

วารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรม

JOURNAL OF GRADUATE RESEARCH
DEVELOPMENT AND INNOVATION

JGRDI

ISSN 2985-2188 (Online)

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

Vol. 1 No. 1 January - June 2023

Volume 1
No.1



วารสารออนไลน์



วารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรม

ชื่อวารสาร

วารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรม

เจ้าของวารสาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะกรรมการที่ปรึกษา

รศ. ดร.ณัฐพงศ์ จิตรนิรัตน์
(อธิการบดีมหาวิทยาลัยทักษิณ)

รศ. ดร.สุทธิพร บุญมาก
(รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยทักษิณ)

รศ. ดร.สมักร แก้วสุกแสง
(รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยทักษิณ)

รศ. ดร.จตุพร แก้วอ่อน
(คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ)

ผศ. ดร.นพมาศ ปักเข็ม
(คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ)

รศ.บุญรักษา สุนทรธรรม
(นายกสมาคมฟิลิปปินส์ไทย)

บรรณาธิการ

ผศ. ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

คณะบรรณาธิการ

ศ. ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ศ. ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

ศ. ดร.พีระพงศ์ ทัพสกุล (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

ศ. ดร.พูนสุข ประเสริฐสรรพ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

ศ. เกียรติคุณ ดร.ยงค์วิมล เลณบุรี (มหาวิทยาลัยมหิดล)

ศ. ดร.วนิดา แก่นอากาศ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

ศ. ดร.ศาสตรา วงศ์ธนสุ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

ศ. ดร.สุทัศน์ ยกส้าน (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ)

ศ. ดร.อภิชาติ สุขสำราญ (มหาวิทยาลัยรามคำแหง)

รศ. ดร.กนกพร สังขรักษ์ (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

รศ. ดร.พนิดา กังขุ่น (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

ผศ. ดร.กรวิภา ก้องกุล (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

ผศ. ดร.โชคชัย เหมือนมาศ (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

ผศ. ดร.ธวัชชัย เทพนวล (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

ผศ. ดร.วิสิทธิ์ บุญชุม (มหาวิทยาลัยทักษิณ)

คณะบรรณาธิการ	อ. ดร.ขวัญจิตต์ สุวรรณพรัตน์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	อ. ดร.ศุภานัน พรหมมาก	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
กองจัดการวารสาร	นายทรงธรรม ชีระกุล	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาววารุณี ทิพโอสถ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาววันวิสาข์ แก้วสมบุญ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวนีย์ แสงสีคำ ทองชุม	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นายนารา สิงคมาศ	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
	นางสาวกัญญณ์ช์ เลียดรักษ์	(มหาวิทยาลัยทักษิณ)
วัตถุประสงค์	เพื่อรวบรวมและเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งครอบคลุมศาสตร์ทางเกษตรศาสตร์และวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Agricultural and Biological Science) เคมี (Chemistry) ฟิสิกส์และดาราศาสตร์ (Physics and Astronomy) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) หรือสหสาขาวิชา (Multidisciplinary) ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	
กำหนดการออก	ปี ละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน และ กรกฎาคม – ธันวาคม)	
การเผยแพร่	รูปแบบออนไลน์	
การบอกรับเป็นสมาชิก	สมาชิกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้	
	ประเภทบุคคล จำนวน 200 บาทต่อปี	
	ประเภทสถาบัน/หน่วยงาน จำนวน 500 บาทต่อปี	
อัตราค่าตีพิมพ์	จำนวน 2,000 บาท ต่อบทความ ชำระผ่านบัญชีออมทรัพย์ เลขที่บัญชี 691-236609-3 ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยทักษิณ ธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด สาขาสงขลา พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารบัณฑิตวิจัยพัฒนาและนวัตกรรม	
การติดต่อ	กองจัดการวารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรม อาคาร 18 ชั้น 3 ห้อง 18308 สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 140 หมู่ 4 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 โทรศัพท์ : 0 7431 7655 ต่อ 7556 email : jgrdijournal@gmail.com	

