 11

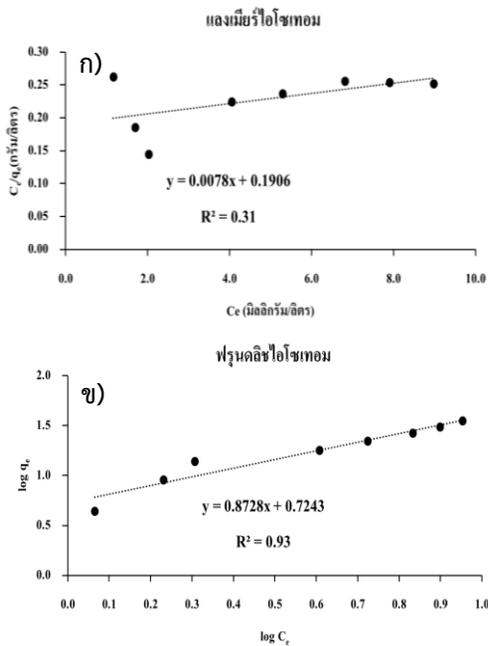


รูปที่ 7 ปัจจัยความเป็นกรด-ด่างต่อการดูดซับ

### 3.3 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

การศึกษาผลของไอโซเทอมในการดูดซับ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสีย้อมเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับด้วยเปลือกองขาวกับความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ในสภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ เพื่อหาความสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอมการดูดซับที่ทำการศึกษามี 2 สมการคือ แลงเมียร์ไอโซเทอมและฟรุนดริชไอโซเทอม ซึ่งได้กราฟไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยเปลือกองขาวของแลงเมียร์ไอโซเทอมและฟรุนดริชไอโซเทอม ดังแสดงในรูปที่ 8 ก) และ ข) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ของทั้งสองสมการ พบว่า ค่า  $R^2$  จากสมการแลงเมียร์ไอโซเทอมและฟรุนดริชไอโซเทอมมีค่า 0.31 และ 0.93 ตามลำดับ ซึ่ง  $R^2$  ของสมการฟรุนดริชไอโซเทอมมีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่า แสดงว่าการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยเปลือกองขาว สอดคล้องกับสมการแบบฟรุนดริชไอโซเทอม จึงสามารถอธิบายได้ว่าเป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวดูดซับแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือตัวดูดซับมีพื้นผิวขรุขระ และการดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยตัวดูดซับอื่น ๆ แสดงในตารางที่ 1 เช่น ซีเลอีย [36] ใบสะเดา [37] และเปลือกหน่อไม้ [13] ส่วนค่า  $1/n$  และค่า  $K_F$  ของเปลือกองขาวเท่ากับ 1.38 และ 7.46 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ โดย  $n$  มีค่า

เท่ากับ 0.72 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า เปลือกงาขาว เป็นตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมาก [35] เมื่อเปรียบเทียบกับ ตัวดูดซับต่าง ๆ แล้วพบว่า การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ด้วยเปลือกงาขาวมีค่าการดูดซับสูงสุดที่ 128.21 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งกลไกการดูดซับของเปลือกงาขาว อาจเกิดจากปฏิกิริยาทางกายภาพและเคมีของโครงสร้าง ของตัวดูดซับ ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุลบ เช่น หมู่ -OH และหมู่ C=O ที่สามารถพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุล ของเมทิลีนบลูซึ่งเป็นประจุบวกได้ อีกทั้งยังมีแรงดึงดูด ทางไฟฟ้าสถิตจึงดูดซับสีย้อมได้ดี [18], [19], [38], [39]



รูปที่ 8 ก) แลงเมียร์ไอโซเทอม และ ข) ฟรุนดลิชไอโซเทอม ของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยเปลือกงาขาว

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแลงเมียร์ไอโซเทอมและฟรุนดริชไอโซเทอม ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของตัวดูดซับต่าง ๆ

| ตัวดูดซับ     | แลงเมียร์ไอโซเทอม     |                       |                | ฟรุนดลิชไอโซเทอม      |      |                | อ้างอิง     |
|---------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|------|----------------|-------------|
|               | q <sub>m</sub> (mg/g) | K <sub>L</sub> (L/mg) | R <sup>2</sup> | K <sub>F</sub> (mg/g) | 1/n  | R <sup>2</sup> |             |
| ซีลีออย       | 9.78                  | 1.60                  | 0.98           | 6.05                  | 0.63 | 0.99           | [36]        |
| โบสะเดา       | 3.76                  | 0.18                  | 0.96           | 2.42                  | 1.79 | 0.99           | [37]        |
| เปลือกหน่อไม้ | 29.24                 | 0.05                  | 0.92           | 1.55                  | 0.72 | 0.99           | [13]        |
| เปลือกงาขาว   | 128.2                 | 0.04                  | 0.31           | 7.46                  | 1.38 | 0.93           | การศึกษานี้ |

#### 4. สรุป

เปลือกงาขาวที่ได้จากของเหลือทิ้งทางการเกษตร สามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้ โดยมีปัจจัยการดูดซับที่ทำให้ได้การดูดซับมากที่สุดในแต่ละปัจจัย ดังนี้ ปริมาณวัสดุดูดซับ 0.2 กรัม (89.4%) ความเข้มข้นสีย้อมเมทิลีนบลู 30 มิลลิกรัม/ลิตร (93.3%) เวลาในการดูดซับ 4 ชั่วโมง (ร้อยละ 93.1) ความเร็วรอบเขย่าในการดูดซับ 150 รอบ/นาที (ร้อยละ 89.8) และความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับที่ 11 (ร้อยละ 90.2) และผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของเปลือกงาขาว พบว่า สอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดริช โดยมีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.93 ซึ่งสามารถอธิบายรูปแบบการดูดซับได้ว่าเป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของเปลือกงาขาว ซึ่งพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีความขรุขระ และการดูดซับเกิดขึ้นแบบหลายชั้น โดยหลังการดูดซับสามารถนำเปลือกงาขาวไปกำจัดด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การเผาที่ควบคุมอุณหภูมิสูง (Thermal treatment) เพื่อทำลายโครงสร้างทางเคมีของสีย้อม หรือนำไปฝังกลบในพื้นที่ควบคุม (Controlled landfilling) เพื่อป้องกันการรั่วไหลของสีย้อม และกำจัดด้วยวิธีฟื้นฟูตัวดูดซับ (Adsorbent regeneration) โดยการขับสีย้อมออกจากตัวดูดซับแล้วฟื้นฟูกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นข้อเสนอแนะที่จะทำการศึกษาต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัย เครื่องมือ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Y. R. Smith, D. Bhattacharyya, T. Willhard, and M. Misra, "Adsorption of aqueous rare earth elements using carbon black derived

- from recycled tires,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 296, pp. 102–111, Jul. 2016.
- [2] M. M. E. Halwany, “Study of adsorption isotherms and kinetic models for methylene blue adsorption on activated carbon developed from Egyptian rice hull (Part II),” *Desalination*, vol. 250, no. 1, pp. 208–213, Jan. 2010.
- [3] O. Hamdaoui, “Dynamic sorption of methylene blue by cedar sawdust and crushed brick in fixed bed columns,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 138, no. 2, pp. 293–303, Nov. 2006.
- [4] C. Deng, J. Liu, W. Zhou, Y. K. Zhang, K. F. Du, and Z. M. Zhao, “Fabrication of spherical cellulose/ carbon tubes hybrid adsorbent anchored with welan gum polysaccharide and its potential in adsorbing methylene blue,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 200–202, pp. 452–458, Aug. 2012.
- [5] F. Liu, H. Zou, J. Hu, H. Liu, J. Peng, Y. Chen, F. Lu, and Y. Huo “Fast removal of methylene blue from aqueous solution using porous soy protein isolate based composite beads,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 287, pp. 410–418, Mar. 2016.
- [6] P. O. Oladoye, T. O. Ajiboye, E. O. Omotola, and O. J. Oyewola, “Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater,” *Results in Engineering*, vol. 16, pp. 100678, Dec. 2022.
- [7] I. Khan, K. Saeed, I. Zekker, B. Zhang, A. H. Hendi, A. Ahmad, S. Ahmad, N. Zada, H. Ahmad, L. A. Shah, T. Shah, and I. Khan, “Review on methylene blue: Its properties, uses, toxicity and photodegradation,” *Water*, vol. 14, no. 2, p. 242, Jan. 2022.
- [8] B. Qiu, Y. Dang, X. Cheng, and D. Sun, “Decolorization and degradation of cationic red X- GRL by upflow blanket filter,” *Water Science and Technology*, vol. 67, no. 5, pp. 976–982, Mar. 2013.
- [9] M. R. Gadekar and M. M. Ahammed, “Coagulation/flocculation process for dye removal using water treatment residuals: modelling through artificial neural networks,” *Desalination and Water Treatment*, vol. 57, no. 55, pp. 26392–26400, Nov. 2016.
- [10] Z. Jia, Z. Li, S. Li, Y. Li, and R. Zhu, “Adsorption performance and mechanism of methylene blue on chemically activated carbon spheres derived from hydrothermally- prepared poly ( vinyl alcohol) microspheres,” *Journal of Molecular Liquids*, vol. 220, pp. 56–62, Aug. 2016.
- [11] A. A. Ahmad, B. H. Hameed, and N. Aziz, “Adsorption of direct dye on palm ash: Kinetic and equilibrium modeling,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 141, no. 1, pp. 70–76, Mar. 2007.
- [12] B. H. Hameed, D. K. Mahmoud, and A. L. Ahmad, “ Sorption of basic dye from aqueous solution by pomelo ( *Citrus grandis*) peel in a batch system,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and*

- Engineering Aspects*, vol. 316, no. 1–3, pp. 78–84, Mar. 2008.
- [13] P. Ouengsirirawad and C. Ruangviriyachai, “Adsorption of methylene blue dye using dried shell of bamboo shoot,” in *Proceeding of The National and International Graduate Research Conference*, Khon Kaen University, Thailand, 2016, pp. 343–350.
- [14] Q. Guo, S. Xu, X. Zhao, H. Liu, Z. Qin, and X. Wang, “Physicochemical and functional properties of pectic polysaccharides extracted with four different chelators from sesame hull,” *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 58, no. 5, pp. 2289–2303, May 2023.
- [15] G. Yaseen, M. Ahmad, M. Zafar, A. Akram, S. Sultana, S. N. Ahmed, and O. Kilic, “Sesame (*Sesamum indicum* L.),” in *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*, Elsevier, 2021, pp. 253–269.
- [16] P. J. Cruz, P. P. De Breuck, G. M. Rignanese, K. Glinel, and A. M. Jonas, “Influence of roughness and coating on the rebound of droplets on fabrics,” *Surfaces and Interfaces*, vol. 36, p. 102524, Feb. 2023.
- [17] M. A. C. Ortega, O. G. Barradas, M. R. M. López, K. M. Vásquez, and M. J. Fernández, “Chemical modification of sesame protein by acylation reactions: characterization and evaluation of functional properties,” *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 59, no. 7, pp. 5083–5095, Jul. 2024.
- [18] A. A. Aryee, R. Han, and L. Qu, “Investigation into the adsorption of methylene blue and trimethoprim onto modified peanut husk in single and binary systems,” *Desalination and Water Treatment*, vol. 317, p. 100248, Jan. 2024.
- [19] Y. Cao, L. Yang, F. Liu, and Q. Yu, “Adsorption experiments and mechanisms of methylene blue on activated carbon from garden waste via deep eutectic solvents coupling KOH activation,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 182, p. 107074, Mar. 2024.
- [20] N. Bouhadi, C. Boualem, and L. Boudriche, “Sesame Seeds and Flax Food Oils: Extraction and Physicochemical Characterizations,” *International Invention of Scientific Journal*, vol. 3 no. 6, pp. 597–604, Aug. 2019.
- [21] A. Ferrer, C. Alciaturi, A. Faneite, and J. Ríos, “Analyses of Biomass Fibers by XRD, FT-IR, and NIR,” in *Analytical Techniques and Methods for Biomass*, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 45–83.
- [22] A. E. Ofomaja, “Sorbptive removal of Methylene blue from aqueous solution using palm kernel fibre: Effect of fibre dose,” *Biochemical Engineering Journal*, vol. 40, no. 1, pp. 8–18, May 2008.
- [23] E. Forgacs, T. Cserhádi, and G. Oros, “Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review,” *Environment*

- International*, vol. 30, no. 7, pp. 953–971, Sep. 2004.
- [24] S. Parvin, A. Hossen, W. Rahman, I. Hossen, A. Halim, B. K. Biswas, and A. S. Khan, “Uptake hazardous dye from wastewater using water hyacinth as bio-adsorbent,” *European Journal of Sustainable Development Research*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [25] Ü. Geçgel, O. Üner, G. Gökara, and Y. Bayrak, “Adsorption of cationic dyes on activated carbon obtained from waste *Elaeagnus* stone,” *Adsorption Science & Technology*, vol. 34, no. 9–10, pp. 512–525, Dec. 2016.
- [26] Z. Eren and F. N. Acar, “Adsorption of Reactive Black 5 from an aqueous solution: equilibrium and kinetic studies,” *Desalination*, vol. 194, no. 1–3, pp. 1–10, Jun. 2006.
- [27] C. Umpuch and S. Sakaew, “Removal of methyl orange from aqueous solutions by adsorption using chitosan intercalated montmorillonite,” *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 35, no. 4, 2013.
- [28] K. S. Baig, “Interaction of enzymes with lignocellulosic materials: causes, mechanism and influencing factors,” *Bioresources and Bioprocessing*, vol. 7, no. 1, p. 21, Dec. 2020.
- [29] M. A. M. Salleh, D. K. Mahmoud, W. A. W. A. Karim, and A. Idris, “Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review,” *Desalination*, vol. 280, no. 1–3, pp. 1–13, Oct. 2011.
- [30] A. Özcan, Ç. Ömeroğlu, Y. Erdoğan, and A. S. Özcan, “Modification of bentonite with a cationic surfactant: An adsorption study of textile dye Reactive Blue 19,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 140, no. 1–2, pp. 173–179, Feb. 2007.
- [31] B. H. Hameed and A. A. Ahmad, “Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, no. 2–3, pp. 870–875, May 2009.
- [32] B. H. Hameed, D. K. Mahmoud, and A. L. Ahmad, “Sorption equilibrium and kinetics of basic dye from aqueous solution using banana stalk waste,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 158, no. 2–3, pp. 499–506, Oct. 2008.
- [33] C. Namasivayam, M. D. Kumar, K. Selvi, R. A. Begum, T. Vanathi, and R. Yamuna, “Waste coir pith—a potential biomass for the treatment of dyeing wastewaters,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 21, no. 6, pp. 477–483, Dec. 2001.
- [34] Z. Huang, T. Wang, H. Yi, and X. Li, “Study on the adsorption of methylene blue from dye wastewater by humulus japonicus leaves,” *E3S Web of Conferences*, vol. 236, p. 03028, Feb. 2021.
- [35] P. Boonthawee and W. Chooaksorn, “Comparison of The fluoride adsorption performance of adsorbent,” *Journal of Science and Technology RMUTSB*, vol. 5, no. 1, pp. 95–105, Jul.-Dec. 2017.

- [36] F. Batzias and D. Sidoras, "Dye adsorption by calcium chloride treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 114, no. 1–3, pp. 167–174, Oct. 2004.
- [37] K. Bhattacharyya and A. Sharma, "Kinetics and thermodynamics of methylene blue adsorption on Neem (*Azadirachta indica*) leaf powder," *Dyes and Pigments*, vol. 65, no. 1, pp. 51–59, Apr. 2005.
- [38] A. A. Aryee, C. Gao, R. Han, and L. Qu, "Functionalized magnetic biocomposite based on peanut husk for the efficient sequestration of basic dyes in single and binary systems: Adsorption mechanism and antibacterial study," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 10, no. 4, p. 108205, Aug. 2022.
- [39] D. M. N. H. Jayasuriya and K. Nadarajah, "Understanding association between methylene blue dye and biosorbent: Palmyrah sprout casing in adsorption process in aqueous phase," *Water Science and Engineering*, vol. 16, no. 2, pp. 154–164, Jun. 2023.

## การคัดแยกและยีสต์จากลูกแป้งเพื่อใช้ในการพัฒนาและยกระดับผลิตภัณฑ์สาโทจากข้าวพันธุ์พื้นเมืองบุรีรัมย์และสุรินทร์

ประภาพันธ์ ศิริจันทร์แสง<sup>1\*</sup> ประภัสรา ศิริจันทร์แสง<sup>2</sup> และ ญัฐพงษ์ สวัสดิ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

<sup>2</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

<sup>1</sup>439 ถนนจรัง ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 3100

<sup>2</sup>186 หมู่ 1 ถนนสุรินทร์-ปราสาท ตำบลนอกเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000

รับบทความ 12 มิถุนายน 2566 แก้ไขบทความ 23 พฤศจิกายน 2567 ตอรับบทความ 7 มกราคม 2568

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกและยีสต์จากลูกแป้งให้ได้ราและยีสต์ที่เหมาะสมต่อการผลิตสาโทจากข้าวจีบและข้าวผกาอำปิล โดยนำลูกแป้ง 20 ตัวอย่าง มาคัดแยกราเส้นใยและยีสต์ด้วยวิธี Aerobic plate count (APC) และ Enrichment technique (ET) พบว่าวิธี APC แยกได้ 90 ไอโซเลท และแยกยีสต์ได้ 50 ไอโซเลท แล้วนำราและยีสต์ที่แยกได้ไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมี พบว่าแยกรากที่ต่างกันได้ 6 ไอโซเลท และแยกยีสต์ที่ต่างกันได้ 2 ไอโซเลท และระบุชนิดของเชื้อได้ดังนี้คือ *Aspergillus flavus* *A. oryzae* *A. niger* *Mucor indicus* และ *Saccharomycopsis fibuligera* โดยเชื้อ *A. flavus* และ *S. fibuligera* ที่ได้จะนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยแป้งและใช้ในการผลิตสาโทต่อไป การแยกรารเส้นใยและยีสต์ด้วยวิธี ET สามารถแยกรากได้ทั้งหมด 7 ไอโซเลท และแยกยีสต์ได้ทั้งหมด 115 ไอโซเลท การศึกษาประสิทธิภาพของราในการย่อยแป้งพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณใสของเชื้อ *A. flavus* และ *S. fibuligera* มีค่า  $3.41 \pm 0.22$  และ  $2.93 \pm 0.11$  เซนติเมตรตามลำดับ การผลิตสาโทจากราและยีสต์ที่แยกได้ใช้ความเข้มข้นของราเริ่มต้นเท่ากับ  $0.57 \times 10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร และยีสต์เท่ากับ  $1.00 \times 10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร หมักครบเวลา 3 วัน แล้วผ่านน้ำโดยเติมน้ำเชื่อมความเข้มข้น 16 องศาบริกซ์ ปริมาตร 1.5 ลิตรต่อข้าว 1 กิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักเป็นเวลา 7 วัน พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปิลมีค่าเท่ากับ  $12.73 \pm 0.09$  และ  $13.20 \pm 0.20$  องศาบริกซ์ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเท่ากับ  $137.05 \pm 0.00$  และ  $141.45 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปิล ตามลำดับ ค่า pH เท่ากับ  $3.64 \pm 0.21$  และ  $4.14 \pm 0.09$  ในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปิลตามลำดับ และปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปิลมีค่าเท่ากับ  $4.50 \pm 0.74$  และ  $4.26 \pm 0.32$  เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรตามลำดับ

คำสำคัญ : ลูกแป้ง; สาโท; ข้าวจีบ; ข้าวผกาอำปิล

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 9649 6995, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: prapaparn.sk@bru.ac.th

# Identification of Molds and Yeasts Isolated from Loog Pang for Development and Improvement of Sato Production from Buriram and Surin Indigenous Rice

Prapaparn Sirikhansaeng<sup>1\*</sup> Prapussara Sirikhansaeng<sup>2</sup> and Nuttapon Sawasdee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Science, Buriram Rajabhat University

<sup>2</sup>Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University

<sup>1</sup>439 Jira Road, Naimuang Sub-district, Muang District, Buriram, 31000

<sup>2</sup>186 Moo 1 Surin-Prasat Road, Nok Mueang Subdistrict, Mueang District, Surin, 32000

---

Received 12 June 2023; Revised 23 November 2024; Accepted 7 January 2025

## Abstract

This research aimed to identify molds and yeasts from Loog pang for Sato production from Jib and Paka Umpul rice. A total of 20 Loog pang samples were screened for molds and yeasts, and the results revealed the presence of 90 mold isolates and 50 yeast isolates. The morphological and biochemical characteristics of these isolates were subsequently analyzed. It was found that 6 mold isolates and 2 yeast isolates were identified. The identified species included *Aspergillus flavus*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus niger*, *Mucor indicus*, and *Saccharomycopsis fibuligera*. Following these findings, *A. flavus* and *S. fibuligera* were evaluated for their starch degradation efficiency and Sato production capabilities. From enrichment technique, 7 mold isolates and 115 yeast isolates were established. The starch degradation efficiency of *A. flavus* and *S. fibuligera* was assessed, revealing diameters of  $3.41 \pm 0.22$  cm for *A. flavus* and  $2.93 \pm 0.11$  cm for *S. fibuligera*. For Sato production using both rices, the starter concentrations of *A. flavus* and *S. fibuligera* were used at  $0.57 \times 10^7$  and  $1.00 \times 10^7$  cells/ml, respectively. On the 3<sup>rd</sup> day of fermentation, 1.50 liters of syrup (16.00 °Brix) was added to 1 kg of rice. After fermentation for 7 days, total soluble solids (TTS), reducing sugars (RS), pH, and alcohol content (AC) were evaluated. The results indicated that Jib rice Sato exhibited TTS of  $12.73 \pm 0.09$  °Brix, RS content of  $137.05 \pm 0.00$  g/l, pH of  $3.64 \pm 0.21$ , and an AC of  $4.50 \pm 0.74\%$  (v/v). In contrast, the Paka Umpul rice Sato showed TTS of  $13.20 \pm 0.20$  °Brix, RS at  $141.45 \pm 0.01$  g/l, pH of  $4.14 \pm 0.09$ , and an AC of  $4.26 \pm 0.32\%$  (v/v).