บรรณาธิการแถลง

วารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรม (Journal of Graduate Research Development and Innovation: JGRDI) ฉบับนี้ เป็นวารสารทางวิชาการที่บริหารและจัดการโดยบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ โดยได้รับการสนับสนุนช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากสถาบันวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยทักษิณ และเป็นวารสารฉบับปฐมฤกษ์ ที่ออกมาเป็นปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2566) วารสาร IGRDI เป็นวารสารที่รวบรวมและเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งครอบคลุมศาสตร์ทางเกษตรศาสตร์และวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Agricultural and Biological Science) เคมี (Chemistry) ฟิสิกส์และดาราศาสตร์ (Physics and Astronomy) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) และสหสาขาวิชา (Multidisciplinary) ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สำหรับวารสารฉบับนี้ได้นำเสนอบทความวิจัยจำนวน 6 เรื่อง โดยมีเนื้อหาทางด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ จำนวน 2 เรื่อง มีเนื้อหาทางด้านฟิสิกส์ประยุกต์ อีกจำนวน 2 เรื่อง และมีเนื้อหาทางด้านเคมี จำนวน 2 เรื่อง ซึ่งมีเรื่องที่น่าสนใจที่ทำวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบใบกระท่อม เป็นต้น ต้องขอขอบพระคุณผู้เขียนทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ด้วย ทางคณะกรรมการประจำกองบรรณาธิการของวารสารใคร่ขอเชิญชวนให้นักวิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่จะส่งบทความวิจัย บทความวิชาการ และจดหมายถึงบรรณาธิการ เพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสาร JGRDI สามารถ Download แบบฟอร์มการส่งเรื่องเพื่อตีพิมพ์และคำแนะนำในการเขียนต้นฉบับได้ที่ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JGRDI/index> เพื่อที่ทุกท่านจะได้มีส่วนร่วมในการพัฒนาวารสาร JGRDI ให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไป นอกจากนี้ หากท่านผู้อ่านมีข้อเสนอแนะเชิงสร้างสรรค์เกี่ยวกับวารสารดังกล่าวนี้ กรุณาจัดส่งข้อเสนอแนะต่าง ๆ ของท่านมายังกองบรรณาธิการวารสาร JGRDI เพื่อที่จะได้พิจารณาพัฒนา ปรับปรุง และแก้ไขในฉบับต่อ ๆ ไป

ทางวารสาร JGRDI ใคร่ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้เกียรติและเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการกลั่นกรอง พิจารณา แก้ไข และให้ข้อเสนอแนะแก่ผู้เขียนบทความวิจัยดังกล่าวข้างต้นเพื่อ ความถูกต้องและประโยชน์สูงสุดทางวิชาการที่ได้นำเสนอในวารสารฉบับดังกล่าวนี้ ขอขอบพระคุณต่อคณะที่ปรึกษา กองบรรณาธิการและกองจัดการทุกท่าน รวมทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมด โดยเฉพาะสถาบันวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานของวารสารด้วยดีตลอดมา แล้วพบกันใหม่ ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2566)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ เกษราธิคุณ
บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Articles)

- 1.ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบใบกระท่อม
 *α -Glucosidase Inhibitory Activities of Crude Extract from *Mitragyna speciosa* Korth. Leaves*
ธันนยา หินเจริญ Thananya Nicharoen รัชรัฐ บุญสุขขัง Rutcharat Bunsukkhang
ภราดร แก้วสุวรรณ Paradon Kaewsuwan พนิดา กังซุ่น Panita Kongsune.....1
- 2.ผลของโปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืดของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ในโรงพยาบาลนครปฐม
The Effects of Self-management Program for Knowledge and Elastic Resistance Exercise Behaviors among Type 2 Diabetes Mellitus Patients in Nakhon Pathom Hospital
จุฑามาส พรหมใจมั่น Juthama Promchaiman.....8
- 3.สารประกอบลิกแนนและยีน Pinoresinol-lariciresinol Reductases 3 ในข้าวพันธุไรซ์เบอร์รี่
Lignan Constituents and Pinoresinol-lariciresinol Reductase 3 Gene in Riceberry Rice
กนกวรรณ ลิ้มเจริญ Kanocwan Limchareon วศินี พูลสวัสดิ์ Wasinee Poonsawat
ปรียา มณีประเสริฐ Pariya Maneepasert จีรรัตน์ มงคลศิริวัฒนา Chareerat Mongkolsiriwatana..21
- 4.ศักยภาพการผลิตชีวภาพมีเทนจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนโดยกระบวนการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศกับกากน้ำตาล
Potential of Biomethane Production from Distillery Wastewater of Community Refined Liquors Plant by Anaerobic Co-digestion Process with Molasses
ทัศนีย์ ศรีมาชัย Tussanee Srimachai
เกียรติศักดิ์ รัตนดิลก ณ ภูเก็ต Kiattisak Rattanadilok Na Phuket.....33

5. การผลิตไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวและศักยภาพในการส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการ
เพาะปลูกต้นมะเขือม่วง

Production of Biochar from Coconut Shells and the Potential to Affect Soil Quality
Improvement for Cultivation of Eggplant

ฉานิกา แซ่แง่ ชูกลิ้น Chanika Saenge Chooklin กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์ Kattinat Sagulsawasdiapan
นฤทธิ์ กล่อมพวงส์ Narit Klompong วรางคณา เพ็ชรแก้ว Warankana Pechkaw
ศศิวิมล พรหมศิริ Sasiwimon Promkere ภาวินี ตกจินตอง Pawinee Tokjeentong.....42

6. การเพิ่มความแม่นยำต่อการวัดปริมาณการเป็นกรด-เบสด้วยเทคนิคประมวลผลภาพบนสมาร์ตโฟน
Increasing Accuracy of pH Measurements by Image Processing Technique on
Smartphones

ศุภลักษณ์ อำลอย Supaluck Amloy ปกรณ์ ปรีชาบุรณะ Pakorn Preechaburana.....53



ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบใบกระท่อม

α -Glucosidase Inhibitory Activities of Crude Extract from *Mitragyna speciosa* Korth. Leaves

ธนันยา หนีเจริญ¹ รัชรัฐ บุญสุขขัง¹ ภารัต แก้วสุวรรณ² และพนิตา กังซุ่น^{3*}

Thananya Nicharoen¹, Rutcharat Bunsukkhang¹, Paradon Kaewsuwan² and Panita Kongsune^{3*}

บทคัดย่อ

พืชกระท่อม (*Mitragyna speciosa* Korth.) เป็นพืชสมุนไพรที่ปลูกง่ายที่พบได้ทั่วไปในท้องถิ่นของภาคใต้ อุดมไปด้วยสารกลุ่มอัลคาลอยด์และมีสารไมทรากินีนเป็นสารหลัก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสารสกัดจากใบกระท่อมที่มีศักยภาพต่อการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของโรคเบาหวาน วิธีการทดลองทำการสกัดกระท่อมด้วยตัวทำละลายสามชนิดได้แก่ ไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล ผลการสกัดพบว่าได้สารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 2.37 0.95 และ 8.18 ตามลำดับ จากนั้นทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของส่วนสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล พบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 103.71 78.33 และ 66.72 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ ซึ่งสารสกัดหยาบเมทานอลมีค่า IC_{50} ซึ่งใกล้เคียงกับสารมาตรฐานอะคาร์โบสซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 61.62 $\mu\text{g/mL}$ ดังนั้นจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าสารสกัดหยาบเมทานอลจากใบพืชกระท่อมมีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นยารักษาโรคเบาหวานต่อไป

คำสำคัญ : กระท่อม เบาหวาน สารสกัดหยาบ อะคาร์โบส แอลฟาไกลูโคซิเดส

Abstract

Mitragyna speciosa Korth., commonly known as Kratom, is a herbaceous plant found in southern regions and is known for its high content of alkaloids, mainly mitragynine. To study the potential of crude extract from *Mitragyna speciosa* Korth. leaves on α -glucosidase inhibitory activities is the aim of this study. The leaves were extracted using dichloromethane, ethyl acetate, and methanol as the solvents with the

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

² นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ รศ.ดร., ศูนย์นวัตกรรมเคมีวัสดุเพื่อสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Undergraduate Student, Bachelor of Science, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Paphayom, Phatthalung, 93210, Thailand