**Keywords :** Loog pang; Sato; Jib rice; Paka Umpul rice

---

\* Corresponding Author. Tel.: +669 9649 6995, E-mail Address: prapaparn.sk@bru.ac.th

## 1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ในการเพาะปลูกข้าว จำนวนทั้งสิ้น 68.86 ล้านไร่ ส่วนใหญ่อยู่ในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือตอนล่าง และภาคกลาง เป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกข้าวที่สำคัญของโลก โดย ปี 2563/2564 ไทยมีผลผลิตข้าวสูงเป็นอันดับ 6 ของ โลก คิดเป็น 3.7% ของผลผลิตข้าวทั่วโลก (รองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนามซึ่งมี สัดส่วนผลผลิต 29.30, 24.10, 7.00, 6.80 และ 5.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) [1] จากข้อมูลเบื้องต้นจะเห็นว่า ประเทศไทยมีศักยภาพและความสามารถในการผลิต และส่งออกค่อนข้างสูง ดังนั้นหากมีการนำผลผลิตข้าวที่ ได้มาทำการแปรรูปให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่มีความ หลากหลายและมีคุณภาพก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญ ที่ช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตของข้าว และช่วยป้องกันปัญหา ผลผลิตข้าวล้นตลาดได้ กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์บ้านลี้มทอง เลขที่ 82/1 หมู่ 4 บ้านลี้มทอง ตำบลหนองโสน อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ มีการผลิตข้าวอินทรีย์ หลากหลายชนิด เช่น ข้าวจีบ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมมะลิ เป็นต้น โดยเฉพาะข้าวจีบซึ่งเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง ของอำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งทางกลุ่มมีการ ดำเนินงานจัดเป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้ให้กับเยาวชนใน ท้องถิ่น และนอกจากนี้ทางกลุ่มยังมีโรงสีข้าวเป็นของ ตนเองเพื่อใช้ในการแปรรูปผลผลิตข้าวออกจำหน่าย โดยผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่ทางกลุ่มจะจำหน่ายในรูปของ ข้าวสารบรรจุถุง ซึ่งทางกลุ่มยังขาดองค์ความรู้ในการ แปรรูปข้าวให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์บ้านลี้มทองแล้ว วิชาทกิจชุมชน แชนทอม ออร์แกนิก ฟาร์ม สุรินทร์ ก็เป็นอีกหนึ่งชุมชนที่ ต้องการองค์ความรู้เพื่อนำมาใช้ในการแปรรูปผลผลิต จากข้าวด้วย โดยวิชาทกิจชุมชน แชนทอม ออร์แกนิก ฟาร์ม สุรินทร์ มีลักษณะการดำเนินงานแบบฟาร์มสเตย์ คือ ให้นักท่องเที่ยวเข้าพักและทำกิจกรรมต่าง ๆ ภายใน ฟาร์ม มีการให้ความรู้ในการทำนาแบบเกษตรกรอินทรีย์

และสามารถชมความหลากหลายของสายพันธุ์ข้าวได้ ทำให้มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเข้าเยี่ยมชม เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ทางวิชาทกิจชุมชน ดังกล่าวยังมีการผลิตและจำหน่ายสาโทจากพันธุ์ข้าว พื้นเมืองที่ผลิตได้เองอีกด้วย ดังนั้นกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ บ้านลี้มทอง และวิชาทกิจชุมชน แชนทอม ออร์แกนิก ฟาร์ม สุรินทร์ จึงมีความต้องการในด้านต่าง ๆ ดังนี้ 1) ผลิตสาโทข้าวพันธุ์พื้นเมืองโดยใช้องค์ความรู้ และ เทคนิคในการผลิตสาโทที่มีคุณภาพได้ 2) ได้สาโทรสชาติ ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค 3) สามารถควบคุมคุณภาพ สาโท ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพได้ตามมาตรฐาน ที่กรมสรรพสามิตกำหนด ซึ่งเป็นการนำไปใช้ประโยชน์ โดยตรงของทั้ง 2 ชุมชน และยังเป็นการสร้างเอกลักษณ์ และอัตลักษณ์ พร้อมทั้งมีการสร้างความหลากหลายใน ชนิดและรสชาติของสาโทอีกด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการ สร้างมูลค่าผลผลิตทางเกษตร และพัฒนาศักยภาพใน การแข่งขัน ซึ่งจะนำไปสู่การพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน ของชุมชนอีกด้วย ดังนั้นหากมีการศึกษาการคิดแยกแยะ และยีสต์จากลูกแบงก์ก็จะสามารถนำราและยีสต์ที่คิด แยกได้มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สาโทให้มีคุณภาพได้ ซึ่งเป็นการสร้างนวัตกรรมสอดรับกับนโยบายการก้าว เข้าสู่ยุคประเทศไทย 4.0 (Thailand 4.0) และยิ่งไปกว่า นั้นการที่ชุมชนทั้ง 2 แห่ง มีการเพาะปลูกข้าวพันธุ์ พื้นเมืองเพื่อการบริโภคและจำหน่ายถือเป็นการอนุรักษ์ พันธุกรรมพืชพื้นถิ่นของประเทศไทย ซึ่งจะสอดคล้อง กับวัตถุประสงค์ของโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอัน เนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) ที่อยากให้ประชาชนชาว ไทยเข้าใจและเห็นความสำคัญของพันธุกรรมพืชและ ทรัพยากร

สาโทเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์พื้นบ้านของ ประเทศไทย ซึ่งมีการผลิตมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การผลิตสาโทให้ได้คุณภาพดีนั้น จะต้องอาศัยปัจจัย หลาก ๆ ประการ เช่น หัวเชื้อแห้งหรือลูกแบงก์ ชนิดของ

พันธุ์ข้าว เป็นต้น ลูกแป้งเป็นกล้าเชื้อที่เก็บในรูปของเชื้อแห้ง ใช้ในการผลิตอาหารหมักหลายชนิดในแถบเอเชีย [2] ในประเทศไทยมีการผลิตลูกแป้งมาแต่โบราณเพื่อใช้ในการทำขนม เช่น ขนมถ้วยฟู ขนมตาล หรือเครื่องดื่มพื้นบ้าน เช่น กระแช่ อุ สาโท เป็นต้น ซึ่งลูกแป้งที่มีคุณภาพดีจะต้องโปร่งเบา สีขาวนวล ไม่มีรอยแตกร้าว ก้อนแป้งเป็นรูปพวงซึ่งเกิดจากการพองแป้งขณะบ่ม เมื่อใช้มือบีบจะร่วนเป็นผงละเอียดได้ง่ายไม่มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว มีรูปร่างและลักษณะแตกต่างกัน ภายในมีเส้นใยราขึ้นอยู่อย่างสม่ำเสมอ [2]-[4] ซึ่งกระบวนการหมักสาโททำโดยการนำข้าวเหนียวมาึ่ง จากนั้นล้างเมือกข้าวออกแล้วนำไปตากให้สะเด็ดน้ำ คลุกเคล้าด้วยหัวเชื้อแห้ง หมักทิ้งไว้ประมาณ 10-14 วัน โดยราที่อยู่ในลูกแป้งจะทำการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และยีสต์จะช่วยย่อน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งจะมีแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรี โดยสาโทเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดไวน์ข้าว (Rice wine) [5] นอกจากนี้ยีสต์และรายังมีความสามารถในการใช้น้ำตาลและแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกันและจะมีช่วงระยะเวลาในการเจริญที่แตกต่างกัน [2], [4] ซึ่งยีสต์และรายังเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อรสชาติของสาโท [4] และการใช้ลูกแป้งไม่สามารถควบคุมคุณภาพของสาโทให้คงที่ได้ เนื่องจากกระบวนการผลิตลูกแป้งแบบดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมคุณภาพทางกายภาพ เคมี และชีวภาพให้คงที่ได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการทำลูกแป้ง สภาพอากาศ ระดับความชื้นสัมพัทธ์ ตลอดจนการจัดเก็บรักษาลูกแป้งที่ไม่เหมาะสมเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนและการสูญเสียจุลินทรีย์ที่จำเป็นต่อการหมัก การผลิตสาโทจากจุลินทรีย์บริสุทธิ์จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการควบคุมคุณภาพของสาโทให้มีมาตรฐานได้ [6] หากมีการศึกษาการคัดแยกราและยีสต์จากลูกแป้งก็จะสามารถนราและยีสต์ที่คัดแยกได้ไปผลิตเป็นสาโทที่มีคุณภาพได้ เนื่องจากการใช้เชื้อบริสุทธิ์จะทำให้คุณภาพของสาโทคงที่กว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์ผสม (Mixed culture) ที่อยู่ในลูกแป้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการคัดแยกราและ

ยีสต์จากลูกแป้งในจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดสุรินทร์ เพื่อให้ได้ราและยีสต์ที่เหมาะสมต่อการผลิตสาโทข้าวพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดบุรีรัมย์และสุรินทร์ให้ได้คุณภาพ

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 การสุ่มเก็บตัวอย่างลูกแป้ง

สุ่มเก็บตัวอย่างลูกแป้งที่ใช้ในการผลิตสาโทในจังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดสุรินทร์ โดยเก็บลูกแป้งแหล่งละ 10 ลูก และเก็บรักษาในถุงพลาสติกซิปล็อค เพื่อแยกไม่ให้ปะปนกัน หลังจากนั้นนำลูกแป้งมากำหนดรหัส และนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หรือจนกว่าจะนำไปทำการคัดแยกราและยีสต์ต่อไป

### 2.2 การจำแนกราสั้นใยและยีสต์จากลูกแป้งโดยวิธี Aerobic plate count

นำลูกแป้งมาบดในโถรงบดที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ โดยบดให้ละเอียด จากนั้นจึงชั่งลูกแป้งที่ทำการบดแล้ว 10 กรัม ลงใน 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ เจือจางทีละ 10 เท่า จนได้ระดับการเจือจางที่  $10^{-1}$ - $10^{-6}$  ถ่ายตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนผิวหน้าอาหารแข็ง YM (Yeast Malt agar) สำหรับเลี้ยงยีสต์ PDA (Potato dextrose agar) สำหรับเลี้ยงราเส้นใย และ DRBC (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol agar) สำหรับนับจำนวนยีสต์และราเส้นใย เกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วผิวหน้าอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนี คัดเลือกโคโลนีของราเส้นใยและยีสต์ จากนั้นนำโคโลนีที่ทำการคัดเลือกมาทำการชิตลากลงบนอาหารแข็ง YM และ PDA โดยทำเช่นนี้จำนวน 3 ซ้ำ หรือจนกระทั่งได้เชื้อบริสุทธิ์ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาต่อไป (ดัดแปลงจาก [3], [7])

### 2.2.1 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราเส้นใยที่คัดแยกได้

นำราเส้นใยที่คัดแยกได้จากข้อ 2.2 มาศึกษาการเจริญบนอาหารแข็ง PDA และศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ด้วยการเลี้ยงราโดยใช้เทคนิค slide culture

### 2.2.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยีสต์ที่คัดแยกได้

นำยีสต์ที่คัดแยกได้จากข้อ 2.2 ที่เจริญบนอาหารแข็ง YM อายุ 24 ชั่วโมง มาทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยดูสี และลักษณะโคโลนีเมื่อเจริญบนอาหารแข็ง ดูลักษณะการเจริญในอาหารเหลว รูปร่างการเรียงตัว และการเพิ่มจำนวนของเซลล์

### 2.2.3 การคัดเลือกราเส้นใยที่มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้ง

นำเชื้อที่คัดแยกได้จากข้อ 2.2 มาถ่ายลงจุดกึ่งกลางของอาหารแข็ง PDA บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 มิลลิเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วกดลงไปบนบริเวณขอบของโคโลนีของเชื้อ ใช้เข็มถ่ายเชื้อเกี่ยวขึ้นวันที่มีเส้นใยวางตรงกลางอาหารเพาะเชื้อ starch agar 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นราดสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ท่วมผิวหน้าอาหาร ทิ้งไว้ 1 นาที จึงเทสารละลายออกวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใส (ดัดแปลงจาก [3], [7])

### 2.2.4 การคัดเลือกยีสต์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้ง

นำเชื้อที่คัดแยกได้จากข้อ 2.3 มาเพาะเลี้ยงในขวดอาหารเหลว YM ปริมาตร 50 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อแบบ point inoculation 4 จุด ลงบนอาหาร

แข็ง YM ที่มี starch agar 1 เปอร์เซ็นต์ (w/v) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นราดสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ท่วมผิวหน้าอาหาร ทิ้งไว้ 1 นาที จึงเทสารละลายออกวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสของเชื้อแต่ละไอโซเลทใส (ดัดแปลงจาก [7], [8])

## 2.3 การแยกราเส้นใยและยีสต์จากลูกแป้งโดยวิธี Enrichment technique

บดตัวอย่างลูกแป้ง 1 กรัมใส่ลงในข้าวพันธุ์พื้นเมืองบุรีรัมย์และสุรินทร์ที่นึ่งสุกแบบปลอดเชื้อ 50 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน เติมน้ำในช่วงการหมักวันที่ 3 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างวันที่ 1, 3, 5, 7 และ 9 มาคัดแยกราเส้นใยและยีสต์ โดยเก็บตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเจือจางต่อในระดับต่าง ๆ จากนั้นจึงถ่ายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร อาหารแข็ง YM และ PDA แล้วเกลี่ยตัวอย่างให้ท่วมผิวหน้าอาหาร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง คัดเลือกโคโลนีของราเส้นใยและยีสต์ จากนั้นนำโคโลนีที่ทำการคัดเลือกมาทำการซิดลากลงบนอาหารแข็ง YM และ PDA โดยทำเช่นนี้ จำนวน 3 ซ้ำ หรือจนกระทั่งได้เชื้อบริสุทธิ์ [8]

## 2.4 การผลิตสาโทจากเชื้อราและยีสต์ที่คัดแยกได้

นำข้าวพันธุ์พื้นเมืองบุรีรัมย์และสุรินทร์อย่างละ 1 สายพันธุ์มาทำให้สุก จากนั้นล้างยางข้าวออกด้วยน้ำสะอาดจนหมดยางข้าว นำไปผึ่งลมให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำกล้าเชื้อที่ได้จากการคัดแยกมาโรยลงบนข้าวพื้นเมือง โดยแปรผันกล้าเชื้อ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ต่อข้าวพันธุ์พื้นเมือง 1 กิโลกรัม คลุกเคล้าให้ผสมกับข้าวให้เข้ากันดี จากนั้นนำไปบรรจุลงในถังหมัก เมื่อหมักจนถึงวันที่ 3 เติมน้ำสะอาดต้มสุกที่เย็นแล้ว เติมน้ำลงไปในอัตราส่วนข้าวเหนียว 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 1.5 ลิตร โดย

ค่อย ๆ รินน้ำต้มสุกลงในถังหมักเบา ๆ เพื่อไม่ให้ก้อนข้าวสาโทแตก ก่อนจะปิดฝา และหมักทิ้งไว้อีก 5-12 วัน รวมระยะเวลาในการหมักทั้งสิ้นเป็นเวลา 7-14 วัน

## 2.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสาโท

### 2.5.1 วัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid, TSS)

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วย Hand refractometer โดยดูตัวอย่างสาโทที่ต้องการวัดหยดลงบนแผ่นปริซึม 1-2 หยด ปิดฝาครอบและอ่านค่าตรงระดับเส้นรอยต่อที่ตัดกับพื้นสีฟ้า [9]

### 2.5.2 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้พีเอชมิเตอร์

### 2.5.3 วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์

วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่อง Ebulliometer โดยการหาจุดเดือดของน้ำกลั่นเปรียบเทียบกับจุดเดือดของสาโท [10]

### 2.5.4 วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Somogyi-Nelson

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยเตรียมสารละลาย Somogyi I สารละลาย Somogyi II และสารละลาย Nelson จากนั้นจึงเจือจางตัวอย่างสาโทแต่ละชนิดโดยใช้น้ำกลั่น ดูดสารตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง เติมสารละลายผสม Somogyi (Somogyi I : Somogyi II ในอัตราส่วน 4 ต่อ 1) 2 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ ปิดปากหลอดทดลองด้วยลูกแก้วเพื่อลดการระเหยของน้ำ นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการต้มไปแช่ในอ่างน้ำแข็ง เติมสารละลาย Nelson ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที เติมน้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าการ

ดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร โดยเทียบกับแบลนด์อ่านค่าความเข้มข้นของกลูโคสจากกราฟมาตรฐาน (Glucose anhydrous) โดยทำตัวอย่างละ 2 ซ้ำ [11]

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

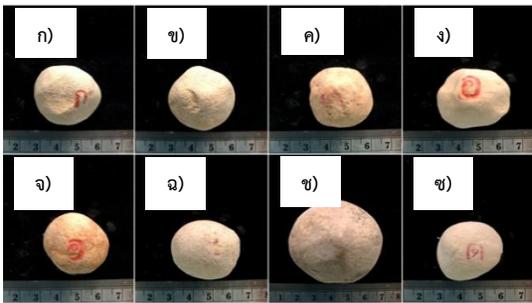
### 3.1 การสุ่มเก็บตัวอย่างลูกแป้ง

ทำการเก็บตัวอย่างลูกแป้งสาโทในจังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดสุรินทร์ได้จำนวน 20 ตัวอย่าง ซึ่งก่อนที่จะทำการศึกษาได้ทำการกำหนดรหัสลูกแป้งและถ่ายภาพ โดยลักษณะทั่วไปของลูกแป้งมีสีขาว ลักษณะกลม ไม่มีกลิ่น บางลูกมีเชื้อราสีดำเกาะที่ผิว มีขนาดประมาณ 2.50-4.00 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรหัสของตัวอย่างลูกแป้งสาโทที่เก็บตัวอย่างในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดสุรินทร์

| รหัสลูกแป้ง | แหล่งตัวอย่างลูกแป้ง                        |
|-------------|---|
| SR1         | ลูกแป้งสาโทคุณสุแทน จังหวัดสุรินทร์         |
| SR2         | ลูกแป้งจากร้านร้านนครเดช จังหวัดสุรินทร์    |
| SR3         | ลูกแป้งสาโทจากร้านนิวชอบ จังหวัดสุรินทร์    |
| SR4         | ลูกแป้งสาโทจากอำเภอบัวเขต จังหวัดสุรินทร์   |
| SR5         | ลูกแป้งสาโทจากร้านเทพอำนวย จังหวัดสุรินทร์  |
| SR6         | ลูกแป้งสาโทจากเกษตรภัณฑ์ จังหวัดสุรินทร์    |
| SR7         | ลูกแป้งสาโทจากร้านพูนศักดิ์ จังหวัดสุรินทร์ |
| SR8         | ลูกแป้งสาโทจากบ้านตุม จังหวัดสุรินทร์       |
| SR9         | ลูกแป้งสาโทจากอำเภอปราสาท 1 จังหวัดสุรินทร์ |
| SR10        | ลูกแป้งสาโทจากอำเภอปราสาท 2 จังหวัดสุรินทร์ |
| SR11        | ลูกแป้งสาโทจากดอนขุนพรม จังหวัดสุรินทร์     |
| SR12        | ลูกแป้งสาโทจากสาโทอัย จังหวัดสุรินทร์       |

| รหัสลูกแป้ง | แหล่งตัวอย่างลูกแป้ง                                 |
|-------------|--|
| SR13        | ลูกแป้งสาโทจากบ้านเบอะซุ่น<br>จังหวัดสุรินทร์        |
| SR14        | ลูกแป้งสาโทจากบ้านขาม<br>จังหวัดสุรินทร์             |
| SR15        | ลูกแป้งสาโทจากคุณโสธนัญ เสรีวัฒน์<br>จังหวัดสุรินทร์ |
| SR16        | ลูกแป้งสาโทจากร้านองไถ่ จังหวัดสุรินทร์              |
| SR17        | ลูกแป้งสาโทจากบ้านระแงง<br>จังหวัดสุรินทร์           |
| BR1         | ลูกแป้งสาโทจากบ้านหนองนางดำ<br>จังหวัดบุรีรัมย์      |
| BR2         | ลูกแป้งสาโทจากคุณภัทรภร มาตา<br>จังหวัดบุรีรัมย์     |
| BR3         | ลูกแป้งสาโทจากอำเภอลำตวน<br>จังหวัดบุรีรัมย์         |



รูปที่ 1 ตัวอย่างลูกแป้งที่นำมาทดสอบ โดยที่ (ก) คือ รหัส SR1 (ข) คือ รหัส SR2 (ค) คือ รหัส SR7 (ง) คือ รหัส SR8 (จ) คือ รหัส SR9 (ฉ) คือ รหัส SR11 (ช) คือ รหัส BR17 และ (ซ) คือ รหัส BR19

### 3.2 การจำแนกราสั้นใยและยีสต์จากลูกแป้งโดยวิธี Aerobic plate count

ผลการจำแนกชนิดของราและยีสต์จากลูกแป้งจำนวน 20 ตัวอย่าง ที่เก็บในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดสุรินทร์โดยการนำมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA, YM และอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC ที่ระดับความเจือจางของเชื้อที่  $10^{-3}$ - $10^{-5}$  ตามลำดับ พบว่า ในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA สามารถคัดแยกได้ 30 ไอโซเลท และคัดแยกยีสต์ได้ 17

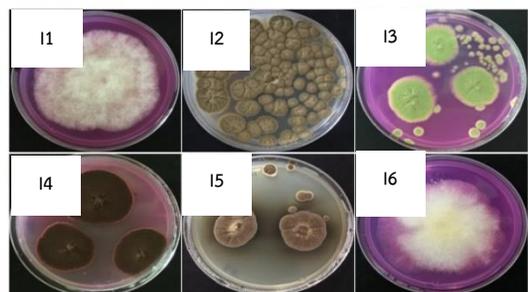
ไอโซเลท อาหารเลี้ยงเชื้อ YM สามารถคัดแยกได้ 26 ไอโซเลท และคัดแยกยีสต์ได้ 24 ไอโซเลท ส่วนอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC สามารถคัดแยกได้ 34 ไอโซเลท และคัดแยกยีสต์ได้ 9 ไอโซเลท โดยการจำแนกราสั้นใยและยีสต์จากลูกแป้งโดยวิธี Aerobic plate count แสดงดังรูปที่ 2 จากนั้น ราที่คัดแยกได้นี้จะถูกนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาต่อไป



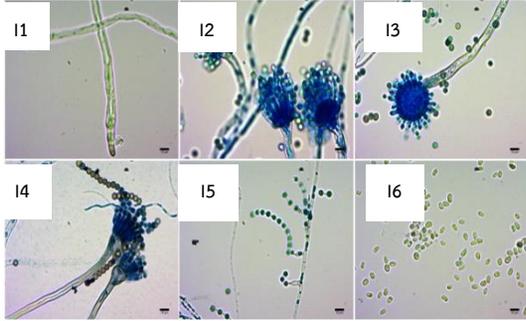
รูปที่ 2 เชื้อที่คัดแยกได้จากลูกแป้งโดยที่ ก) คือ เชื้อราและยีสต์ที่แยกได้จากลูกแป้งที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ข) คือ เชื้อราและยีสต์ที่แยกได้จากลูกแป้งที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ YM และ ค) คือ เชื้อราและยีสต์ที่แยกได้จากลูกแป้งที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC

#### 3.2.1 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราเส้นใยที่แยกได้

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของราภายใต้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้เทคนิค slide culture โดยนำเชื้อราที่คัดแยกได้จากลูกแป้งในข้อ 2 มาย้อมด้วยสี Lactophenol cotton blue พบว่าสามารถจำแนกเชื้อราได้เป็น 6 ไอโซเลท โดยกำหนดรหัสของเชื้อราในแต่ละไอโซเลทเป็นเชื้อรหัสน I1-16 ดังแสดงในรูปที่ 3 และผลจากการศึกษาลักษณะเส้นใย ลักษณะสปอร์ และโครงสร้างของเชื้อราในแต่ละไอโซเลทภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ลักษณะของเชื้อราที่คัดแยกได้จากลูกแป้ง



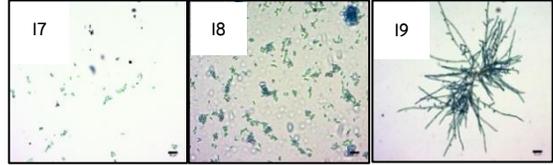
รูปที่ 4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของสปอร์จากเชื้อราที่คัดแยกได้

### 3.2.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยีสต์ที่คัดแยกได้

ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยนำเชื้อยีสต์ที่คัดแยกได้จากลูกแบ่งในข้อ 3.2 มาย้อมด้วยสี lactophenol cotton blue พบว่าสามารถจำแนกเชื้อยีสต์ได้เป็น 2 ไอโซเลท คือ เชื้อรหัส 17 และ 19 โดยไอโซเลท 17 มีรูปร่างกลมหรือรูปไข่ ส่วนไอโซเลท 19 มีลักษณะเป็นเส้นใย และไม่สามารถระบุชนิดได้จำนวน 1 ไอโซเลท คือเชื้อรหัส 18 (รูปที่ 5 และรูปที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kanlayakrit et al. [12] ที่ศึกษาการจัดจำแนกยีสต์และราที่แยกได้จากลูกแบ่งเพื่ออุตสาหกรรมสาโท โดยพบว่าสามารถคัดแยกยีสต์ได้ 3 ไอโซเลท และยีสต์ที่คัดแยกได้มีรูปร่างกลมหรือรูปไข่เช่นเดียวกับยีสต์ที่คัดแยกได้จากการศึกษาในครั้งนี้



รูปที่ 5 ลักษณะของเชื้อยีสต์และแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากลูกแบ่ง



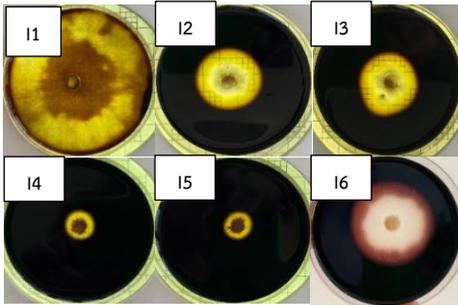
รูปที่ 6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของเชื้อยีสต์และแบคทีเรียที่คัดแยกได้

จากนั้นนำเชื้อที่คัดแยกได้มาทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมี พบว่าสามารถคัดแยกเชื้อราที่แตกต่างกันได้ทั้งหมด 6 ไอโซเลท และยีสต์ 2 ไอโซเลท โดยระบุชนิดของเชื้อได้ดังนี้คือ *Aspergillus flavus*, *A. oryzae*, *A. niger*, *Mucor indicus* และ *Saccharomycopsis fibuligera* ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chay et al. [3] ที่พบว่าเชื้อราที่คัดแยกได้จาก *medombae* ได้แก่ *Rhizopus oryzae* และ *Mucor spp.* จะมีประสิทธิภาพในการย่อยแป้ง ส่วนยีสต์จะเป็นจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นแอลกอฮอล์

### 3.2.3 การคัดเลือกราเส้นใยที่มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้ง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราในการย่อยแป้งจะสังเกตได้จากบริเวณที่แป้งถูกย่อยเห็นเป็นบริเวณใส (clear zone) เมื่อรดด้วยสารไอโอดีน บริเวณที่ไม่เกิดการย่อยจะมีแป้งหลงเหลืออยู่ ดังนั้นแป้งก็จะทำปฏิกิริยากับไอโอดีนเกิดเป็นสีน้ำเงินเข้ม พบว่าเชื้อรหัส 11 มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งมากที่สุดโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสเท่ากับ  $8.83 \pm 0.15$  เซนติเมตร รองลงมาคือเชื้อรหัส 12, 13, 14 และ 15 โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสเท่ากับ  $3.41 \pm 0.22$ ,  $3.20 \pm 0.20$ ,  $1.95 \pm 0.13$  และ  $1.13 \pm 0.11$  เซนติเมตรตามลำดับ ส่วนเชื้อรหัส 16 ไม่พบการย่อยแป้ง (รูปที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chay et al. [3] ที่พบว่า

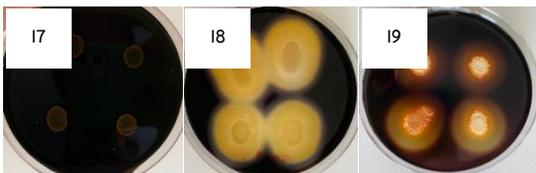
เชื้อราที่คัดแยกได้จาก medombae ได้แก่ *Rhizopus oryzae* และ *Mucor spp.* จะมีประสิทธิภาพในการย่อยแป้ง ส่วนยีสต์จะเป็นจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของเชื้อราในการย่อยแป้งในแต่ละไอโซเลท

### 3.2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อยีสต์ในการย่อยแป้ง

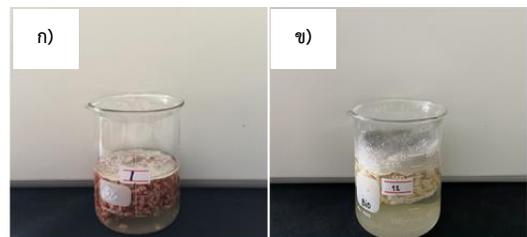
จากการทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อยีสต์ในการย่อยแป้ง พบว่าเชื้อรหัส 19 มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งมากที่สุด โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสเฉลี่ยเท่ากับ  $2.93 \pm 0.11$  เซนติเมตร ตัวอย่างเชื้อรหัส 17 ไม่พบการย่อยแป้ง และเชื้อรหัส 18 มีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสเฉลี่ยเท่ากับ  $3.56 \pm 0.07$  เซนติเมตร ดังแสดงผลในรูปที่ 8 แต่จากการศึกษาลักษณะทางฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเชื้อรหัส 18 ไม่สามารถระบุชนิดได้



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพของเชื้อยีสต์และแบคทีเรียในการย่อยแป้ง

### 3.3 การแยกราเส้นใยและยีสต์จากลูกแป้งโดยวิธี Enrichment technique

ผลการคัดแยกลูกแป้งจำนวน 20 ตัวอย่างในข้าวจีบและข้าวผกอำปี้ล ซึ่งเก็บตัวอย่างในวันที่ 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ โดยทำการเก็บตัวอย่าง ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ที่ระดับความเจือจาง  $10^{-3}$ - $10^{-5}$  ตามลำดับ มาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA และ YM ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างจากข้าวจีบที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหาร PDA สามารถแยกราเส้นใยได้ 2 ไอโซเลท และยีสต์ได้ 28 ไอโซเลท ในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM สามารถแยกราเส้นใยได้ 2 ไอโซเลท และยีสต์ได้ 28 ไอโซเลท ส่วนข้าวผกอำปี้ลในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA สามารถแยกราเส้นใยได้ 2 ไอโซเลท และยีสต์ได้ 29 ไอโซเลท ในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM สามารถแยกราเส้นใยได้ 1 ไอโซเลท และยีสต์ได้ 30 ไอโซเลท โดยการแยกราเส้นใยและยีสต์จากลูกแป้งโดยวิธี Enrichment technique แสดงดังรูปที่ 9



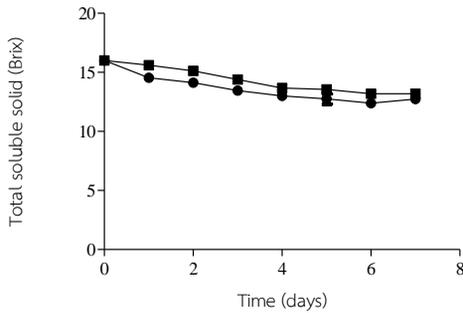
รูปที่ 9 การคัดแยกราเส้นใยและยีสต์จากลูกแป้งโดยวิธี Enrichment technique โดยที่ ก) คือ ข้าวจีบ ข) คือ ข้าวผกอำปี้ล

### 3.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสาโท

#### 3.4.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดพบว่า ในวันที่ 1 จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ  $14.53 \pm 0.25$  และ  $15.60 \pm 0.28$  องศาบริกซ์ในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกอำปี้ลตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 7

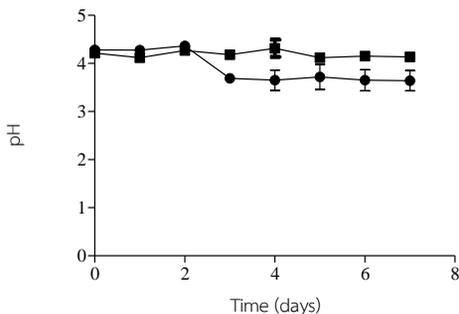
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปี้ล จะมีค่าเท่ากับ  $12.73 \pm 0.09$  และ  $13.20 \pm 0.20$  องศาบริกซ์ แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสาโท โดยที่ (●) คือ สาโทข้าวจีบ และ (■) คือ สาโทข้าวผกาอำปี้ล

### 3.4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

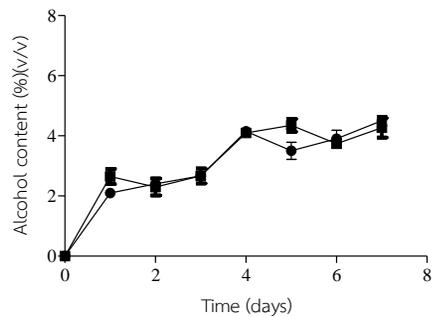
จากการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าตลอดระยะเวลาที่ทำการหมักค่า pH มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ในสาโทข้าวจีบจะมีค่า pH น้อยกว่าสาโทข้าวผกาอำปี้ล โดยในวันแรกที่ทำการทดลองพบว่าในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปี้ลมีค่า pH เท่ากับ  $4.28 \pm 0.01$  และ  $4.21 \pm 0.06$  ตามลำดับ และในวันสุดท้ายของการหมักมีค่า pH เท่ากับ  $3.64 \pm 0.21$  และ  $4.14 \pm 0.09$  ในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปี้ล ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสาโท โดยที่ (●) คือ สาโทข้าวจีบ และ (■) คือ สาโทข้าวผกาอำปี้ล

### 3.4.3 ปริมาณแอลกอฮอล์

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์พบว่าตลอดระยะเวลาที่ทำการหมักเป็นระยะเวลา 10 วัน ปริมาณแอลกอฮอล์ในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปี้ลจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาที่ทำการหมัก โดยในวันที่ 1 สาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปี้ลมีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ  $2.10 \pm 0.10$  และ  $2.65 \pm 0.25$  เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปี้ลมีค่าเท่ากับ  $4.50 \pm 0.74$  และ  $4.26 \pm 0.32$  เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโท โดยที่ (●) คือ สาโทข้าวจีบ และ (■) คือ สาโทข้าวผกาอำปี้ล

### 3.4.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี Somogyi-Nelson

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เมื่อเริ่มต้นกระบวนการหมักในวันที่ 0 (วันที่ 3 ของการหมัก) พบว่ามีค่าเท่ากับ  $78.03 \pm 0.01$  และ  $66.28 \pm 0.00$  กรัมต่อลิตร ในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปี้ลตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปี้ลมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ  $137.05 \pm 0.00$  และ  $141.45 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตรตามลำดับ

จากการคัดเลือกเชื้อรา *Aspergillus flavus* และ ยีสต์ *Saccharomycopsis fibuligera* ที่ได้จากการคัด แยกนำมาใช้การหมักสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกา อำปิล เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยในข้าวจีบใช้ความ เข้มข้นของ เชื้อราเริ่มต้นเท่ากับ  $0.57 \times 10^7$  เซลล์ต่อ มิลลิลิตร และยีสต์เท่ากับ  $1.00 \times 10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนข้าวผกาอำปิลใช้ความเข้มข้นของเชื้อราเริ่มต้น เท่ากับ  $0.52 \times 10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร และยีสต์  $1.00 \times 10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด ผลการทดลองพบว่าในวันที่ 0 มีค่ามากที่สุด คือ 16 องศาบริกซ์ในสาโททั้ง 2 ชนิด โดยการเติมน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้น 16 องศาบริกซ์ รองลงมาคือ วันที่ 1 ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะลดลง เล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 14.60 และ 15.60 องศาบริกซ์ ในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปิลตามลำดับ ซึ่งจาก การศึกษาพบว่าในช่วงแรกเชื้อราจำพวก *Amylomyces* sp., *Actinomucor* sp., *Aspergillus niger*., *Aspergillus* sp., *Mucor* sp., *Monascus* sp., *Penicilium* sp. และ *Rhizopus* sp. จะเปลี่ยนแบ่งไปเป็นน้ำตาลทำให้ในช่วงแรกของการหมักสาโทจะมีปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมดสูงกว่าช่วงท้ายของการทดลอง [13]-[16] แต่ เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด จะลดลงเนื่องจากจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ ส่วน เชื้อ *S. fibuligera* ที่ได้จากการคัดแยกจัดเป็นเชื้อที่มีความ สำคัญต่ออุตสาหกรรมหมัก เนื่องจากมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการ ย่อยสลายสารอาหารจากลูกแป้ง เช่น  $\alpha$ -amylase, glucoamylase, protease และ  $\beta$ -glucosidase จาก การศึกษาของ Chay et al. [3] พบว่ามีการเติมน้ำเชื่อม ในขั้นตอนการผ่านน้ำเช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากในข้าวเจ้ามีปริมาณแป้งค่อนข้างน้อย และ เพื่อช่วยเสริมให้รสชาติสาโทดีขึ้น จากนั้นปริมาณ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะค่อนข้างลดลงตลอด ระยะเวลาที่ทำการหมัก โดยในวันสุดท้ายของการหมัก

พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสาโทข้าวจีบ และสาโทข้าวผกาอำปิลมีค่าเท่ากับ  $12.73 \pm 0.09$  และ  $13.20 \pm 0.20$  องศาบริกซ์ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Kudpeng et al. [17] คือปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ทั้งหมดจะลดลง โดยพบว่าปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมดของสาโทข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเท่ากับ 6 องศาบริกซ์ แต่งานวิจัยในครั้งนี้มีปริมาณของแข็งที่ ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าเนื่องจากการเติมน้ำเชื่อมใน ขั้นตอนการผ่านน้ำ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าในวันที่ 0 (วันที่ 3 ของการหมัก) มีค่าเท่ากับ  $78.03 \pm 0.01$  และ  $66.28 \pm 0.00$  กรัมต่อลิตร ในสาโท ข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปิล ตามลำดับ และเมื่อ สิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่ามีค่าเท่ากับ  $137.05 \pm 0.00$  และ  $141.45 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตรในสาโทข้าวจีบและ สาโทข้าวผกาอำปิลตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณกรด ทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าเท่ากับ  $19.99 \pm 0.74$  และ  $7.08 \pm 0.34$  กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรใน สาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปิลตามลำดับ การวิเคราะห์ค่า pH ในสาโทข้าวจีบและสาโทข้าวผกา อำปิล พบว่าในวันที่ 1 ของการหมักมีค่าเท่ากับ  $4.28 \pm 0.01$  และ  $4.21 \pm 0.06$  ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุด กระบวนการหมักสาโทในวันที่ 7 พบว่ามีค่าเท่ากับ  $3.64 \pm 0.21$  และ  $4.14 \pm 0.09$  ในสาโทข้าวจีบและสาโท ข้าวผกาอำปิลตามลำดับ ซึ่งในกระบวนการหมักสาโทค่า pH เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการหมัก โดยค่า pH ที่ เหมาะสมต่อการหมักควรอยู่ในช่วง 2.8-3.8 ซึ่งจะ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ และเพื่อ ป้องกันไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญได้ [17] ผลการ วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาของการหมัก เมื่อ สิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโท ข้าวจีบและสาโทข้าวผกาอำปิลมีค่าเท่ากับ  $4.50 \pm 0.17$  และ  $4.26 \pm 0.32$  เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยการ เพิ่มขึ้นของปริมาณแอลกอฮอล์จะสอดคล้องกับการ

ลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดกระบวนการหมัก เนื่องจากเชื้อยีสต์จำพวก *Saccharomycopsis fibuligera*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Issatchenkia orientaris*, *Candida rhagii*, *C. glabrata*, *Torulaspota globose*, *Rhodotorula philyla*, *Trichosporon asahii*, *T. delbrueckii*, *Pichia anomala*, *P. burtonii*, *P. fabianii*, *P. Mexicana* และ *P. heimii* จะเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ [13]-[16]

#### 4. สรุป

จากการคัดแยกเชื้อราและยีสต์จากลูกแป้งสาโทเพื่อใช้ในการพัฒนาและยกระดับผลิตภัณฑ์สาโทข้าวฉ่ำและสาโทข้าวผกาอำปี้ล จำนวน 20 ตัวอย่าง พบว่า 1) วิธี Aerobic plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA, YM และ DRBC พบว่าสามารถคัดแยกเชื้อราได้ทั้งหมด 90 ไอโซเลท และคัดแยกเชื้อยีสต์ได้ทั้งหมด 50 ไอโซเลท เมื่อนำเชื้อราที่คัดแยกได้ไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าสามารถจำแนกเชื้อราได้ 6 ไอโซเลท และจำแนกยีสต์ได้เป็น 2 ไอโซเลท คือ *A. flavus*, *A. oryzae*, *A. niger*, *M. indicus* และ *S. fibuligera* 2) การศึกษาประสิทธิภาพของการย่อยแป้ง พบว่าเชื้อราหัส 11 มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งมากที่สุดโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสเฉลี่ยเท่ากับ  $8.83 \pm 0.15$  เซนติเมตร รองลงมาคือเชื้อราหัส 12, 13, 14 และ 15 ตามลำดับ ส่วนเชื้อราหัส 16 ไม่พบการย่อยแป้ง 3) การคัดแยกราเส้นใยและยีสต์จากลูกแป้งโดยวิธี Enrichment technique จำนวน 20 ตัวอย่าง พบว่า สามารถคัดแยกเชื้อราได้ทั้งหมด 7 ไอโซเลท และคัดแยกเชื้อยีสต์ได้ทั้งหมด 115 ไอโซเลท 4) การผลิตสาโทจากเชื้อราและยีสต์ที่คัดแยกได้ ผลการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสาโทข้าวฉ่ำและสาโทข้าวผกาอำปี้ล มีค่าเท่ากับ  $12.73 \pm 0.09$  และ  $13.20 \pm 0.20$  องศาบริกซ์ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเท่ากับ  $137.05 \pm 0.00$  และ  $141.45 \pm 0.01$  กรัมต่อลิตร ในสาโท

ข้าวฉ่ำและสาโทข้าวผกาอำปี้ลตามลำดับ ค่า pH มีค่าเท่ากับ  $3.64 \pm 0.21$  และ  $4.14 \pm 0.09$  ในสาโทข้าวฉ่ำและสาโทข้าวผกาอำปี้ลตามลำดับ และปริมาณแอลกอฮอล์ของสาโทข้าวฉ่ำและสาโทข้าวผกาอำปี้ลมีค่าเท่ากับ  $4.50 \pm 0.74$  และ  $4.26 \pm 0.32$  เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรตามลำดับ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก เครือข่ายอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ในการทำ การวิจัย นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนายสุแทน สุขจิตร ประธานวิสาหกิจชุมชนแซตตอม ออร์แกนิก ฟาร์ม จังหวัดสุรินทร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ลูกแป้งที่นำมาใช้ในการทำการวิจัยในครั้งนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Sowcharoensuk, "Business trends/industry 2022-2024: Rice industry," [Online]. Available: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/rice/io/io-rice-2022>. [Accessed: Mar. 11, 2024].
- [2] *Research report*, "Role of yeast and mold from Loog-Pang for rice fermentation" *Rajamangala University of Technology Thanyaburi*, Pathum Thani, 2005.
- [3] C. Chay, E. I. Dizon, F. B. Elegado, C. Norng, W. A. Hurtada, and L. C. Raymundo, "Isolation and identification of mold and

- yeast in medombae, a rice wine starter culture from Kompong Cham Province, Cambodia,” *Food Research*, vol. 1, no. 6, pp. 213-220, 2017.
- [4] W. Kanlayakrit, and S. Boornasawettathrum, “Identification of yeasts and molds isolated from Thai tradition fermentation starter (Lookpang) for Sato industry,” in *Proceedings of 43th Kasetsart University Annual Conference*, Kasetsart University, Thailand, 2005, pp. 1-8.
- [5] P. Sirikhansaeng, P. Phuakkaew, and N. Sirisanguan, “Effects of Sato from various rice color on the inhibition of growth in *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*,” *Koch Cha Sam Journal of Science*, vol. 39, no. 21, pp. 121-135, 2017.
- [6] O. Deesuth, A. Samneing, P. Laopaiboon, K. Wechgama, and L. Laopaiboon, “Decrease in ethanol fermentation time for Sato making by *Rhizopus sp.* and mixed cultures of yeasts”, *KKU Research Journal*, vol. 15, no. 7, pp. 670-678, 2010.
- [7] *Research project*, “Riceberry Sato (rice wine) production using mixed pure culture that isolated from Loog-Pang,” *Huachiew Chalermprakiet University*, Samut Prakan, Thailand, 2015.
- [8] J. Yodtheon, W. Chantarapanont, and H. Rimkeeree, “Screening pure cultures by testing starch hydrolysis and alcohol fermentation for developing sweeten rice (Khaomak) beverage,” in *Proceedings of 48th Kasetsart University Annual Conference*, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 2010, pp. 3-5.
- [9] P. Sirikhansaeng, J. Koedlap, and W. Nukadram, “Glutinous rice Fermented Vinegar Production from *Acetobacter pasteurianus* TISTR 102,” *YRU Journal of Science and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 1-9, 2021.
- [10] K. Saelim, S. Junmuen, and K. Lueanprasert, “Chemical Change During Mulberry Wine Fermentation and Consumer’s Satisfaction,” *Agricultural Science Journal*, vol. 49, no. 1(Suppl.), pp. 612-616, 2018.
- [11] P. Danvirutai and P. Laopaiboon, “Fruit wine and Sato: How to produce with confidence?,” 2nd ed. Khonkaen: Klungnana Printing, 2006, pp. 47-48.
- [12] W. Kanlayakrit, W. Changpha, M. Rodprapakorn, and P. Sirirote, “Study of mixed culture for Thai traditional fermentation starter (Loog-Pang) production”, in *Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference*, Thailand, 2012, pp. 1-9.
- [13] S. Limtong, S. Sintara, P. Suwanarit, and N. Lotong, “Yeast Diversity in Thai traditional fermentation starter (Loog-pang),” *Kasetsart Journal (Nat Sci)*, vol. 36, pp. 149-158, 2002.
- [14] S. Limtong, S. Sintara, P. Suwanarit, and N. Lotong, “Species diversity of molds in Thai traditional fermentation starters ( Loog- Pang) ,” *Kasetsart Journal (Nat Sci)*, vol. 39, pp. 511-518, 2005.
- [15] S. Chaijamrus and B. Mouthung, “Selection of Thai starter components for ethanol production utilizing malted rice from waste paddy,” *Journal of Science and Technology*, vol. 33, no. 2, pp. 163-170, 2011.
- [16] C. Kudpeng, W. Soemphol, and V. Tanamool, “Study on Production of Sato from Indigenous Rice Varieties in Nakhon Ratchasima”, in *Proceeding The National and International Graduate Research Conference 2016. Khon Kaen University*, Thailand, 2016, pp. BMP1-10.

# การเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกความสุกของทุเรียน ด้วยการตัดภาพพื้นหลังแบบไฮบริด

รติพร จันทร์กลิ่น\* กิระชาติ สุขสุทธิ เกตุกาญจน์ โพธิจิตติกานต์ พรภัสสร อ่อนเกิด และ  
อภิชาติ ตีระประเสริฐสิน

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุนทราราม ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

รับบทความ 26 มีนาคม 2567 แก้ไขบทความ 17 ธันวาคม 2567 ตอรับบทความ 23 มกราคม 2568

## บทคัดย่อ

ทุเรียนเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ ส่งผลให้ทุเรียนมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นเศรษฐกิจทั้งในระดับประเทศและระหว่างประเทศ โดยเฉพาะทุเรียนสายพันธุ์หอมทองซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง ซึ่งทุเรียนสามารถบริโภคได้ทั้งการบริโภคแบบสดหรือบริโภคแปรรูปได้ สำหรับการบริโภคทุเรียนแบบสดหรือต้องการซื้อทุเรียนเพื่อทำการแปรรูปโดยมีเงื่อนไขจากระดับความสุกของทุเรียนเข้ามาเกี่ยวข้อง หากไม่มีความเชี่ยวชาญในการจำแนกทุเรียนสุกหรือดิบ อาจส่งผลให้ได้รับทุเรียนที่ไม่ตรงตามความต้องการของตนเอง ซึ่งในปัจจุบันมีการประยุกต์เทคนิคด้านปัญญาประดิษฐ์เข้ามาใช้ในการจำแนกระดับความสุกของผลไม้เพื่อช่วยผู้บริโภคในการเลือกผลไม้ให้ได้ตรงตามที่ต้องการ โดยใช้รูปภาพของผลไม้ซึ่งบางครั้งจะมีภาพพื้นหลังติดไปด้วย เมื่อนำภาพเหล่านั้นไปประมวลผลจะต้องมีการตัดภาพพื้นหลังออกเพื่อให้ประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลดีขึ้น ในบางครั้งการใช้ความรู้ด้านการประมวลผลภาพที่มีอยู่ในการตัดพื้นหลังของรูปด้วยอัลกอริทึมสำหรับตัดภาพพื้นหลังเพียงชนิดเดียวอาจไม่ดีเพียงพอต่อการใช้งานสำหรับบางข้อมูล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้เชิงลึกในการจำแนกความสุกของทุเรียนด้วยการตัดภาพพื้นหลังแบบไฮบริด ด้วยการใช้อัลกอริทึมโซเบลในการหาขอบของทุเรียนร่วมกับการตัดภาพพื้นหลังด้วยอัลกอริทึมแกรบคัท หลังจากนั้นนำไปสร้างรูปแบบการเรียนรู้ด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก 4 รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกระดับความสุกของทุเรียนระหว่างการใช้รูปดั้งเดิมกับการใช้รูปภาพที่ตัดพื้นหลัง ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าวิธีการตัดภาพพื้นหลังที่นำเสนอส่งผลให้ความแม่นยำในการจำแนกประเภททุเรียนมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเฉลี่ยทั้ง 4 อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 8

**คำสำคัญ :** การประมวลผลภาพ; การตัดพื้นหลังภาพ; การเรียนรู้เชิงลึก; โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน;  
การจำแนกประเภททุเรียนหอมทอง

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 9469 6164, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: ratiporn.ch@rmuti.ac.th

# Enhancing the Accuracy of Durian Ripeness Classification using Hybrid Background Removal

Ratiporn Chanklan\* Keerachart Suksut Kedkarn Podhijitikarn

Pornpassorn Onkerd and Apichat Terapasirdsin

Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Nai Mueang, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000

---

*Received 26 March 2024; Revised 17 December 2024; Accepted 23 December 2025*

## Abstract

Durian is an economically important fruit in Thailand. It is widely consumed, both domestically and internationally. As a result, durians play a significant role in stimulating the economy, both nationally and internationally. Among the various varieties, the Monthong durian stands out as the most popular. Durian can be consumed in either fresh or processed forms. For fresh consumption or purchasing durian for processing purposes, the ripeness level of the durian is a critical factor to consider. However, without skilled classification, rip or unrip durians may lead to the acquisition of that does not meet their own needs. Currently, artificial intelligence techniques have been applied to fruit maturity classification to help consumers choose suitable fruits by using fruit images, sometimes having a background image attached to them. When processing these images, it is necessary to remove the background to improve the efficiency of data classification. In some cases, using existing knowledge in image processing to remove the background of an image using a single background removal algorithm may not be sufficient for certain types of data. Therefore, this research presents the enhancement of deep learning efficiency in classifying the ripeness of durians with hybrid background removal, edge detection with Sobel algorithms and Grab Cut algorithms for clipping image background then create model with 4 deep learning algorithms to compare the classification performance between using the original image data and image background clipping, the result shown that the proposed techniques can improve the classification performances with average the 4 algorithms at 8%.

**Keywords :** Image Processing; Background Clipping; Deep Learning; Convolution Neural Network; Monthong Durian Classification

---

\* *Corresponding Author. Tel.: +669 9469 6164, E-mail Address: ratiporn.ch@rmuti.ac.th*

## 1. บทนำ

ทุเรียนเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยทุเรียนเป็นผลไม้ที่ให้รสชาติหวาน และแต่ละสายพันธุ์ก็จะมีรสสัมผัสที่แตกต่างกัน โดยการบริโภคทุเรียนสามารถบริโภคได้หลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการรับประทานสดหรือผ่านการแปรรูปต่าง ๆ แต่ปัญหาของบุคคลทั่วไปที่ต้องการบริโภคทุเรียน มักจะไม่มีความรู้ว่าทุเรียนลูกใดสุกหรือดิบ หรือพร้อมให้รับประทานหรือไม่ ซึ่งบางครั้งอาจซื้อทุเรียนได้ไม่ตรงตามความต้องการของตนเอง

ปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มีบทบาทอย่างมากสู่สังคมมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นช่วยในเรื่องของการจัดการข้อมูลต่าง ๆ การบริหาร การวางแผนการตลาด การจำแนกประเภทของสิ่งของต่าง ๆ การทำนายการเจ็บป่วย รวมไปถึงการใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลเกี่ยวกับภาคเกษตรกรรม ใช้ในการจำแนกโรคพืช การจำแนกศัตรูพืช จำแนกชนิดของพืช หรือผลไม้ รวมไปถึงใช้ในการจำแนกความสุกของผลไม้ แต่ในบางครั้งระบบปัญญาประดิษฐ์ก็ยังมีประสิทธิภาพไม่สูงเพียงพอที่จะเป็นที่ยอมรับ จนนำไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้งานได้ เช่น การใช้รูปภาพเพื่อจำแนกความสุกของผลไม้ หากไม่มีการประมวลผลภาพก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการจำแนกความสุกของผลไม้ด้อยลงไปด้วย

ในปัจจุบันได้มีการเรียนรู้เชิงลึกนำมาใช้ในการจำแนกทุเรียนมากมายเนื่องจากการจำแนกข้อมูลทุเรียนไม่ว่าจะเป็นการจำแนกประเภทหรือระดับความสุกสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น N. M. Z. Hashim และคณะ [1] เสนอการใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network หรือที่เรียกว่า CNN) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสำหรับงานด้านการจำแนกวัตถุ เพื่อจำแนกประเภททุเรียน 2 พันธุ์ ได้แก่ ทุเรียนกัมปุงและทุเรียนมุซังคิงซึ่งเป็นทุเรียนท้องถิ่นในมาเลเซีย โดยมีความแม่นยำในการ

จำแนกประเภททุเรียนร้อยละ 80 J. N. Uy และคณะ [2] เห็นว่าในปัจจุบันทุเรียนมีหลากหลายพันธุ์ซึ่งยากต่อการแยกแยะ จึงต้องการสร้างอุปกรณ์พกพาเพื่อใช้ในการระบุและจำแนกพันธุ์ทุเรียน โดยใช้ข้อมูลรูปภาพทุเรียนที่ผ่านกระบวนการหาขอบแบบ Canny นำเข้า CNN เพื่อสร้างโมเดลที่ใช้ระบุทุเรียน 6 สายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ J. R. Balbin และคณะ [3] ใช้ Principal Component Analysis (PCA) และอัลกอริทึม Support Vector Machine (SVM) สร้างโมเดลที่ใช้จำแนกระดับความสุกของผลทุเรียนที่มีความแม่นยำร้อยละ 95 และมีอัตราการจำแนกระดับความสุกผิดพลาดร้อยละ 5

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้การวัดระดับความสุกของผลไม้จากการใช้รูปภาพด้วยการใช้เทคนิคประมวลผลภาพร่วมกับอัลกอริทึมต่าง ๆ ดังนี้ A. P. Bhandarkar และคณะ [4] ได้พัฒนาเทคนิคการตรวจสอบความสุกของผลไม้ด้วยภาพถ่าย โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและอัลกอริทึม VGG16 ร่วมกับการลดมิติข้อมูลด้วยอัลกอริทึม PCA (Principle Component Analysis) C. C. Olisah และคณะ [5] ได้เสนอวิธีตรวจสอบความสุกของผลแบล็กเบอร์รี่โดยใช้โมเดล VGG16 ด้วยชุดข้อมูล ImageNet S. Lee และคณะ [6] ได้วิเคราะห์ลักษณะภายนอกของผลไม้ด้วยรูปภาพเพื่อสร้างโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 สำหรับการจำแนกระดับความสุกของผลไม้ Suharjito และคณะ [7] ได้ตรวจสอบระดับความสุกของผลปาล์มเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มด้วยการใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับการประมวลผลภาพ P. K. Mishra และคณะ [8] ได้เสนอวิธีการลดปัญหาการสูญเสียผลผลิตที่เกิดจากการเก็บเกี่ยวล่าช้า หรือก่อนเวลาอันควร ด้วยการใช้รูปภาพผลไม้ร่วมกับอัลกอริทึม CNN (Convolution Neural Network) เพื่อจำแนกระดับความสุกของผลไม้

สำหรับการจำแนกระดับความสุกของทุเรียนด้วยการใช้รูปภาพ มีงานวิจัยที่ได้ดำเนินการวิจัย

ดังต่อไปนี้ S. Sukkasem และคณะ [9] ได้เสนอการใช้ อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกด้วย Inception-v2, Inception-v3, VGGNet16, VGGNet19, ResNet-50, ResNet-101, ResNet-152, MobileNet-v2, MobileNet-v3 สร้างโมเดลเพื่อใช้ในการจำแนกระดับ ความสุขของทุเรียนโดยใช้ภาพถ่ายของทุเรียนพันธุ์ หมอนทองแบ่งออกเป็น 4 ระดับได้แก่ สุกเกินไป กึ่งสุก ดิบ และ สุก โมเดลที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ MobileNet-v2: ซึ่งมีความแม่นยำสูงสุดที่ร้อยละ 95.50 A. Muthulakshmi และคณะ [10] ได้พัฒนาระบบจำแนก ความสุขของทุเรียนโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ และการเรียนรู้ของเครื่องที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-Destructive Methods) เพื่อจำแนกระดับความสุขได้ อย่างแม่นยำ โดยใช้การหาขอบภาพและการดึงลักษณะ เต็มของภาพ และใช้อัลกอริทึม Support Vector Machine (SVM), Random Forest, Gaussian Naive Bayes (GNB) ในการจำแนกข้อมูลพร้อมทั้งเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพ สำหรับการจำแนกความสุขอัลกอริทึม SVM ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดด้วยความแม่นยำร้อยละ 89.3

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่ามีการใช้การ เรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกข้อมูลทุเรียนสาเหตุเกิดจากการ แยกแยะชนิดทุเรียนหรือการจำแนกระดับความสุขของ ทุเรียนจะต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญส่วนบุคคล ผู้วิจัยจึงเสนอการใช้การเรียนรู้เชิงลึกในการ จำแนกความสุขของทุเรียนด้วยการตัดภาพพื้นหลังแบบ ไฮบริด ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เพียงรูปถ่ายลูกทุเรียนเพื่อให้ โมเดลเชิงลึกทำนายความสุขดิบ ในงานวิจัยใช้ กระบวนการเสนอแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพโมเดล เชิงลึกด้วยกระบวนการตัดพื้นหลังแบบไฮบริดโดยใช้ การหาขอบของภาพด้วยอัลกอริทึมโซเบล (Sobel Algorithm) ในการปรับปรุงการตัดพื้นหลังของ อัลกอริทึมแกรบคัท (Grabcut Algorithm) เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพโมเดลเชิงลึกที่ใช้ในการจำแนกความสุขดิบ ของทุเรียน

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 ลักษณะและแหล่งที่มาของข้อมูล

สำหรับข้อมูลในการทำวิจัย ผู้วิจัยได้เก็บ รวบรวมข้อมูลรูปภาพทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง จาก 2 แหล่ง ได้แก่ร้านขายทุเรียน และจากสวนทุเรียน โดย ข้อมูลมีทั้งหมด 378 ภาพ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 1



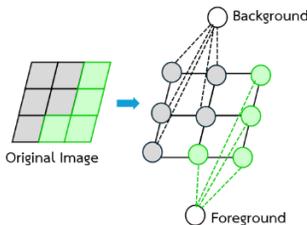
รูปที่ 1 ตัวอย่างรูปภาพทุเรียนที่ใช้ในการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บ ข้อมูลจากการถ่ายภาพด้วยการควบคุมปัจจัยกระทบต่อ ข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ สำหรับความละเอียดของ ภาพถ่าย ผู้วิจัยกำหนดความละเอียดไว้ที่ 920 x 1020 พิกเซล โดยกำหนดการจัดองค์ประกอบภายในภาพให้ เห็นบริเวณของผลทุเรียนอย่างชัดเจน

สำหรับการวิจัย เพื่อไม่ให้เกิดความเอนเอียงของ ข้อมูล ผู้วิจัยได้เลือกแบ่งข้อมูลรูปภาพออกเป็น 2 ชุด ข้อมูล โดยชุดข้อมูลแรกใช้สำหรับการเรียนรู้ (Training Set) เพื่อสร้างโมเดลจำแนกระหว่างทุเรียนสุกและ ทุเรียนดิบ โดยใช้รูปภาพทั้งสิ้น 265 ภาพ แบ่งเป็นรูป ทุเรียนดิบ 134 ภาพและภาพทุเรียนสุก 131 ภาพ และ ภาพที่เหลืออีกจำนวน 113 ภาพ แบ่งเป็นภาพทุเรียน ดิบ 58 ภาพและภาพทุเรียนสุก 55 ภาพ จะถูกจำลอง เป็นชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Set) เพื่อจำลอง สถานการณ์ว่าภาพทุเรียนดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ระบบยังไม่เคยเรียนรู้มาก่อน เปรียบเสมือนข้อมูลในอนาคตเพื่อ ใช้สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของโมเดล นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลยืนยัน (Validation Set) จำนวน 100 ภาพ โดยแบ่งเป็นภาพทุเรียนดิบจำนวน 52 ภาพ และทุเรียนสุก จำนวน 48 ภาพ เพื่อใช้ยืนยัน ผลการทดลอง

## 2.2 อัลกอริทึมแกรบคัท (Grabcut Algorithm)

อัลกอริทึมแกรบคัท [11], [12] มีแนวคิดมาจากการให้ผู้ใช้งานสร้างกรอบพื้นที่สีเหลี่ยมที่จะทำหน้าที่เป็นพื้นหน้า (Foreground) คือ วัตถุหลัก หรือวัตถุที่สนใจในภาพ ซึ่งส่งผลให้วัตถุหรือสิ่งใดที่อยู่พื้นที่นอกกรอบที่สร้างขึ้นจะเป็นพื้นหลัง (Background) คือ ส่วนของภาพที่ไม่ใช่วัตถุหลัก และภาพพื้นหลังนั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับภาพพื้นหน้า ซึ่งจะใช้วิธีการเปรียบเทียบด้วยวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองการผสมแบบเกาส์ (Gaussian Mixture Model : GMM) โดยพิจารณาที่ความคล้ายของสี สีที่คล้ายกับสีภายนอกกรอบจะถือว่าเป็นพื้นหลัง และสีที่ต่างจากกรอบจะถือเป็นพื้นหน้า โดยกระบวนการของการประมวลผลภาพพื้นฐานจะประกอบไปด้วยพิกเซลทุก ๆ พิกเซลจะมีการเชื่อมต่อกันด้วยการไล่ระดับสี ดังนั้นอัลกอริทึมแกรบคัทจะกำหนดให้พิกเซลที่อยู่ติดกันจะมีการกระจายสีที่ใกล้เคียงกัน แสดงตัวอย่างการไล่ระดับสีได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การไล่ระดับสีเพื่อแยกพื้นหน้าและพื้นหลัง

หลังจากนั้นจะสร้างกราฟเริ่มต้นด้วยค่าน้ำหนัก ซึ่งจะปรับค่าน้ำหนักด้วยอัลกอริทึม Min-Cut เพื่อสร้างจุดยอดของทั้งพื้นหน้าและพื้นหลัง จากนั้นจะสร้างกราฟจำนวน  $n$  จุด ( $n$  หมายถึงจำนวนจุดพิกเซล) และเชื่อมต่อไปยังจุดที่อยู่ติดกันโดยค่าน้ำหนักนั้นถูกกำหนดด้วยความคล้ายคลึงกันของระดับสี หลังจากนั้นจะสร้างจุดยอดเพิ่ม 2 จุด (ป้ายกำกับกับพื้นหน้าและพื้นหลัง) ซึ่งแต่ละจุดจะเชื่อมโยงไปยังจุดอื่น ๆ ตามความน่าจะเป็นของพิกเซลที่ตรงกับการกระจายสีของพื้นหน้าหรือพื้นหลัง

โดยอัลกอริทึมแกรบคัทที่มีประสิทธิภาพในการแยกวัตถุออกจากพื้นหลังที่สูง โดยอาศัยวิธีการจัดกลุ่มแบบจำลองการผสมแบบเกาส์ ซึ่งช่วยจำแนกสีของพื้นหน้า และพื้นหลังของวัตถุได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมแกรบคัท จำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดกรอบพื้นที่สีเหลี่ยมในการทำงาน หากกำหนดกรอบพื้นที่ดังกล่าวไม่เหมาะสมจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ดี รวมไปถึงการใช้เวลาในการประมวลผลที่มากขึ้นสำหรับรูปภาพขนาดใหญ่

## 2.3 อัลกอริทึมโซเบล (Sobel Algorithm)

อัลกอริทึมโซเบล [13], [14] เป็นอัลกอริทึมสำหรับการหาขอบภาพ ใช้หลักการคำนวณการไล่ระดับความเข้มแสงของภาพในแต่ละพิกเซลภายในรูปภาพ โดยจะค้นหาทิศทางของการเพิ่มขึ้นของความเข้มแสงของภาพจากสว่างไปมืด โดยขอบจะเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงระหว่างพิกเซลหนึ่งกับพิกเซลข้างเคียง หากความเข้มแสงแตกต่างมากขอบของภาพก็จะชัดขึ้น สำหรับการหาขอบภาพด้วยอัลกอริทึมโซเบลจะใช้ฟิลเตอร์ (Filter) เพื่อให้ค่าน้ำหนักของพิกเซลที่ใกล้เคียงกับพิกเซลเป้าหมาย (Target Pixel) มากกว่าจุดอื่น ๆ ในงานวิจัยนี้ใช้หาการขอบในทิศทางแนวนอนและแนวตั้ง จึงมีการใช้งานฟิลเตอร์ 2 แบบ ฟิลเตอร์ในแนวแกนอน ( $G_x$ ) และแนวแกนตั้ง ( $G_y$ ) ดังนี้

|    |   |   |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -2 | 0 | 2 |
| -1 | 0 | 1 |

$G_x$

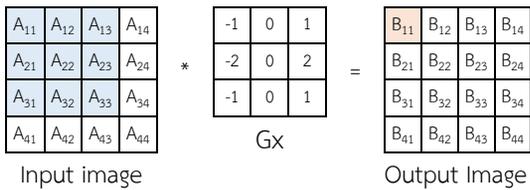
|    |    |    |
|----|----|----|
| 1  | 2  | 1  |
| 0  | 0  | 0  |
| -1 | -2 | -1 |

$G_y$

รูปที่ 3 ฟิลเตอร์แนวแกนอน ( $G_x$ ) และแกนตั้ง ( $G_y$ )

ในการคำนวณ Sobel gradient จะนำ  $G_x$  และ  $G_y$  ไปทำการเลื่อนหน้าต่างฟิลเตอร์บนภาพข้อมูล เพื่อคำนวณค่าของพิกเซลนั้น จากนั้นจะเลื่อนหน้าต่างไปทางพิกเซลด้านขวาจนกระทั่งสิ้นสุดแถว หลังจากนั้นจะ

เลื่อนลงไปจุดเริ่มต้นของแถวถัดไป ตัวอย่างตัวอย่าง การวางฟิลเตอร์ไปบนภาพแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างการวางฟิลเตอร์ไปบนภาพ

คำนวณหาผลลัพธ์ในแต่ละพิกเซลโดยการคูณค่าของแต่ละพิกเซลในพื้นที่ที่ฟิลเตอร์ทับกับค่าในฟิลเตอร์ และหลังจากนั้นรวมผลลัพธ์ทั้งหมดเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ จากนั้นจะทำการเลื่อนฟิลเตอร์แล้วคำนวณหาผลลัพธ์ในพิกเซลถัดไป

เช่น คำนวณหาค่าของพิกเซลที่ B<sub>11</sub> ได้ดังนี้

$$B_{11} = -A_{11} + A_{13} - 2A_{21} + 2A_{23} - A_{31} + A_{33} \quad (1)$$

โดยที่

A<sub>nm</sub> คือ รูปดั้งเดิมที่พิกเซลแถว n คอลัมน์ m

B<sub>nm</sub> คือ รูปที่ผ่านฟิลเตอร์ที่จุดพิกเซลแถว n คอลัมน์ m

เมื่อรูปภาพจะถูกผ่านฟิลเตอร์ G<sub>x</sub> และ G<sub>y</sub> เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของค่าพิกเซลในแนวนอนและแนวตั้งแล้ว จะนำผลลัพธ์ไปหาค่าแรงขอบ (edge magnitude) ได้โดยใช้สมการที่ 2

$$\text{Edge Magnitude} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

โดยที่

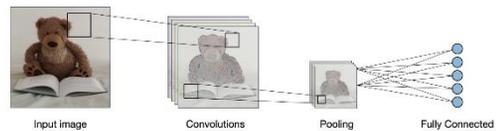
G<sub>x</sub> คือ ค่าพิกเซลในรูปที่ผ่านฟิลเตอร์ G<sub>x</sub>