² Graduate Student, Master of Science, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Paphayom, Phatthalung, 93210, Thailand

³ Assoc. Prof. Dr., Center of Innovative Materials Chemistry for Environment, Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Paphayom, Phatthalung, 93210, Thailand

* corresponding author Tel: 089-8707154 E-mail address: dpanita@tsu.ac.th

(Received: May 31, 2023; Revised: July 1, 2023; Accepted: August 4, 2023)

maceration technique. The extraction results showed the crude yields of chloroform, ethyl acetate, and methanol were 2.37, 0.95 and 8.18%, respectively. The α -glucosidase inhibitory activities of the crude extracts found that the crude dichloromethane, ethyl acetate and methanol extracts had inhibitory activities with IC_{50} values of 103.71, 78.33 and 66.72 μ g/mL, respectively. The crude extract of methanol is close to the IC_{50} value of the standard substance acarbose, which is 61.62 μ g/mL. Therefore, the research can be concluded that the crude methanol extracts from *Mitragyna speciosa* Korth. leaves have the potential to be further developed as a diabetes drug.

Keywords: *Mitragyna speciosa*, Diabetes Mellitus, Crude Extract, Acarbose, α -glucosidase

บทนำ

โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus : DM) คือ ภาวะความผิดปกติของระบบเผาผลาญอาหารในร่างกายทำให้ร่างกายมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ เนื่องมาจากความบกพร่องของการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินลดลงหรือขาดฮอร์โมนอินซูลิน เนื่องจากเซลล์เนื้อเยื่อถูกทำลาย หรือเนื้อเยื่อที่ตอบสนองต่อการกระตุ้นของฮอร์โมนอินซูลินลดลง ส่งผลให้ระบบการเผาผลาญของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน มีความผิดปกติ ดังนั้นการที่ร่างกายมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้เกิดโรคแทรกซ้อนต่ออวัยวะต่าง ๆ เช่น ตา, ไต, ระบบประสาท, หัวใจ และหลอดเลือด [1] ซึ่งในการรักษาโรคเบาหวาน คือ การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase) จัดเป็นวิธีที่นิยมอย่างมาก เพราะสามารถลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังรับประทานอาหาร (Postprandial Glucose) โดยมีกลไกไปลดการดูดซึมของกลูโคสบริเวณลำไส้โดยตรง และมีการใช้ยาร่วมด้วย โดยยาที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ อะคาร์โบส (Acarbose) วอกลีโบส (Voglibose) และไมกลีทอล (Miglitol) แต่เมื่อรับประทานยาดังกล่าวจะมีผลข้างเคียงต่อผู้ป่วย เช่น อาการ ท้องอืด แน่นท้อง ผายลมบ่อย ถ่ายเหลว และปวดท้อง จากข้อมูลของสหพันธ์เบาหวานนานาชาติ (International Diabetes Federation : IDF) พบผู้ป่วยโรคเบาหวานทั่วโลกกว่า 425 ล้านคน ในปี 2560 และคาดการณ์ว่าจะมีจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคนี้มากถึง 629 ล้านคน ในปี 2588 สำหรับสถานการณ์โรคเบาหวานในประเทศไทย พบว่า คนไทยช่วงอายุ 20-79 ปี เป็นโรคเบาหวานร้อยละ 8.3 ปัจจุบันพบว่า ประชากรทั่วไปมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes) เป็นเบาหวานชนิดที่ไม่พึ่งอินซูลิน (Non-insulin Dependent Diabetes) กันมากขึ้น เนื่องจากตับอ่อนไม่สามารถสร้างอินซูลินไปใช้ได้เพียงพอ และร่างกายเกิดภาวะดื้ออินซูลิน