G<sub>y</sub> คือ ค่าพิกเซลในรูปที่ผ่านฟิลเตอร์ G<sub>y</sub>

โดยอัลกอริทึมโซเบลสามารถใช้งานได้ง่าย มีการคำนวณไม่ซับซ้อน สามารถทนทานต่อข้อมูลรบกวน (Noise) ได้เล็กน้อยจึงไม่เหมาะสมกับข้อมูลรูปภาพที่มี

สิ่งรบกวนในภาพเป็นจำนวนมาก รวมไปถึงความแม่นยำต่ำสำหรับภาพที่มีขอบของวัตถุไม่ชัดเจน และความสว่างในภาพมีผลต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึมโซเบล

## 2.4 อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN)



รูปที่ 5 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน [15]

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน [15], [16], [17] เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบหนึ่งที่มีการจำลองการมองเห็นของมนุษย์โดยจะมองพื้นที่เป็นบริเวณขนาดเล็กไปรอบ ๆ รูปภาพ ร่วมกับการมองพื้นที่ขนาดใหญ่โดยรอบ จึงจะสามารถวิเคราะห์ภาพที่เห็นได้ CNN ถูกออกแบบมาเพื่อการประมวลผลภาพมีความสามารถในการระบุลักษณะของภาพอย่างอัตโนมัติผ่านการเรียนรู้จากข้อมูล แสดงโครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันได้ดังรูปที่ 5

โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

ส่วนที่หนึ่ง คอนโวลูชัน (Convolution) กับพูลลิงเลเยอร์ (Pooling Layer) ทำหน้าที่รับข้อมูลรูปภาพเข้า (Image Input) หลังจากนั้นจะใช้ตัวกรอง (Filter) ทำหน้าที่ในการเลื่อนภาพ โดยจะเลื่อนไปที่ขั้นตอน (Step) ขึ้นอยู่กับสไตรด์ (Stride) ซึ่งจะทำให้การเลื่อนไปจนครบทุกพิกเซล (Pixels) ของภาพ ทำให้ได้ผังคุณลักษณะ (Feature Map) ที่มีขนาดเล็กลง (ภาพถูกย่อขนาดลง) โดยจะดึงคุณลักษณะเด่นบริเวณต่าง ๆ ออกมาด้วย ซึ่งเป็นการสกัดข้อมูลที่สำคัญออกมาจาก

ภาพ ในบางครั้งอาจจะใช้การเพิ่มแพดดิ้ง (Padding) ให้กับรูปภาพ

ส่วนที่สอง ฟูลลี คอนเนคเทด (Fully Connected Layer) จะนำเอาคุณลักษณะจากฟังก์ชันคุณลักษณะที่ถูกดึงมาจากรูปภาพไปเรียนรู้ โดยจะมีการตัดสินใจเกิดขึ้น

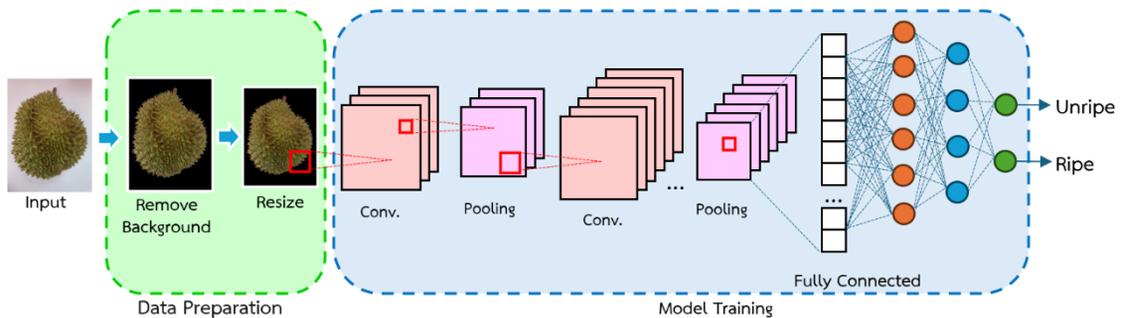
ส่วนที่สาม การทำนาย (Prediction) จะเป็นการทำนายผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียนรู้ในขั้นตอนของส่วนที่สอง

สำหรับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน จะถูกสร้างและเรียนรู้จากข้อมูลภาพที่มีอยู่ หลังจากนั้นจะนำโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่ได้รับการเรียนรู้มาก่อนหน้านี้มาใช้ในการจำแนกประเภทภาพ หรือใช้ในการตรวจจับวัตถุได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องสร้างโครงสร้างใหม่ทุกครั้งที่มีการจำแนกใหม่ การใช้โครงข่ายโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่เรียนรู้แล้วมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ในการทำงานประมวลผลภาพ

การสร้างโมเดลด้วยโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันจะต้องเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมกับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแต่ละประเภท ซึ่งการนำข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเพื่อสร้างโมเดลจะเรียกว่าการฝึกโมเดล (Model Training) สำหรับการฝึกโมเดลจะเรียนรู้จากข้อมูลเข้า โดยโมเดลจะปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับข้อมูลเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการฝึกจะประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า (Input Data) และป้ายชื่อหรือคลาสที่ใช้ในการจำแนกข้อมูล (Labels) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่โมเดลทำนายขึ้นมา

### 2.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับจำแนกทุเรียนสุกและดิบ โดยมีกรอบแนวคิดการวิจัย แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กรอบแนวคิดการวิจัย

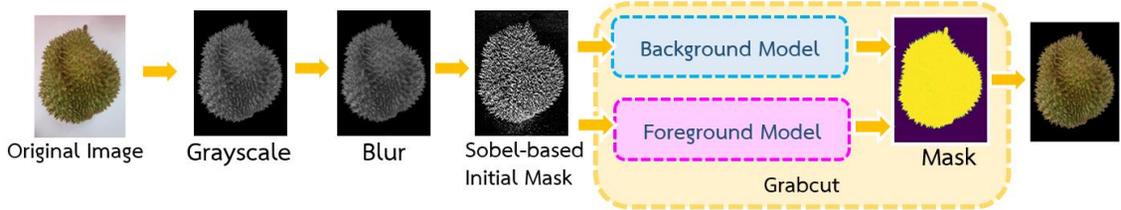
จากรูปที่ 6 สามารถอธิบายกรอบแนวคิดการวิจัยได้โดยแบ่งเป็นสองส่วนได้แก่ ในส่วนแรกของกระบวนการวิจัย จะเป็นการเตรียมข้อมูลก่อนสร้างโมเดลด้วยการตัดพื้นหลังของรูปทุเรียนออกจากกระบวนการตัดพื้นหลังแบบไฮบริด หลังจากนั้นจะทำ

การย่อขนาดรูปภาพให้เหมาะกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันที่ต้องการใช้เพื่อแก้ปัญหาการจำแนกระดับความสุกของทุเรียน สำหรับส่วนที่สองของกระบวนการวิจัยได้แก่การสร้างโมเดลเพื่อจำแนกว่ารูปทุเรียนที่นำมาใช้เป็นรูปทุเรียนสุกหรือทุเรียนดิบ

### 2.5.1 กระบวนการตัดพื้นหลังแบบไฮบริด

งานวิจัยนี้ใช้กระบวนการตัดพื้นหลังแบบไฮบริด ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดภาพพื้นหลังที่

งานวิจัยได้นำเสนอ โดยใช้การกระบวนการหาขอบภาพแบบโซเบลร่วมกับอัลกอริทึมแกรบคัทในการตัดพื้นหลังของภาพ โดยแสดงกรอบแนวคิดได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กรอบแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดพื้นหลังแบบไฮบริด

จากรูปที่ 7 เริ่มต้นโดยการนำรูปทุเรียนต้นฉบับมาแปลงเป็นภาพระดับสีเทาเพื่อลดขนาดมิติของข้อมูลภาพ ทำให้เห็นค่าความเข้มแสงได้ชัดเจน เนื่องจากภาพระดับสีเทามีสิ่งรบกวน (Noise) น้อยกว่าภาพสี แล้วนำไปเบลอภาพเพื่อลดสิ่งรบกวนในภาพลง จากนั้นใช้การเบลอภาพเพื่อตัดรายละเอียดที่ไม่จำเป็นในภาพออก การเบลอภาพจะทำให้ขอบของวัตถุในภาพเรียบขึ้นช่วยให้อัลกอริทึมหาขอบภาพสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นใช้อัลกอริทึมโซเบล (Sobel) เพื่อกำหนดขอบของวัตถุขึ้น การหาขอบแบบโซเบลในภาพทุเรียนจะทำให้ได้ลักษณะหรือลวดลายจากหนามทุเรียน ถ้าภาพมีพื้นหลัง แสงหรือเงา การหาขอบแบบโซเบลจะทำให้ช่วยแสดงลวดลายของสิ่งเหล่านี้ได้ดีชัดเจน เมื่อนำภาพการหาขอบไปสร้างแมสก์ (Mask) ขึ้นมาเพื่อกำหนดพื้นที่ของทุเรียน ซึ่งเป็นการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ (Regions of Interest) ในรูปซึ่งจะช่วยให้สามารถกำหนดพื้นที่ของทุเรียนได้อย่างแม่นยำ โดยที่ส่วนของพื้นหลังหรือสิ่งที่ไม่ใช่ทุเรียนจะไม่ถูกพิจารณา เนื่องจากมีค่าความเข้มที่ต่ำทำให้พื้นที่นั้นไม่ถูกนับเข้าไปใน Regions of Interest ที่สนใจ ดังนั้นการตัดพื้นด้วยอัลกอริทึมแกรบคัทที่ถูกระบุการตัดภาพในพื้นที่นั้น จะทำให้สามารถตัดภาพพื้นหลังของทุเรียนได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

### 2.5.2 การสร้างโมเดลที่ใช้ในการจำแนกทุเรียน

ในงานวิจัยนี้ใช้อัลกอริทึมที่มีโครงสร้างพื้นฐานจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน 4 แบบในการทดลองสร้างโมเดลที่ใช้ในการจำแนกทุเรียนสุกดิบ ได้แก่อัลกอริทึม VGG16, VGG19, AlexNet และ ResNet50 แต่ก่อนการนำข้อมูลเข้าโครงสร้างเหล่านี้จะต้องมีการปรับขนาดรูปภาพให้เหมาะสมกับโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละแบบ เมื่อนำข้อมูลเข้าโครงข่ายเพื่อทำให้โครงข่ายเรียนรู้ ฟีเจอร์หรือคุณลักษณะของข้อมูลภาพ จะทำให้ได้โมเดลที่สามารถจำแนกหรือทำนายได้ตามเป้าหมายที่กำหนด ในที่นี้คือโมเดลในการจำแนกความสุกของทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง ซึ่งงานวิจัยนี้สร้างโมเดลที่จำแนกทุเรียนเป็น 2 เป้าหมายหรือ 2 คลาสได้แก่ ทุเรียนดิบ (Unripe) และทุเรียนสุก (Ripe) โดยมีรายละเอียดของแต่ละโครงข่ายประสาทเทียม ที่ทดลองใช้ดังนี้

VGG16 – เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกที่เน้นไปที่การออกแบบชั้น (Layer) ในโครงข่ายประสาทเทียม โดยจะกำหนดชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer) ไว้เป็นจำนวน 16 ชั้น [18]

VGG19 – เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับ VGG16 เพียงแต่กำหนดชั้นซ่อนเร้นเพิ่มขึ้นเป็น 19 ชั้น [19]

AlexNet - เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกที่ประกอบไปด้วยชั้นคอนโวลูชันจำนวน 5 ชั้น ภายในแต่ละชั้นจะมีขนาดของฟังก์ชันลักษณะ (Feature Map) และตัวกรอง (Filter) ซึ่งมีขนาดของฟังก์ชันลักษณะและตัวกรองแตกต่างกัน และทำการเลื่อน (Stride) ตัวกรองครั้งละ 2 พิกเซล โดยชั้นที่ 1 จะประกอบไปด้วย 96 ฟังก์ชันลักษณะ โดยใช้ตัวกรอง (Filter) ขนาด 11x11 และชั้นที่ 2 ประกอบไปด้วย 256 ฟังก์ชันลักษณะ และใช้ตัวกรองขนาด 5x5 สำหรับชั้นที่ 3, 4 และ 5 จะใช้ 384, 384 และ 256 ฟังก์ชันลักษณะตามลำดับ และใช้ตัวกรองขนาด 3x3 [20]

RestNest50 – เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกที่แก้ปัญหาเรื่องการไล่ระดับสีที่ขาดหายไป โดยจะเกิดขึ้นกับโครงข่ายที่มีความลึกค่อนข้างมาก โดย RestNest50 จะประกอบไปด้วย 4 บล็อก (4 Block) โดยจำนวนพารามิเตอร์สำหรับฝึกทั้งหมดจะประกอบไปด้วย [3, 4, 6, 3] ซึ่งจะประกอบไปด้วยจำนวนชั้นทั้งหมดคือ  $(3+4+6+3) \times 3 = 48$  ชั้น + 2 ชั้น = 50 ชั้น [19]

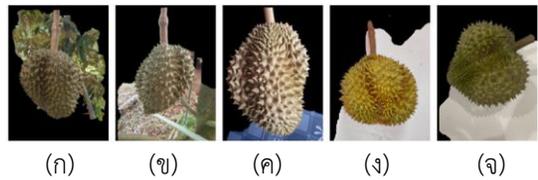
### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการตัดภาพพื้นหลังด้วยวิธีการไฮบริดโดยการใช้อัลกอริทึมการตัดภาพพื้นหลังด้วยอัลกอริทึมแกรปคัทร่วมกับอัลกอริทึมโซเบลในขั้นตอนการประมวลผลภาพ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ผ่านมาการประมวลผลภาพไปสร้างโมเดลสำหรับการจำแนกระดับความสุกของทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง โดยผลการศึกษาแต่ละขั้นตอนแสดงดังต่อไปนี้

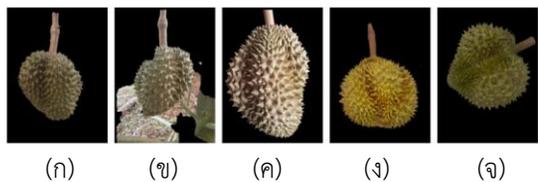
#### 3.1 ผลการตัดภาพพื้นหลัง

ในงานวิจัยนี้จะเตรียมข้อมูลก่อนการสร้างโมเดลในการจำแนกความสุกดิบของทุเรียนโดยใช้กระบวนการตัดภาพพื้นหลังของรูปทุเรียน แสดงตัวอย่างของผลการตัดภาพพื้นหลังของรูปทุเรียนโดยใช้

อัลกอริทึมแกรปคัทดังรูปที่ 8 และใช้โซเบลร่วมกับแกรปคัทแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ผลการตัดพื้นหลังด้วยอัลกอริทึมแกรปคัท



รูปที่ 9 ผลการตัดภาพพื้นหลังด้วยเทคนิคที่นำเสนอ

จากรูปที่ 8 ทั้ง 5 รูปภาพตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าการใช้เฉพาะอัลกอริทึมแกรปคัทจะยังไม่สามารถตัดส่วนพื้นหลังที่ไม่ต้องการออกไปได้ทั้งหมด ทำให้ข้อมูลที่น่าไปเรียนรู้มีภาพพื้นหลังบางส่วนอยู่ด้วย เนื่องจากภาพทุเรียนที่มีพื้นหลังของบางรูปมีความซับซ้อนและบางรูปมีเงาทำให้แกรปคัทยังไม่สามารถตัดพื้นหลังได้ เนื่องจากตัวอัลกอริทึมยังแยกวัตถุจากพื้นหลังไม่ได้ เพราะกระบวนการหาขอบแบบดั้งเดิมจะใช้แค่การกำหนดบริเวณส่วนที่สนใจให้แก่อัลกอริทึมแกรปคัท

เมื่อนำกระบวนการหาขอบภาพด้วยอัลกอริทึมโซเบลกำหนดเป็นแมสก์เริ่มต้น สามารถช่วยให้แกรปคัทแบ่งวัตถุกับพื้นหลังได้ดีขึ้นเนื่องจากการหาขอบแบบโซเบลให้ข้อมูลแบบระดับสีเทาซึ่งเป็นรูปแบบค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสี (Gradient) และขอบที่ได้มีความหนา เส้นมีความต่อเนื่อง และคลุมพื้นที่ของวัตถุ ทำให้แกรปคัทสามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อระบุวัตถุและพื้นหลังได้ดี แสดงผลการตัดพื้นหลังด้วยโซเบลร่วมกับแกรปคัทในรูปที่ 9 ทั้ง 5 รูปภาพตัวอย่างจะเห็นว่าภาพทุเรียนที่ผ่านการตัดพื้นหลังด้วยเทคนิคที่นำเสนอผลลัพธ์ของการตัดภาพหลังออกจากลูกทุเรียน

ได้ดีกว่าการใช้การใช้เพียงอัลกอริทึมแกรปกติเพียงอย่างเดียว

### 3.2 ผลการสร้างโมเดลที่ใช้ในการจำแนก

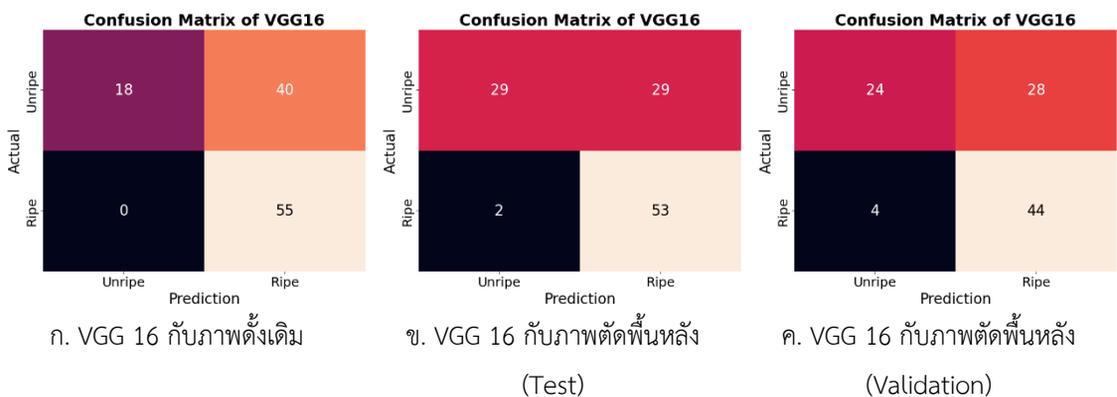
#### ทุเรียนสุกดิบ

ในงานวิจัยนี้ใช้อัลกอริทึมที่มีโครงสร้างพื้นฐานจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน 4 แบบในการทดลอง ได้แก่ VGG16, VGG19, AlexNet และ ResNet50 เพื่อสร้างโมเดลที่ใช้ในการจำแนกทุเรียนสุกดิบ การทดลองจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพโมเดลที่สร้างขึ้นระหว่างการใช้อัลกอริทึมที่สร้างขึ้นมาใหม่กับการใช้รูปภาพที่ผ่านการประมวลผลภาพด้วยวิธีที่นำเสนอ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับการใช้ชุดข้อมูลยืนยัน แสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 1

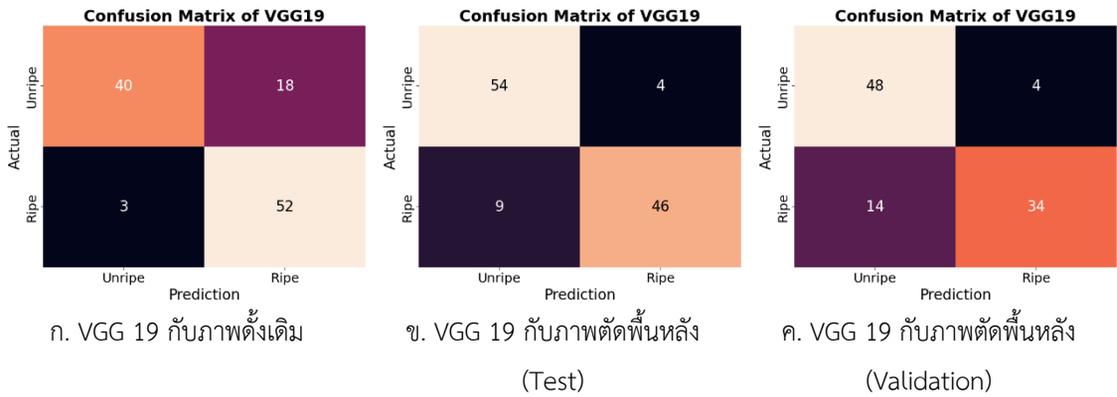
ตารางที่ 1 ค่าความถูกต้องในการจำแนกทุเรียน

| อัลกอริทึม | %Accuracy ภาพดั้งเดิม | %Accuracy ภาพตัดพื้นหลัง (Test) | %Accuracy ภาพตัดพื้นหลัง (Validation) |
|------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| VGG 16     | 64.60%                | 72.57%                          | 68.00%                                |
| VGG 19     | 81.42%                | 88.50%                          | 82.00%                                |
| AlexNet    | 73.45%                | 76.11%                          | 76.00%                                |
| RestNet50  | 83.19%                | 89.38%                          | 86.00%                                |

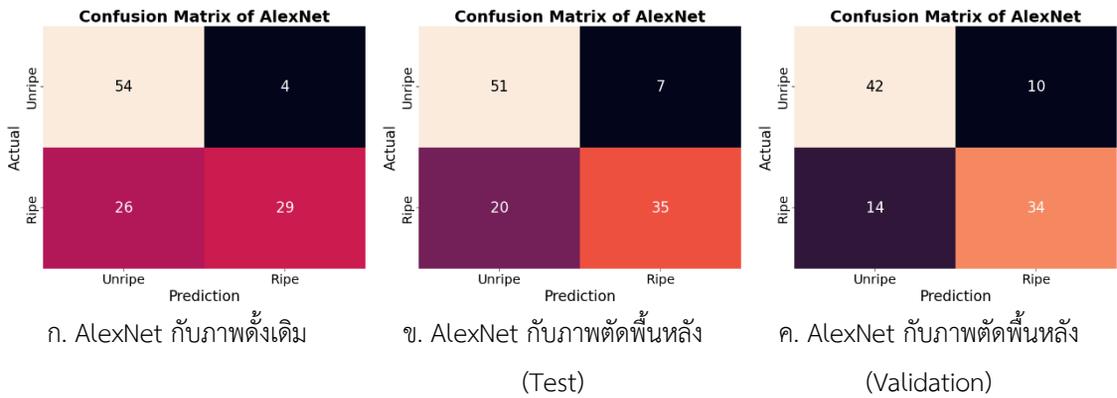
จากตารางที่ 1 สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้ การจำแนกด้วยอัลกอริทึม VGG 16 ด้วยการใช้อัลกอริทึมที่สร้างขึ้นมาใหม่ มีความแม่นยำในการจำแนกอยู่ที่ร้อยละ 64.60 ส่วนการใช้วิธีการประมวลผลภาพเพื่อตัดพื้นหลังด้วยวิธีการไฮบริดที่นำเสนอ ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกให้อัลกอริทึม VGG 16 ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 72.57 เมื่อใช้ข้อมูลยืนยัน (Validation Set) ร่วมกับการใช้การตัดภาพพื้นหลังด้วยวิธีการไฮบริดพบว่ามีค่าความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 68.00 สำหรับอัลกอริทึม VGG 19 กับรูปภาพดั้งเดิมมีประสิทธิภาพที่ร้อยละ 81.42 เมื่อใช้การประมวลผลภาพร่วมด้วยจะให้ความแม่นยำที่ร้อยละ 88.50 และค่าความแม่นยำสำหรับการใช้ข้อมูลยืนยันอยู่ที่ร้อยละ 82.00 ในขณะที่อัลกอริทึม AlexNet การใช้อัลกอริทึมที่สร้างขึ้นมาใหม่มีความแม่นยำที่ร้อยละ 73.45 เมื่อใช้การประมวลผลภาพด้วยการตัดพื้นหลังที่นำเสนอ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจำแนกมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 76.11 และมีค่าความแม่นยำที่ร้อยละ 76.00 สำหรับข้อมูลยืนยัน และสำหรับอัลกอริทึม ResNet50 การใช้อัลกอริทึมที่สร้างขึ้นมาใหม่มีความแม่นยำที่ร้อยละ 83.19 เมื่อใช้การตัดพื้นหลังด้วยวิธีที่นำเสนอ มีค่าความแม่นยำร้อยละ 89.38 โดยผลประสิทธิภาพความแม่นยำจากการใช้ชุดข้อมูลยืนยันอยู่ที่ร้อยละ 86.00 แสดงผลการจำแนกข้อมูลแต่ละอัลกอริทึมดังรูปที่ 10, 11, 12 และ 13



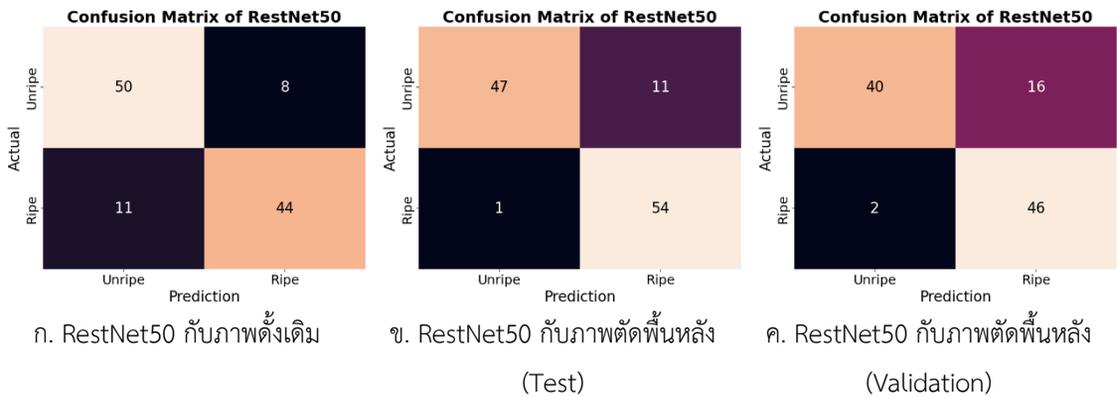
รูปที่ 10 ผลการจำแนกแต่ละคลาสด้วยอัลกอริทึม VGG16



รูปที่ 11 ผลการจำแนกแต่ละคลาสด้วยอัลกอริทึม VGG19



รูปที่ 12 ผลการจำแนกแต่ละคลาสด้วยอัลกอริทึม AlexNet



รูปที่ 13 ผลการจำแนกแต่ละคลาสด้วยอัลกอริทึม ResNet50

จากรูปที่ 10 แสดงการจำแนกข้อมูลของแต่ละคลาสสำหรับอัลกอริทึม VGG16 โดยใช้ตารางคอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion Matrix) จะเห็นว่าอัลกอริทึม

VGG16 กับข้อมูลภาพดั้งเดิม (รูปที่ 10 (ก.)) ยังทำนายข้อมูลทุเรียนดิบได้ไม่ดีพอ แต่เมื่อใช้อัลกอริทึม VGG16 ร่วมกับภาพตัดพื้นหลังในการทำนายข้อมูลทุเรียนดิบมี

จำนวนที่ทำนายถูกมากขึ้น (รูปที่ 10 (ข.)) เมื่อใช้ชุดข้อมูลยืนยัน (รูปที่ 10 (ค.)) ทดสอบ พบว่าโมเดลสามารถทำนายทุเรียนดิบได้แม่นยำจำนวน 24 รูป จาก 52 รูป และทุเรียนสุกได้แม่นยำจำนวน 44 รูป จาก 48 รูป ในส่วนของอัลกอริทึม VGG19 จากรูปที่ 11 (ก.) เป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพความแม่นยำในการทำนายค่อนข้างสูง โดยจะเห็นว่าตัวเลขของข้อมูลที่ทำนายแม่นยำมีจำนวน 92 รูป จาก 113 รูป และผลลัพธ์ที่ VGG 19 กับภาพตัดพื้นหลัง (รูปที่ 11 (ข.)) จำนวนข้อมูลที่ทำนายได้แม่นยำจำนวน 100 รูป จาก 113 รูป การใช้ชุดข้อมูลยืนยันในการทดสอบ (รูปที่ 13(ค.)) จะเห็นได้ว่าจำนวนรูปที่ทำนายแม่นยำจำนวน 82 รูปจาก 100 รูป ในขณะที่โมเดล AlexNet กับภาพดั้งเดิมในรูปที่ 12 (ก.) จะเห็นว่าโมเดลทำนายภาพทุเรียนสุกได้ไม่แม่นยำ สามารถทำนายทุเรียนสุกได้ถูกต้องเพียง 29 รูปจาก 55 รูป และเมื่อนำโมเดล AlexNet มาใช้ร่วมกับการตัดภาพพื้นหลัง (รูปที่ 12 (ข.)) สามารถทำนายภาพทุเรียนสุกได้ถูกต้องมากขึ้น โดยทำนายได้แม่นยำที่ 35 รูป จาก 55 รูป สอดคล้องกับการใช้ชุดข้อมูลยืนยันในการทดสอบ (รูปที่ 12 (ค.)) ที่สามารถทำนายคลาสทุเรียนสุกได้แม่นยำที่ 34 รูป จาก 48 รูป ส่วนอัลกอริทึม ResNet50 กับการใช้ภาพดั้งเดิมในรูปที่ 13 (ก.) เป็นโมเดลที่มีการทำนายภาพทุเรียนได้แม่นยำถึง 94 รูปจาก 113 รูป และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ResNet50 กับภาพตัดพื้นหลัง (รูปที่ 13 (ข.)) จะเห็นว่าการทำนายภาพทุเรียนมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้นถึง 101 รูปจาก 113 รูป และเมื่อใช้ข้อมูลยืนยันในการทดสอบ พบว่าสามารถทำนายได้แม่นยำถึง 86 รูปจาก 100 รูป (รูปที่ 13 (ค.))

#### 4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการตัดภาพพื้นหลังด้วยวิธีการไฮบริดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกความสุกของทุเรียนสายพันธุ์หมอนทอง โดยงานวิจัยแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกกล่าวถึง

กระบวนการตัดพื้นหลังเพื่อแสดงให้เห็นว่าการตัดภาพพื้นหลังโดยใช้อัลกอริทึมพื้นฐานคือแกรปคัทจะสามารถตัดพื้นหลังได้ดีกับข้อมูลวัตถุที่อยู่ในรูปต่างกับพื้นหลังชัดเจน ดังนั้นจึงเสนอวิธีการในการตัดภาพพื้นหลังแบบไฮบริดด้วยการใช้อัลกอริทึมโซเบลในการหาขอบร่วมกับใช้อัลกอริทึมแกรปคัทในการตัดภาพพื้นหลังเพื่อแก้ปัญหาการตัดภาพพื้นหลังของอัลกอริทึมแกรปคัทกับภาพที่มีพื้นหลังซับซ้อน ทำให้ประสิทธิภาพการตัดพื้นหลังดียิ่งขึ้น การหาขอบที่จะสามารถช่วยให้ผลลัพธ์การตัดภาพพื้นหลังของอัลกอริทึมแกรปคัทที่มีประสิทธิภาพจะต้องเป็นการหาขอบภาพที่ให้ผลลัพธ์ระดับสีเทาซึ่งจะใช้แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสี (Gradient) ทำให้ซึ่งเมื่อแกรปคัทนำข้อมูลสร้างเป็นโหนด (Node) ซึ่งโหนดแต่ละโหนดจะเชื่อมกันด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (Weights) โดยค่าถ่วงน้ำหนักสามารถคำนวณได้จากความคล้ายคลึงของสีหรือความเข้ม ทำให้แกรปคัทสามารถแบ่งวัตถุและพื้นหลังได้ดี

ส่วนที่สองกล่าวถึงการเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำโดยใช้การประมวลผลภาพด้วยการตัดภาพพื้นหลังแบบไฮบริดร่วมกับการเรียนรู้เชิงลึก ในขั้นตอนการสร้างโมเดลที่ใช้สำหรับการหาค่าความสุกดิบของทุเรียน โดยทดลองสร้างโมเดลจากอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกทั้ง 4 อัลกอริทึม ได้แก่ VGG16, VGG19, AlexNet และ ResNet50 จะเห็นว่าเมื่อนำข้อมูลที่ตัดพื้นหลังด้วยวิธีการไฮบริดไปสร้างโมเดลที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลรูปทุเรียนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำในการทำนายภาพทุเรียนเพื่อจำแนกระดับความสุก-ดิบได้ดียิ่งขึ้น

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. M. Z. Hashim, M. H. A. K. Bahri, S. M. Abd Ghani, M. D. Sulistiyo, K. A. M. Kassim, and N. A. H. Zahri, "An Introduction to A Smart Durian Musang King and Durian Kampung

- Classification”, in *2022 2nd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*, IEEE, 2022, pp. 1-6.
- [2] J. N. Uy and J. F. Villaverde “A durian variety identifier using canny edge and CNN”, in *2021 IEEE 7th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)*, IEEE, 2021, pp. 293-297.
- [3] J. R. Balbin, J. A. I. Alday, C. O. Aquino, and M. F. G. Quintana, “Durio Zibethinus ripeness determination and variety identification using principal component analysis and support vector machine”, in *10th International Conference on Graphics and Image Processing (ICGIP)*, Chengdu, PEOPLES R CHINA, 2018, pp. 475-480.
- [4] A. P. Bhandarkar, A. N. Alaguraj, and S. S. Madhugiri, "Detection of fruit ripeness using image processing," *International Journal of Computer Vision and Image Processing*, vol. 12, no. 3, pp. 1–15, 2021.
- [5] C. C. Olisah, B. Trewella, B. Li, M. L. Smith, B. Winstone, E. C. Whitfield, F. Fernandez Fernandez, and H. Duncalfe, "Convolutional neural network ensemble learning for hyperspectral imaging-based blackberry fruit ripeness detection in uncontrolled farm environment," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 132, no. 107945, Jun 2024.
- [6] B. Xiao, M. Nguyen, and W. Q. Yan, "Fruit ripeness classification using YOLOv8 model," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 83, no. 2, pp. 28039–28056, Aug. 2023.
- [7] Suharjito, F. A. Junior, Y. P. Koeswandy, D. Pratiwi, W. Nurhayati, M. Asrol, and Marimin, "Annotated datasets of oil palm fruit bunch piles for ripeness grading using deep learning," *Scientific Data*, vol. 10, article no. 72, Feb. 2023.
- [8] P. K. Mishra, R. Jain, and D. Singh, "Fruit ripeness detection using convolutional neural networks," *Journal of Emerging Trends in Information Research (JETIR)*, vol. 5, no. 7, pp. 573–580, Apr. 2023.
- [9] S. Sukkasem, W. Jitsakul, and P. Meesad, "Durian ripeness classification using deep transfer learning," in *Proceedings of the 20th International Conference on Computing and Information Technology*, (IC2IT 2024), 2024, pp. 150–161.
- [10] A. Muthulakshmi and P. N. Renjith, "Durian ripeness classification using machine learning," in *Proceedings of the 2020 5th International Conference on Intelligent Information Technology*, 2020, pp. 190–195.
- [11] F. Yi and I. Moon, “Image segmentation: A survey of graph-cut methods,” in *2012 International Conference on Systems and Informatics*, (ICSAI2012), Yantai, China, 2012, pp. 1936-1941.
- [12] C. Rother, V. Kolmogorov, and A. Blake, “GrabCut interactive foreground extraction using iterated graph cuts,” *ACM transactions on graphics (TOG)*, vol. 23, no. 3, pp. 309-314, Aug. 2004.
- [13] O. R. Vincent and O. Folorunso, “A descriptive algorithm for Sobel image edge

- detection,” in *Proceedings of Informing Science & IT Education Conference*, (InSITE), 2009, pp. 97-107.
- [14] L. Han, Y. Tian, and Q. Qi, “Research on edge detection algorithm based on improved sobel operator”. in *2019 International Conference on Computer Science Communication and Network Security*, (CSCNS2019), MATEC Web of Conferences, 2020.
- [15] A. Shervine, “Cheatsheet: Convolutional Neural Networks,” [Online]. Available: <https://stanford.edu/~shervine/teaching/cs-230/cheatsheet-convolutional-neural-networks>. [Accessed: Mar., 26, 2024].
- [16] Z. Li, F. Liu, W. Yang, S. Peng, and J. Zhou, "A survey of convolutional neural networks: analysis, applications, and prospects," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 33, no. 12, pp. 6999-7019, Jun. 2021.
- [17] N. Ketkar and J. Moolayil, "Convolutional neural networks," in *Deep Learning with Python: Learn Best Practices of Deep Learning Models with PyTorch*, 2021, pp. 197-242.
- [18] D. Theckedath and R. R. Sedamkar, "Detecting affect states using VGG16, ResNet50 and SE-ResNet50 networks," *SN Computer Science*, vol. 1, p. 79, Mar. 2020.
- [19] S. Mascarenhas and M. Agarwal, "A comparison between VGG16, VGG19 and ResNet50 architecture frameworks for Image Classification," in *2021 International Conference on Disruptive Technologies for Multi-Disciplinary Research and Applications*, (CENTCON), Bengaluru, India, 2021, pp. 96-99.
- [20] M. Z. Alom, T. M. Taha, C. Yakopcic, S. Westberg, P. Sidike, M. S. Nasrin, and V. K. Asari, "The history began from AlexNet: A comprehensive survey on deep learning approaches," arXiv preprint, arXiv:1803.01164, 2018.

# สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลและถ่านจากเศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร

นริส ประทินทอง<sup>1</sup> สร้อยดาว วินิจนันท์รัตน์<sup>2\*</sup> นารีรัตน์ สุขชี<sup>2</sup> พิสิฐพงษ์ อินทรพงษ์<sup>3</sup> และ อัจฉรีย์ มานะกิจ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup>กลุ่มวิจัยการจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อชุมชนและเศรษฐกิจหมุนเวียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>3</sup>ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>4</sup>กรมการพัฒนาชุมชน กระทรวงมหาดไทย

<sup>1,2</sup>126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

<sup>3</sup>209 หมู่ 1 ตำบลรางบัว อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี 70150

<sup>4</sup>120 หมู่ 3 ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

รับบทความ 6 สิงหาคม 2567 แก้ไขบทความ 17 มกราคม 2568 ตอรับบทความ 11 มีนาคม 2568

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้ง 4 กลุ่ม ได้แก่ กะลา เปลือก เปลือกติดกะลา และ ทะลายเปล่า จากอุตสาหกรรมทางการเกษตรในจังหวัดราชบุรีและสมุทรสงครามมาวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิง และ ถ่านที่ได้มากระบวนกาเผาทั้งจากเตาหลุมและเตาถังขนาด 200 ลิตร วิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน D3172-13(2021)e1 วิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยบอมบ์ แคลอริมิเตอร์ และวิเคราะห์โดยละเอียดได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ รวมทั้งการนำไปอัดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และถ่านอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างเพียงเล็กน้อยในค่าความร้อนสูงของวัสดุที่นำมาทดสอบ ซึ่งแตกต่างกันไปตามกลุ่มและแหล่งที่มา ค่าความร้อนของเศษมะพร้าวเหลือทิ้งอยู่ในช่วง 17.38 ถึง 20.48 เมกะจูล/กิโลกรัม ขณะที่ถ่านจากเศษวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้อยู่ในช่วง 24.14 ถึง 31.84 เมกะจูล/กิโลกรัม พบว่าค่าความร้อนเชื้อเพลิง ที่ได้จากทั้งสองเตามีค่าใกล้เคียงกัน โดยกะลาแสดงค่าความร้อนสูงที่สุด รองลงมาคือ เปลือกติดกะลา การทำนายค่าความร้อนของถ่านด้วยสมการที่นำเสนอโดย Demirbas บนการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณให้ผลที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งสะดวกต่อการใช้งานในทางปฏิบัติ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษมะพร้าว น้ำหอมที่เหมาะสมได้แก่ชีวมวลจากเปลือกมะพร้าวและถ่านจากกะลามะพร้าวเนื่องจากให้ค่าความร้อนมากกว่า 20 เมกะจูล/กิโลกรัม

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงชีวมวล; ถ่าน; มะพร้าวอ่อน

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 1443 6054, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: soydoa.vin@mail.kmutt.ac.th

# Biofuel and Charcoal Properties of Discarded Aromatic Coconut Residues from Agro-industry

Naris Pratinthong<sup>1</sup> Soydoa Vinitnantharat<sup>2\*</sup> Nareerat Sukkhee<sup>2</sup>  
Pisitpong Intarapong<sup>3</sup> and Atcharee Manakij<sup>4</sup>

<sup>1</sup>School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

<sup>2</sup>Environmental and Energy Management for Community and Circular Economy Research Group, King Mongkut's University of Technology Thonburi

<sup>3</sup>Ratchaburi Educational Service Center, King Mongkut's University of Technology Thonburi

<sup>4</sup>Department of Community Development, Ministry of Interior

<sup>1,2</sup>126 Pracha-uthit road, Thung Kru, Bangmod, Bangkok, 10140

<sup>3</sup>209 Moo 1 Rang Bua, Chom Bueng District, Ratchaburi, 70150

<sup>4</sup>120 Moo 3 The Government Complex Rattthaprasasanabhakti, Laksi District, Bangkok, 10210

---

*Received 6 August 2024; Revised 17 January 2025; Accepted 11 March 2025*

## Abstract

This research aims to utilize four types of discarded aromatic coconut waste, namely coconut shells, husks, husk with attached shells, and empty fruit bunches obtained from the agriculture industries in Ratchaburi and Samut Songkhram provinces, to analyze their fuel properties and charcoal produced from both a pit kiln and 200-liter drum kiln. The proximate analysis included moisture content, ash, volatile matter, and fixed carbon according to the ASTM D3172-13(2021)e1 standard. The study also evaluated the calorific value using a bomb calorimeter and conducted an ultimate analysis of carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, and sulfur contents. Additionally, the study investigated the potential for briquetting biomass fuel and charcoal using cassava starch as a binder. The results showed minor differences in the high heating value (HHV) of the materials, which varied according to their group and origin. The HHV of the coconut wastes ranged from 17.38 to 20.48 MJ/kg, while the charcoal produced from these materials ranged from 24.14 to 31.84 MJ/kg. The HHV from both kiln types were similar, with coconut shells yielding the HHV, followed by husks with attached shells. The predicted HHV of the charcoal, based on the equation proposed by Demirbas from the proximate analysis data, showed an average deviation of less than 5%, which is practical for applications. The most suitable biomass fuel for briquetting was found to be coconut husk biomass and coconut shell charcoal, as both provided HHVs exceeding 20 MJ/kg.

**Keywords :** Biofuel; Charcoal; Young coconut

---

*\* Corresponding Author. Tel.: +668 1443 6054, E-mail Address: soydoa.vin@mail.kmutt.ac.th*

## 1. บทนำ

พลังงานทดแทนมีบทบาทสำคัญในทศวรรษที่ผ่านมา เมื่อราคาน้ำมันและแก๊สธรรมชาติปรับตัวสูงขึ้นและความผันผวนไม่แน่นอนจากสถานการณ์โลกที่มีแนวโน้มรุนแรงขึ้น ดังนั้นการพึ่งพาตนเองโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาแปลงเป็นพลังงานจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สร้างความยั่งยืนให้กับประเทศได้ พืชเศรษฐกิจหนึ่งของไทยที่มีการขยายตัวสูงคือมะพร้าว น้ำหอม โดยในปี พ.ศ. 2565 มีพื้นที่เพาะปลูก 88,510 ไร่ และมีมูลค่าการผลิตสูงถึง 6,075 ล้านบาท [1] การผลิตน้ำมะพร้าวบรรจุขวด หรือมะพร้าวลูกพร้อมดื่ม จะมีเศษมะพร้าวเหลือทิ้งอยู่เป็นปริมาณมาก โดยทะเลยมะพร้าวมีผลเฉลี่ย 9-10 ผล น้ำหนักสดเฉลี่ย 20 กิโลกรัม มีส่วนที่บริโภคได้เพียงร้อยละ 25 โดยเป็นเปลือกติดกะลาร้อยละ 65 และทะเลยมะพร้าวร้อยละ 10 ของน้ำหนักทั้งทะเลยมะพร้าว [2] มะพร้าว น้ำหอม 1 ผลจากทะเลยมะพร้าวที่มีผล 10 ผลมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.73 กิโลกรัม [3] ดังนั้นหากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว น้ำหอมมีการใช้มะพร้าว น้ำหอมสด 1 ตันต่อวัน จะมีเศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้งถึง 0.75 ตันต่อวัน ดังนั้นอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว น้ำหอมจึงนำเศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้งไปถมที่ดิน ทำปุ๋ย ผังกลบ และเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเกษตรกรพบว่า ร้อยละ 53.4 มีการจัดการเศษมะพร้าว น้ำหอมน้อย มักจะกองทิ้งไว้ในสวนหรือเผาทิ้งเป็นส่วนใหญ่ [4] ทำให้เกิดมลภาวะในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยในการนำเศษมะพร้าวเหลือทิ้งไปใช้ในรูปแบบของพลังงาน โดยพบว่าถ่านจากเปลือกมะพร้าว น้ำหอมผลิตด้วยเตาเผาถ่านไร้ควันได้คุณภาพของถ่านเช่นเดียวกับถ่านไม้ไผ่ [5] การทำถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวแก่ ที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าวต่อแป้งมันสำปะหลังที่ 55 ต่อ 50 กรัมเป็นส่วนที่ดีที่สุดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [6] และสามารถใช้ขุยมะพร้าวผสมกับมูลสัตว์และซีลี้อยเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้ [7] การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นวิธี

ที่ทำได้ง่าย สะดวกในการจัดเก็บและขนส่ง และงานวิจัยที่ใช้เศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้งเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมีอยู่น้อย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเศษมะพร้าวเหลือทิ้ง (เปลือก กะลา เปลือกติดกะลา และทะเลยมะพร้าว) และถ่านที่ผลิตได้ โดยมีสมมติฐานว่าแหล่งการปลูกมะพร้าว และวิธีการปลูกมะพร้าว น้ำหอมที่ต่างกัน ของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการปลูกแบบอินทรีย์ในจังหวัดราชบุรี และการปลูกมะพร้าว น้ำหอมแบบดั้งเดิมโดยชุมชนในจังหวัดสมุทรสงคราม รวมถึงกรรมวิธีการผลิตถ่าน (เตาหลุม และเตาถัง) อาจส่งผลต่อคุณภาพของชีวมวล และถ่านที่ผลิตได้ เพื่อพิจารณาศักยภาพความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน เพิ่มมูลค่าให้กับเศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้งให้เป็นแหล่งพลังงานสำรองทางเลือกและเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์ ต่อไป

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินงานวิจัยโดยรวม สรุปได้ดังรูปที่ 1



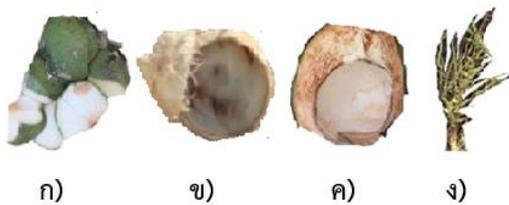
รูปที่ 1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

### 2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ประกอบด้วย เศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้ง และเตาเผ่าถ่าน

2.1.1 เศษมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้ง

เศษมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้งในการศึกษานี้เป็นมะพร้าวน้ำหอมพันธุ์กันจิบ นำมาจากชุมชนในพื้นที่จังหวัดสมุทรสงคราม และจากอุตสาหกรรมผู้ผลิตมะพร้าวอินทรีย์ จังหวัดราชบุรี เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตและมีเศษมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้งมาก จำแนกชิ้นส่วนออกได้เป็น 4 กลุ่มได้แก่ เปลือก กะลา เปลือกติดกะลา และทะเลาะเปล่า ดังรูปที่ 2 นำไปตากแดดให้แห้งเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเผาให้เป็นถ่าน



รูปที่ 2 เศษมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้ง ก) เปลือก ข) กะลา ค) เปลือกติดกะลา ง) ทะเลาะเปล่า

2.1.2 เตาเผาถ่าน

เตาเผาถ่านที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่เตาเผาถ่านชาวบ้านแบบหลุม และเตาสมัยใหม่แบบเตาถัง

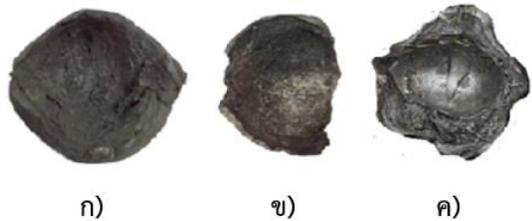
เตาเผาแบบหลุมมีความลึก 2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร ดังรูปที่ 3



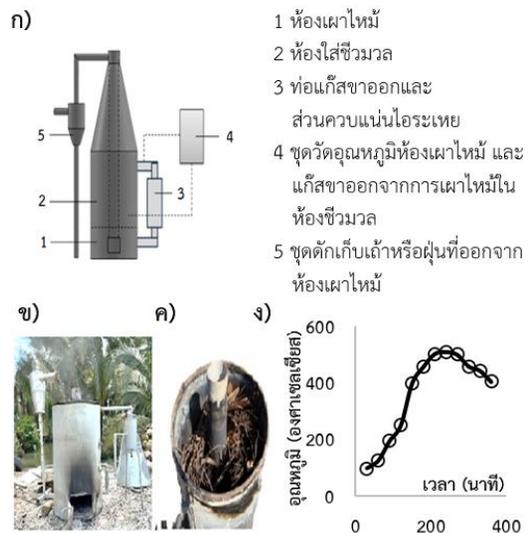
รูปที่ 3 เตาเผาถ่านแบบเตาหลุม ก) เตาหลุมหลังใส่ชีวมวล ข) เตาหลุมระหว่างเผา

เตาหลุมมีการวางไม้เป็นฐานก่อนแล้วนำเปลือกติดกะลา จากจังหวัดสมุทรสงคราม น้ำหนักประมาณ 58 กิโลกรัม ใส่ในหลุมจนเต็มพื้นที่ ใช้สั้งกะสี

วางคลุมทับก่อนกลบด้วยดินอีกหนึ่งชั้น เหลือพื้นที่สำหรับจุดไฟเข้าไปในเตาเผา นำสั้งกะสีมาฉนวนทำเป็นปล่องควันด้านบน หลังจุดไฟเข้าเตาเผาแล้ว ปิดเตาด้วยดินให้สนิทเหลือเพียงปล่องควัน ใช้เวลาในการเผา 3 วัน หรือสังเกตควันไฟจากปล่องควันว่าหมดแล้ว จึงเปิดเตาเผา แล้วใช้น้ำดับความร้อนที่ระอุที่ตัวถ่านเพื่อไม่ให้ถ่านติดไฟจนกลายเป็นเถ้า นำถ่านไปตากแดดประมาณ 3-5 วัน จนแห้ง ได้ปริมาณถ่านคิดเป็นร้อยละ 12 เมื่อผลิตเป็นถ่านแล้ว สามารถแยกกะลาออกจากเปลือกได้ (รูปที่ 4)



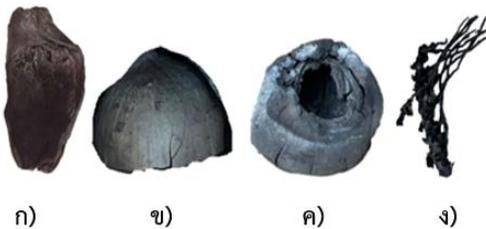
รูปที่ 4 ถ่านเปลือกมะพร้าวติดกะลาจากเตาหลุม ก) เปลือก ข) กะลา ค) เปลือกติดกะลา



รูปที่ 5 เตาเผาถ่านแบบถัง ก) ภาพร่างชุดเตาเผา ข) เตาเผาพร้อมอุปกรณ์ดักเก็บเถ้า ค) หอ้งใส่ชีวมวล ง) อุณหภูมิหอ้งเผาถ่านที่วัดได้

เตาเผาแบบถัง 200 ลิตร ประกอบด้วย 1) ห้องเผาไหม้ 2) ห้องใส่ชีวมวล 3) ท่อแก๊สขาออกและ ส่วนควบแน่นไอระเหย 4) ชุดวัดอุณหภูมิห้องเผาไหม้ และแก๊สขาออกจากการเผาในห้องใส่ชีวมวลและ 5) ชุด ดักเก็บเถ้าหรือฝุ่นที่ออกจากห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 5

การผลิตถ่านเริ่มจากนำเศษมะพร้าว น้ำหอม เหลือทิ้ง ได้แก่ เปลือกติดกะลา กะลา และทะเลาะเปลี่ยน จากจังหวัดราชบุรี ใส่ลงในห้องใส่ชีวมวลมีน้ำหนักเฉลี่ย 25 กิโลกรัมต่อครั้ง (เผาแยกกับเปลือกติดกะลาจาก จังหวัดสมุทรสงคราม) ปิดฝาด้านบนให้สนิท จุดไฟในห้องเผาไหม้ผ่านช่องเปิดด้านล่าง และเติมเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง ไอน้ำและสารระเหยจากชีวมวล ถูกควบแน่น ผ่านท่อที่ต่อกับห้องใส่ชีวมวล ใช้เวลาในการเผา 4-6 ชั่วโมง จนกระทั่งไม่มีควันขาวหรือซินแก๊ส (Syngas) ซึ่ง ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ปลอยเตาเผาให้อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส จึงนำ ถ่านออกจากถัง ถ่านจากการผลิตด้วยเตาถัง (รูปที่ 6) ได้ ผลผลิตของถ่านจากเปลือก กะลา และเปลือกติดกะลา โดยเฉลี่ยร้อยละ 24 และถ่านจากทะเลาะร้อยละ 18



รูปที่ 6 ถ่านจากเตาเผาแบบถัง 200 ลิตร  
ก) เปลือกมะพร้าว ข) กะลามะพร้าว  
ค) ทะเลาะเปล้า ง) เปลือกติดกะลา

## 2.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อน ปริมาณกลุ่มสาร โดยประมาณ และสมบัติทางเคมีโดยละเอียด

การวิจัยนี้ได้นำเศษมะพร้าว น้ำหอมเหลือทิ้ง และถ่านที่ผลิตได้มาวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสาร โดยประมาณ (Proximate Analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ตามวิธีในมาตรฐาน

ของสมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน ASTM D 3172-13 (2021)e1 [8] ที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) และ ปริมาณคาร์บอนคงตัว คำนวณดังสมการที่ (1)

$$FC = 100 - (M + A + V) \tag{1}$$

โดยที่  $FC$ ,  $M$ ,  $A$  และ  $V$  ได้แก่ ร้อยละคาร์บอนคงตัว ความชื้น เถ้า และสารระเหย ตามลำดับ วิเคราะห์ค่า ความร้อน ด้วยเครื่อง บอมบ์ แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ LECO รุ่น AC-350 ประเทศ สหรัฐอเมริกา สมบัติทางเคมีโดยละเอียด (Ultimate Analysis) ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ด้วยเครื่อง Elemental Analysis ยี่ห้อ LECO รุ่น CHN628 ประเทศสหรัฐอเมริกา และ ซัลเฟอร์ ด้วย เครื่อง Sulfur Analyzer ยี่ห้อ LECO รุ่น 628S ประเทศ สหรัฐอเมริกา ที่สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงาน ต้นแบบ มจธ. โดยการวิเคราะห์ทำซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับ ปริมาณออกซิเจน คำนวณดังสมการที่ (2)

$$O = 100 - (C + H + N + S) \tag{2}$$

โดยที่  $O$ ,  $C$ ,  $H$ ,  $N$ ,  $S$  ได้แก่ ร้อยละของออกซิเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ตามลำดับ การคำนวณหาสูตรโมเลกุลในรูป  $CH_xO_yN_z$  ทำโดยการหาสัดส่วนโดยโมลของ ไฮโดรเจนต่อคาร์บอน ( $H/C$ ) ออกซิเจนต่อคาร์บอน ( $O/C$ ) และ ไนโตรเจนต่อ คาร์บอน ( $N/C$ ) ด้วยการหารค่าร้อยละน้ำหนักของแต่ละธาตุด้วยเลขมวลของธาตุเพื่อหาค่า  $a$ ,  $b$  และ  $c$

## 2.3 การทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง และถ่านอัดแท่ง

การทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ใช้เฉพาะ เปลือกตากแห้งแล้วจากจังหวัดสมุทรสงคราม คัดความ ยาวอยู่ในช่วง 5-7 เซนติเมตร ส่วนถ่านอัดแท่งใช้เฉพาะ

ถ่านกะลา จากจังหวัดสมุทรสงคราม และจังหวัดราชบุรี นำมาผสมกับตัวประสานที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังที่เคี้ยวจนเป็นกาวใสแล้ว (แป้ง 10 กรัมในน้ำ 100 มิลลิลิตร) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักเปลือกหรือถ่านต่อตัวประสาน 100 ต่อ 10 [9] นวดให้เข้ากัน แล้วนำไปใส่ในกระบอกสุบอัดแท่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ดังรูปที่ 7 ปรับกระบอกสุบให้มีความยาวสำหรับการอัดเปลือก และถ่านเท่ากับ 8 และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ อัดด้วยแรงคนที่แรงเท่า ๆ กัน จากนั้นนำเชื้อเพลิงอัดแท่งออก เพื่อนำไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 3-5 วัน ได้น้ำหนักแห้งเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกมะพร้าว และถ่านอัดแท่งเท่ากับ  $29.2 \pm 0.1$  และ  $53.6 \pm 4.4$  ตามลำดับ ก่อนนำไปวิเคราะห์หาค่าความร้อน ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณ ความหนาแน่น และดัชนีแตกร่วน



รูปที่ 7 อุปกรณ์สำหรับอัดแท่ง PVC

การหาค่าดัชนีแตกร่วนทำโดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ถุงพลาสติก แล้วปล่อยจากที่สูง 2 เมตร ลงสู่พื้นคอนกรีต จากนั้นนำก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งส่วนที่เหลือดังกล่าวไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าดัชนีแตกร่วนดังสมการที่ (3) [10]

$$R = \frac{W_i}{W_f} \quad (3)$$

โดยที่  $R$  คือดัชนีแตกร่วน  $W_i$  และ  $W_f$  คือน้ำหนักก้อนอัดแท่งก่อนและหลังทดสอบ ตามลำดับ (กรัม)

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดย

##### ประมาณ

ผลวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณ แสดงในตารางที่ 1 พบว่าค่าความชื้นของเศษมะพร้าว น้ำหอมแห้งก่อนเผาอยู่ในช่วงร้อยละ 1.17-7.13 และ ถ่านอยู่ในช่วงร้อยละ 0.09-6.12 ความชื้นนี้มีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง เพราะความชื้นสูงทำให้สูญเสียความร้อนไปกับการระเหยของน้ำในระหว่างการเผาไหม้ ปริมาณเถ้าของเศษมะพร้าว น้ำหอมแห้งก่อนเผา มีปริมาณน้อยมาก (ร้อยละ 1.64-7.16) เมื่อผลิตเป็นถ่าน พบว่าปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น (5.08-20.24) การมีปริมาณเถ้าสูง ทำให้ยุ่งยากในการกำจัด และเกิดตะกรันได้ ซึ่งปริมาณเถ้าไม่ควรเกินร้อยละ 20 [11] ค่าความร้อนของเศษมะพร้าว น้ำหอมแห้งก่อนเผาอยู่ในช่วง 17.38-20.48 เมกะจูล/กิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [11] โดยการผลิตถ่านด้วยเตาถัง และเตาหลุมให้ค่าความร้อนไม่แตกต่างกัน แต่ถ่านจากสมุทรสงครามมีค่าความร้อนและคาร์บอนคงตัวสูงกว่าจากราชบุรี ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับแหล่งที่มาของมะพร้าวที่แตกต่างกัน เนื่องจากดินที่ปลูกอาจมีผลต่อสมบัติทางเคมีของเศษมะพร้าว โดยเศษมะพร้าว น้ำหอมจากจังหวัดราชบุรี มาจากสวนมะพร้าวอินทรีย์ ส่วนแหล่งมะพร้าวจากสมุทรสงครามมาจากมะพร้าวที่ชุมชน แบบดั้งเดิม

ปริมาณคาร์บอนคงตัวของทะเลาะเปล้า และกะลาจากราชบุรี มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ เนื่องจากมะพร้าวอ่อนมีกะลาที่บางและมีเนื้อมะพร้าวติดอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับมะพร้าวแก่ แต่กะลามะพร้าวอ่อนมีปริมาณสารระเหยสูงกว่าเปลือก จึงทำให้มีค่าความร้อนสูง และพบว่าค่าคาร์บอนคงตัวของเปลือกมีค่าสูงกว่ากะลา สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [12] ที่พบว่า มีคาร์บอนคงตัวของเปลือกและกะลาเท่ากับร้อยละ 24.9

และ 22.1 สารระเหยเท่ากับร้อยละ 46.4 และ 77.2 ตามลำดับ ปริมาณสารระเหยของเศษมะพร้าวแห้งก่อนเผาที่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 74.22-85.04 ซึ่งปริมาณสารระเหยสูงมีแนวโน้มที่ค่าความร้อนสูงด้วยเศษมะพร้าวแห้งเมื่อทำให้เป็นถ่านแล้วทำให้มีค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนสูงขึ้น ส่วนปริมาณสารระเหยลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยผลิตถ่านจากเปลือกมะพร้าวแห้ง จังหวัดราชบุรี พบว่าค่าคาร์บอนคงตัวของเปลือกและถ่านที่ผลิตได้เท่ากับร้อยละ 22.48 และ 73.48 และความร้อนเท่ากับ 17.06 และ 28.71 เมกะจูล/กิโลกรัม ตามลำดับ [5] ผลการศึกษาพบว่าถ่านที่ผลิตได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง และมีเพียงถ่านจากกะลาที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม [13]

### 3.2 ผลการวิเคราะห์โดยละเอียด

การวิเคราะห์โดยละเอียดเป็นการหาร้อยละของ C, H, N, O, S เพื่อใช้หาค่าความร้อนจากการเผาไหม้ และสูตรโมเลกุล ดังแสดงในตารางที่ 2

อัตราส่วน O/C แสดงถึงควมมีเสถียรภาพ (Stability) เศษมะพร้าวแห้งมีค่า O/C อยู่ในช่วง 0.65-0.74 เมื่อนำมาทำให้เป็นถ่าน ค่า O/C ลดลงเหลืออยู่ในช่วง 0.01-0.42 อัตราส่วน H/C บ่งบอกถึงความเป็นแอโรแมติก (Aromaticity) โดยเศษมะพร้าวแห้งมีค่าในช่วง 1.52-1.67 และมีค่าลดลงเมื่อเป็นถ่าน โดยอยู่ในช่วง 0.43-0.86 European Biochar Certificate (EBC) กำหนดให้อัตราส่วน O/C และ H/C ของถ่านชีวภาพ (Biochar) ควรมีค่าน้อยกว่า 0.4 และ 0.7 ตามลำดับ [14] ซึ่งถ่านที่ผลิตจากเศษมะพร้าวแห้งเหลือทิ้งที่มีค่าผ่านเกณฑ์ EBC ยกเว้นทะเลาะเปล่านั้นมีค่า O/C สูงเกินเกณฑ์ และ เศษเหลือทิ้งจากมะพร้าวของจังหวัดราชบุรี ได้แก่เปลือก และเปลือกติดกะลา มีค่า H/C เกินเกณฑ์ การลดลงของอัตราส่วน O/C และ

H/C ดังกล่าว เกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลในระหว่างการให้ความร้อนเกิดเป็นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแก๊สอื่น ๆ ในระหว่างการผลิตถ่าน ทั้งนี้ การผลิตถ่านเป็นกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) อุณหภูมิในการเผาไหม้โดยทั่วไปประมาณ 400 องศาเซลเซียส [15] และการผลิตถ่านจากเปลือกมะพร้าว และกะลามะพร้าวด้วยเตาเผา 200 ลิตร มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 378 องศาเซลเซียส และ 704 องศาเซลเซียส ตามลำดับ [16] ซึ่งสามารถทำให้เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ถูกย่อยสลายได้ด้วยความร้อน โดยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ถูกย่อยสลายได้เร็วที่อุณหภูมิ 315-400 องศาเซลเซียส และ 220-315 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนลิกนินย่อยสลายได้ยากกว่า โดยเกิดขึ้นได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง (160-900 องศาเซลเซียส) แก๊สส่วนใหญ่ที่เกิดจากการย่อยสลายเซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส ได้แก่คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ตามลำดับ ส่วนการย่อยสลายลิกนิน เกิดแก๊สไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และมีเทน (CH<sub>4</sub>) [17] ค่าความร้อนของลิกนินอยู่ในช่วง 23.26-25.58 เมกะจูล/กิโลกรัม สูงกว่าพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีค่าความร้อน 18.6 เมกะจูล/กิโลกรัม และสารสกัด (Extractives) ให้ค่าความร้อนสูงกว่า 30 เมกะจูล/กิโลกรัม [18] โดย Wang และ Sarkar [19] รายงานว่าเปลือกและกะลามะพร้าวมีปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละ 54-65) มากกว่าปริมาณลิกนิน (ร้อยละ 30-42) โดยกะลามะพร้าวมีปริมาณเซลลูโลสมากกว่าเปลือก ขณะที่ Lomeli-Ramirez et al. [20] รายงานว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนมีปริมาณเซลลูโลส น้อยกว่าลิกนิน โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 29.96 และ 35.46 ตามลำดับ สูตรโมเลกุลของเศษมะพร้าวแห้งและถ่านช่วยบอกประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีปริมาณไฮโดรเจนต่ำ เมื่อเผาไหม้จะเกิดโมเลกุลของน้ำต่ำ และให้ค่าความร้อนสูงกว่าได้

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์กลุ่มสารโดยประมาณของเศษวัสดุเหลือทิ้งและถ่านที่ผลิตได้

| ชนิดของวัสดุ                      | การวิเคราะห์โดยประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) |            |            |              | ค่าความร้อน<br>(เมกะจูล/<br>กิโลกรัม) | หมายเหตุ    |
|-----------------------------------|--|------------|------------|--------------|---------------------------------------|-------------|
|                                   | ความชื้น                                 | เถ้า       | สารระเหย   | คาร์บอนคงตัว |                                       |             |
| <b>1. เศษมะพร้าวหั่นหอมแห้ง</b>   |  |            |            |              |                                       |             |
| <b>1.1 เปลือกมะพร้าว</b>          |  |            |            |              |                                       |             |
| ราชบุรี                           | 3.51±0.57                                | 6.05±0.27  | 75.37±1.56 | 15.07±2.34   | 17.52±0.26                            |             |
| สมุทรสงคราม                       | 4.73±1.18                                | 4.90±0.14  | 74.22±0.19 | 16.15±1.04   | 18.39±0.13                            | -           |
| <b>1.2 กะลามะพร้าว</b>            |  |            |            |              |                                       |             |
| ราชบุรี                           | 7.13±0.20                                | 1.64±0.27  | 85.04±1.33 | 6.19±1.44    | 19.70±1.33                            |             |
| สมุทรสงคราม                       | 6.44±0.13                                | 2.01±0.24  | 81.81±4.27 | 9.74±1.21    | 20.48±0.16                            | -           |
| <b>1.3 ทะลายเปล่า</b>             |  |            |            |              |                                       |             |
| ราชบุรี                           | 2.43±0.87                                | 6.76±0.46  | 80.17±2.48 | 10.64±2.91   | 17.38±0.14                            |             |
| สมุทรสงคราม                       | 1.17±0.31                                | 7.16±0.16  | 78.60±0.63 | 13.07±0.74   | 17.44±0.68                            | -           |
| มาตรฐานเชื้อเพลิง <sup>1</sup>    | < 8-10                                   | < 20       |            | > 15         | 12.56                                 |             |
| <b>2. ถ่าน</b>                    |  |            |            |              |                                       |             |
| <b>2.1 เปลือกมะพร้าว</b>          |  |            |            |              |                                       |             |
| ราชบุรี                           | 1.56±1.22                                | 10.18±1.06 | 25.94±1.65 | 56.27±2.49   | 24.53±0.38                            | ถ่านเตาถัง  |
| สมุทรสงคราม                       | 2.55±0.26                                | 12.67±0.41 | 8.90±0.13  | 75.88±0.30   | 28.43±0.14                            | ถ่านเตาถัง  |
|                                   | 4.17±0.61                                | 14.93±0.13 | 17.62±0.97 | 63.28±0.19   | 27.07±0.03                            | ถ่านเตาหลุม |
| <b>2.2 กะลามะพร้าว</b>            |  |            |            |              |                                       |             |
| ราชบุรี                           | 0.09±0.04                                | 5.08±0.63  | 24.07±2.78 | 70.76±4.71   | 31.84±0.47                            | ถ่านเตาถัง  |
| สมุทรสงคราม                       | 1.24±0.31                                | 7.45±0.47  | 9.88±0.92  | 81.43±0.74   | 31.40±0.09                            | ถ่านเตาถัง  |
|                                   | 3.5±0.75                                 | 6.67±1.28  | 15.51±0.87 | 74.32±2.24   | 31.25±0.14                            | ถ่านเตาหลุม |
| <b>2.3 ทะลายเปล่า</b>             |  |            |            |              |                                       |             |
| ราชบุรี                           | 2.35±0.40                                | 20.24±0.29 | 19.84±0.43 | 57.57±0.53   | 24.14±0.25                            | ถ่านเตาถัง  |
| <b>2.4 เปลือกติดกะลา</b>          |  |            |            |              |                                       |             |
| ราชบุรี                           | 6.12±1.29                                | 10.08±1.31 | 26.43±1.38 | 57.37±1.14   | 23.31±0.84                            | ถ่านเตาถัง  |
| สมุทรสงคราม                       | 1.97±0.22                                | 11.48±0.46 | 7.89±0.90  | 78.66±1.33   | 28.76±0.55                            | ถ่านเตาถัง  |
|                                   | 3.31±0.08                                | 13.04±2.28 | 14.73±0.88 | 68.92±1.56   | 28.54±0.99                            | ถ่านเตาหลุม |
| มาตรฐานถ่านอัดแท่ง <sup>2</sup>   | < 8                                      |            |            |              | 20.92                                 |             |
| มาตรฐานถ่านไม้หุงต้ม <sup>3</sup> | < 10                                     | <8         | 25         |              | 25.1                                  |             |
| มาตรฐานถ่านปิ้งย่าง <sup>4</sup>  | < 8                                      | <3         | <8         |              | 29.29                                 |             |

หมายเหตุ <sup>1</sup>กรมโรงงานอุตสาหกรรม [11] <sup>2</sup>มผช.238/2547 [13] <sup>3</sup>มผช 657/2547 [13] <sup>4</sup>มผช 658/2547 [13]

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์โดยละเอียดของเศษวัสดุเหลือทิ้งและถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งมะพร้าว น้ำหอม

| ชนิดของวัสดุ                    | การวิเคราะห์โดยละเอียด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) |           |           |            |           | สัดส่วนโมล |      | สูตรโมเลกุล   |
|---------------------------------|---|-----------|-----------|------------|-----------|------------|------|---|
|                                 | C   | H         | N         | O          | S         | O/C        | H/C  |   |
| <b>1. เศษมะพร้าว น้ำหอมแห้ง</b> |   |           |           |            |           |            |      |   |
| <b>1.1 เปลือกมะพร้าว</b>        |   |           |           |            |           |            |      |   |
| ราชบุรี                         | 45.58±0.73                                | 6.13±0.27 | 0.34±0.04 | 41.83±0.97 | 0.07±0.01 | 0.69       | 1.61 | CH <sub>1.61</sub> O <sub>0.69</sub> N <sub>0.006</sub> |
| สมุทรสงคราม                     | 45.93±0.09                                | 5.89±0.04 | 0.36±0.02 | 42.88±0.07 | 0.04±0.01 | 0.7        | 1.54 | CH <sub>1.54</sub> O <sub>0.69</sub> N <sub>0.006</sub> |
| <b>1.2 กะลามะพร้าว</b>          |   |           |           |            |           |            |      |   |
| ราชบุรี                         | 48.13±0.13                                | 6.27±0.08 | 0.17±0.01 | 43.74±0.20 | 0.05±0.01 | 0.68       | 1.56 | CH <sub>1.56</sub> O <sub>0.68</sub> N <sub>0.003</sub> |
| สมุทรสงคราม                     | 48.91±0.15                                | 6.19±0.04 | 0.26±0.01 | 42.59±0.18 | 0.04±0.01 | 0.65       | 1.52 | CH <sub>1.52</sub> O <sub>0.67</sub> N <sub>0.004</sub> |
| <b>1.3 ทะลายเปล่า</b>           |   |           |           |            |           |            |      |   |
| ราชบุรี                         | 43.46±0.13                                | 6.05±0.08 | 0.52±0.02 | 43.13±0.15 | 0.08±0.02 | 0.74       | 1.67 | CH <sub>1.67</sub> O <sub>0.74</sub> N <sub>0.01</sub>  |
| สมุทรสงคราม                     | 44.32±0.09                                | 5.98±0.06 | 0.66±0.02 | 41.82±0.13 | 0.06±0.01 | 0.71       | 1.62 | CH <sub>1.62</sub> O <sub>0.71</sub> N <sub>0.01</sub>  |
| <b>2. ถ่าน</b>                  |   |           |           |            |           |            |      |   |
| <b>2.1 เปลือกมะพร้าว</b>        |   |           |           |            |           |            |      |   |
| ราชบุรี                         | 65.60±4.60                                | 4.71±0.27 | 0.14±0.04 | 19.28±0.97 | 0.09±0.01 | 0.22       | 0.86 | CH <sub>0.86</sub> O <sub>0.22</sub> N <sub>0.001</sub> |
| สมุทรสงคราม                     | 76.68±0.15                                | 2.73±0.18 | 0.32±0.11 | 7.55±0.12  | 0.05±0.01 | 0.07       | 0.43 | CH <sub>0.43</sub> O <sub>0.07</sub> N <sub>0.003</sub> |
|                                 | 72.74±1.30                                | 3.53±0.04 | 0.45±0.02 | 8.13±0.01  | 0.22±0.01 | 0.08       | 0.58 | CH <sub>0.58</sub> O <sub>0.08</sub> N <sub>0.005</sub> |
| <b>2.2 กะลามะพร้าว</b>          |   |           |           |            |           |            |      |   |
| ราชบุรี                         | 78.03±0.13                                | 4.55±0.05 | 0.54±0.02 | 11.65±0.15 | 0.15±0.02 | 0.11       | 0.70 | CH <sub>0.70</sub> O <sub>0.11</sub> N <sub>0.006</sub> |
| สมุทรสงคราม                     | 78.17±0.25                                | 3.20±0.60 | 0.23±0.13 | 10.90±6.11 | 0.05±0.01 | 0.1        | 0.49 | CH <sub>0.49</sub> O <sub>0.10</sub> N <sub>0.002</sub> |
|                                 | 83.97±0.15                                | 3.48±0.04 | 0.35±0.01 | 5.93±0.18  | 0.10±0.01 | 0.05       | 0.50 | CH <sub>0.50</sub> O <sub>0.05</sub> N <sub>0.003</sub> |
| <b>2.3 ทะลายเปล่า</b>           |   |           |           |            |           |            |      |   |
| ราชบุรี                         | 69.25±1.38                                | 3.45±0.29 | 0.18±0.08 | 6.78±1.24  | 0.10±0.01 | 0.42       | 0.60 | CH <sub>0.60</sub> O <sub>0.42</sub> N <sub>0.002</sub> |
| <b>2.4 เปลือกติด</b>            |   |           |           |            |           |            |      |   |
| <b>กะลา</b>                     |   |           |           |            |           |            |      |   |
| ราชบุรี                         | 76.99±5.05                                | 4.95±0.45 | 0.30±0.16 | 7.59±5.48  | 0.09±0.01 | 0.07       | 0.77 | CH <sub>0.77</sub> O <sub>0.07</sub> N <sub>0.003</sub> |
| สมุทรสงคราม                     | 84.32±0.85                                | 3.35±0.12 | 0.57±0.01 | 0.22±0.90  | 0.05±0.03 | 0.01       | 0.48 | CH <sub>0.48</sub> O <sub>0.01</sub> N <sub>0.006</sub> |
|                                 | 72.19±0.25                                | 3.31±0.08 | 0.56±0.07 | 10.76±0.32 | 0.14±0.00 | 0.11       | 0.55 | CH <sub>0.55</sub> O <sub>0.11</sub> N <sub>0.006</sub> |

### 3.3 การประมาณค่าความร้อนสูงจากข้อมูลที่วัดได้

Kalivodovany et al. [21] ได้สรุปการใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์โดยละเอียดมาใช้คำนวณหาค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) ของชีวมวลโดยใช้สมการต่าง ๆ รวม 28 สมการ พบว่าสมการของ Strache-Lant ปี 1924 (สมการที่ 4) ซึ่งพัฒนาต่อจาก Dulong และสมการของ Grummel & Devis ปี 1933 (สมการที่ 5) ว่าเป็นสมการที่แม่นยำที่สุด ขณะที่ นงนุช ศรีเล็กและคณะ [22] ได้ทดสอบการใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารโดยประมาณและโดยละเอียดมาคำนวณหาค่าความร้อนสูงโดยใช้ 31 สมการ พบว่าสมการของ Demirbas (1997) เป็นสมการที่ดีที่สุดโดยใช้เพียงค่าคาร์บอนคงตัวมาคำนวณดังสมการที่ (6) และทั้ง 3 สมการ ให้ค่าจากการคำนวณแตกต่างจากค่าจริงไม่เกินร้อยละ 5

#### HHV

$$= 34.06C + 143.2H - 1.532 + 10.46S \quad (4)$$

$$= (1.552H + 98.75) \left( \frac{C}{3} + H - \left( \frac{O - S}{8} \right) \right) \quad (5)$$

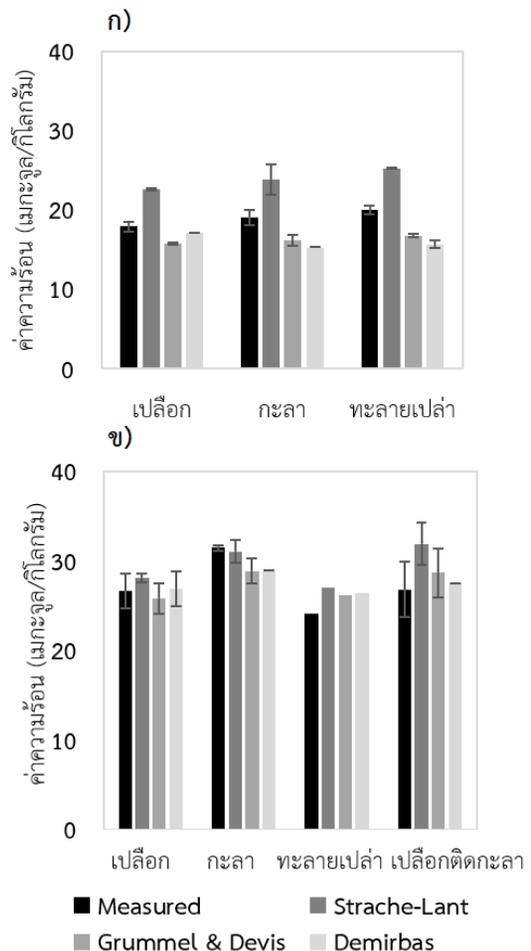
$$= 19.6FC + 14.119 \quad (6)$$

โดยที่ *HHV* คือค่าความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม) และ *C, H, O, S* ได้แก่ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ตามลำดับ

จากการนำข้อมูลเศษมะพร้าว น้ำหอมและถ่านที่ผลิตได้มาคำนวณหาค่าความร้อนสูงโดยใช้สมการที่ (4)-(6) ได้ผลดังรูปที่ 8

ผลการศึกษาพบว่าผลการคำนวณค่าความร้อนของเศษมะพร้าวด้วยสมการของ Demirbas ให้ค่าความแตกต่างจากค่าที่วัดจริงน้อยที่สุด (ร้อยละ 12.0) รองลงมาคือ Grummel & Devis (ร้อยละ 16.0) และ

Strache-Lant (ร้อยละ 22.3) ตามลำดับ สำหรับถ่านจากเศษมะพร้าวเหลือทิ้งที่ผลิตได้ ค่าร้อยละของความแตกต่างเรียงตามลำดับเช่นเดียวกันกับเชื้อเพลิงเศษมะพร้าว มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.8, 8.1 และ 8.1 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสมการ Demirbas มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ประมาณคำนวณหาปริมาณความร้อนของชีวมวลและถ่านจากเศษมะพร้าวเหลือทิ้งได้ แต่การนำมาใช้จะเหมาะสมกับเชื้อเพลิงถ่านมากกว่า เนื่องจากมีปริมาณความชื้น และสารระเหยต่ำ ทั้งนี้สามารถใช้วิธีวิเคราะห์กลุ่มสารโดยประมาณทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาลงได้อย่างมาก

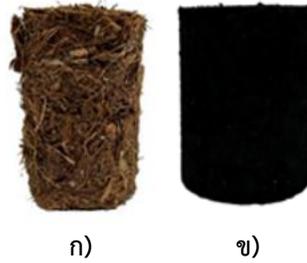


รูปที่ 8 ค่าความร้อนของเศษมะพร้าวเหลือทิ้งและถ่านที่ผลิตได้จากค่าที่วัดจริงและจากสมการต่าง ๆ  
 ก) เศษมะพร้าวแห้ง ข) ถ่าน

### 3.4 ผลวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง และ ถ่านชีวภาพอัดแท่ง

การอัดแท่งเปลือกมะพร้าวเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวภายหลังการตากแดดให้แห้งแล้ว

พบว่าสามารถชงรูปได้ดี ดังรูปที่ 9 มีความหนาแน่นต่ำกว่า 1.0 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงมีน้ำหนักเบา มีปริมาณความชื้น แฉ่ำ และค่าความร้อนอยู่ในเกณฑ์ของเชื้อเพลิง (ตารางที่ 3)



รูปที่ 9 เชื้อเพลิงอัดแท่ง ก) เชื้อเพลิงจากเปลือกมะพร้าว ข) ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว

ตารางที่ 3 สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลและถ่านชีวภาพอัดแท่ง

|                         | ความหนาแน่น<br>(กรัม/ลบ. ซม.) | ความชื้น<br>(ร้อยละโดยน้ำหนัก) | เถ้า<br>(ร้อยละโดยน้ำหนัก) | สารระเหย<br>(ร้อยละโดยน้ำหนัก) | คาร์บอนคงตัว<br>(ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ค่าความร้อน<br>(เมกะจูล/กิโลกรัม) | ดัชนี<br>แตกร่วน |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| <b>เชื้อเพลิงชีวมวล</b> |                               |                                |                            |                                |                                    |                                   |                  |
| เปลือกมะพร้าว           | 0.39±0.01                     | 8.53±0.18                      | 5.07±0.46                  | 76.26±1.10                     | 18.67±1.59                         | 20.04±0.59                        |                  |
| มาตรฐานเชื้อเพลิง*      | -                             | 8-10                           | 20                         | -                              | 15                                 | 12.56                             |                  |
| <b>ถ่านอัดแท่ง</b>      |                               |                                |                            |                                |                                    |                                   |                  |
| กะลามะพร้าว ราชบุรี     | 0.86±0.03                     | 2.61±0.29                      | 5.11±0.65                  | 32.41±0.86                     | 59.65±1.10                         | 27.93±0.38                        | 1.02±0.01        |
| กะลามะพร้าวสมุทรสงคราม  | 0.81±0.04                     | 3.35±0.49                      | 7.31±0.45                  | 18.15±0.66                     | 70.24±7.76                         | 28.92±1.57                        | 1.02±0.01        |
| มาตรฐานถ่านอัดแท่ง**    |                               | 8                              |                            |                                |                                    | 20.93                             |                  |

\*มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม [11] \*\*มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) [13]

### 4. สรุป

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้งพบว่าเปลือกมะพร้าวน้ำหอมแห้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิง ส่วนถ่านจากกะลามะพร้าวน้ำหอมผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่งและถ่านไม้หุงต้ม การผลิตถ่านด้วยเตาหลุมและเตาเผา ให้ค่าความร้อนไม่แตกต่างกัน โดยแหล่งที่มาจากจังหวัดสมุทรสงคราม มีค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนสูงกว่าจังหวัดราชบุรีเล็กน้อย

การประมาณค่าความร้อนสูงโดยใช้สมการของ Dermibas ให้ค่าความแตกต่างจากค่าจริงน้อยที่สุด และคำนวณได้จากค่าคาร์บอนคงตัวจึงสะดวกในการนำมาใช้เมื่อเทียบกับสมการอื่น การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ทั้งการนำเปลือกมะพร้าวน้ำหอมมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งโดยตรง และถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิง ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่และสร้างมูลค่าจากของเหลือทิ้งได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ภายใต้รหัสโครงการ FRB660073/0164 (แผนงานวิจัยเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนและครอบคลุมทั่วถึงบนฐานการพัฒนาเชิงพื้นที่และสร้างผลกระทบต่อชุมชน)

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ratchaburi Provincial Hall, "Ratchaburi Provincial Development Plan 2023-2027 (Revised version, Budget of year 2025)," [Online]. Available: <https://rbpho.moph.go.th/upload-file/doc/files/25122023-093716-6010.pdf>. [Accessed: Jul. 10, 2024].
- [2] P. Saradhulhat, M. Choorueng, S. Abdullakasm, and L. Phavaphutanon, "Macro-nutrient content in aromatic coconut produce," *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol. 42, suppl.3, pp. 192-197, 2014.
- [3] A. Sukdaeng, N. Jaroonchon, K. Krisanapook, and W. Imsabai, "Study on maturation stages of aromatic coconut fruit within the same bunch," *Journal of Agriculture Science and Management*, vol. 3, pp. 53-62, Sep.-Dec. 2020.
- [4] N. Ardong, B. Uprasert, and B. Keowan, "Extension needs of aromatic coconut waste management by farmers in Damnoen Saduak Districe, Ratchaburi Province," in *Proceeding of the 9th National and the 7th International*

*Conference on Research and Innovation Development for the Next Normal Society: Transition from the New Normal*, Northeastern University, 2022, pp. 1174-1185.

- [5] J. Chotiratanasak, T. Vitidsant, N. Chuenban, C. Chertchuwongtanakorn, P. Yoosabai, and J. Natakaranakul, "A Study on the carbonization of young coconut husks waste using a smokeless charcoal kiln," *Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology*, vol. 12, pp. 63-80, May-Aug. 2024.
- [6] W. Nunkong and K. Mekkaew, "Charcoal briquettes from coconut coir," *Academic Journal of Science and Technology Dhonburi Rajabhat University*, vol. 1, pp. 1-11, Jan.-Jun 2023.
- [7] N. Wichianphong, T. Juepanit, and P. Miangkae, "Production of fuel pellets from coconut coir dust mixed with biomass wastes," *Pibulsongkram Rajabhat University Journal of Science and Technology*, vol. 5, pp. 112-126, Sep.-Dec. 2020.
- [8] ASTM, "Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke," [Online]. Available: <https://store.astm.org/d3172-13r21e01.html>. [Accessed: Dec. 20, 2024].
- [9] S. R. Anggita, R. F. Devarasalya, I. Istikomah, and A. Bawono, "Utilization of LDPE plastic waste, coconut shell and coconut husk as basic material for briquettes with tapioca starch

- adhesive,” *Jurnal Ilmu Fiska*, vol. 15, no. 2, pp. 81–90. 2023.
- [10] C. Kumpapai, N. Boonthanom, T. Rodjananon, and J. Wongthanate, “The Efficiency comparison of fuel briquettes from agricultural wastes,” *The Journal of Industrial Technology*, vol. 16, pp. 28-38, Sep.-Dec. 2020.
- [11] Department of Industrial Works, “Guidelines and criteria for waste properties for fuel briquette processing and interlocking blocks,” [Online]. Available: <http://webintra.diw.go.th/iwmb/>. [Accessed: Jul. 15, 2024]
- [12] V. S. Morales III, J. C. Elauria, and M. M. Elauria, “Carbonization of young coconut (*Cocosnucifera*) wastes,” *Journal of the Japan Institute of Energy*, vol. 94, pp.1120-1128, Oct. 2015.
- [13] Thai Industrial Standards Institute, “Thai Community Product Standards,” [Online]. Available: <https://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>. [Accessed: Jul. 15, 2024].
- [14] EBC “European Biochar Certificate-Guidelines for a sustainable production of biochar, European Biochar Foundation (EBC): Arbaz, Switzerland,” [Online]. Available: [https://www.carbon-standards.com/docs/e71c07d0d6cfe1767107d54e743c90e2\\_version\\_en\\_10\\_1.pdf](https://www.carbon-standards.com/docs/e71c07d0d6cfe1767107d54e743c90e2_version_en_10_1.pdf). [Accessed: Jul. 30, 2024].
- [15] A. A. Rumaihi, M. Shahbaz, G. Mckay, H. Mackey, and T. A. Ansari, “A review of pyrolysis technologies and feedstock: A blending approach for plastic and biomass towards optimum biochar yield,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 167, p.112715, Oct. 2022.
- [16] S. Khawkomol, R. Neamchan, T. Thongsamer, S. Vinitnantharat, B. Panpradit, P. Sohsalam, D. Werner, and W. Mroziak, “Potential of biochar derived from agricultural residues for sustainable management,” *Sustainability*, vol. 13, no. 15, p. 8147, 2021.
- [17] H. Yang, R. Yan, H. Chen, D. H. Lee and C. Zheng, “Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis,” *Fuel*, vol. 86, no. 12–13, pp. 1781-1788, Aug. 2007.
- [18] B. Esteves, U. Sen, and H. Pereira, “Influence of chemical composition on heating value of biomass: A review and bibliometric analysis,” *Energies*, vol. 16, no. 10, p. 4226, May. 2023.
- [19] Q. Wang and J. Sarkar, “Pyrolysis behaviors of waste coconut shell and husk biomasses,” *International Journal of Energy Production and Management*, vol.3, no.1, pp.34-43, 2018.
- [20] M. G. Lomeli-Ramirez, R. R. Anda, K. Satyanarayana, G. I. Bolzon de Muniz and S. Iwakiri, S., “Comparative study of the characteristics of green and brown coconut fibers for the development of

- green composites,” *BioResources*, vol.13, no. 1, pp. 1637-1660, Feb. 2018.
- [21] M. Kalivodova, M. Balas, P. H. Milcak, M. Lisy, J. Lachman, P. Kracik, P. Krizan and K. Vejrazka, K., “The determination of higher heating value by calculation based on elemental analysis,” *Paliva*, vol. 13, pp. 8-20, Mar. 2022.
- [22] N. Srilek, P.Makarkard, W. Nunto, P. Putthawan and S. Leckpool, “Proximate analysis based higher heating value correlation of biomass and biochar from cacao husk and corncob,” *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 13-25, Jan.-Jun. 2022.



# RMUTP

RESEARCH JOURNAL

*Sciences and Technology*