มีรายงานสารประกอบในกลุ่มของ Alkaloids กลุ่มของ Seco-cyclohexene ที่ได้จากสารสกัดกึ่งและใบของกล้วย อ้ายพอน [2] กลุ่มของ Alkaloids ที่ได้จากสารสกัดกึ่งบุหงา [2] กลุ่มของ Flavonoids ที่ได้จากสารสกัดกึ่งและใบของลำเล้า [3] ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ โดยสารดังกล่าวเป็นสารที่ได้จากการสกัดหรือการทำให้บริสุทธิ์โดยการแยกด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบต่าง ๆ นำมาใช้เพื่อเป็นการลดการใช้ยาซึ่งมีรายงานเกี่ยวกับผลข้างเคียงอย่างต่อเนื่องรวมถึงการลดโรคแทรกซ้อนอื่น ๆ มากมาย จึงทำให้พืชและสมุนไพรเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษาปัญหาดังกล่าวกระท่อม มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil. เป็นพันธุ์ไม้ในวงศ์เข็ม (Rubiaceae) เป็นพืชประจำท้องถิ่นของประเทศไทยและมาเลเซีย พบได้บริเวณภาคใต้ของประเทศไทย จากการศึกษาตำรายาไทย พบว่ากระท่อม มีสรรพคุณทางยาค่อนข้างหลากหลายโดยส่วนใหญ่กระท่อมมักใช้เป็นยาระงับอาการปวดและระงับประสาท [4-6] จากผลการวิเคราะห์กระท่อมพบสารองค์ประกอบทางเคมีกลุ่มของอัลคาลอยด์ ทั้งหมดประมาณร้อยละ 0.5 ประกอบด้วยไมทรากินี (Mitragynine) ร้อยละ 0.25 นอกจากนี้ สเปกโอจีนีน (Speciogynine), ไพแนนทีน (Paynanthine) และสเปซิโอซิลีเอทีน (Speciociliatine) ร้อยละ 0.25 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids), ไฟโตสเตอรอล (Phytosterol) และแทนนิน (Tannins) [4-6] ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษา สารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน, เอทิลอะซิเตท และเมทานอล จากใบกระท่อม

ต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ที่เป็นสาเหตุสำคัญของโรคเบาหวานอันก่อให้เกิดผลกระทบปัญหาด้านสุขภาพซึ่งส่งผลต่อการดำเนินชีวิตในสังคม เพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์ และการส่งเสริมให้คนไทยบริโภคพืชสมุนไพรพื้นบ้านมากขึ้น ตลอดจนนำไปสู่การพัฒนาเป็นตัวยาลดน้ำตาลในเลือด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

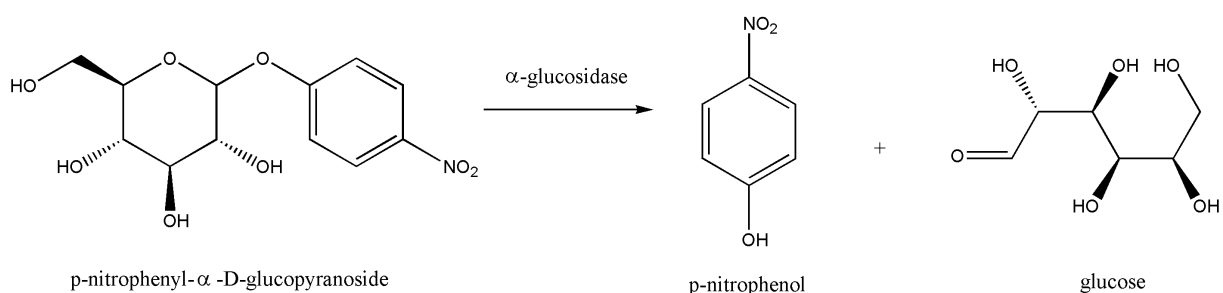
เก็บพืชจากวิสาหกิจกลุ่มนาท่อม อำเภอเมือง จังหวัดตรัง ล้างทำความสะอาด แยกส่วนและตัดให้เป็นชิ้นขนาดเล็กอบแห้งด้วยตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 วัน สกัดพืชแห้งด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล ตามลำดับชั้น ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 – 5 วัน กรองและระเหยตัวทำละลายออกภายใต้สภาวะลดความดัน เพื่อที่จะได้ส่วนสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของส่วนสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานอะคาร์โบส

การเตรียมสารสกัดหยาบจากใบกระท่อม

นำใบกระท่อม 1 กิโลกรัม มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ อบแห้งด้วยตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 วัน ได้ใบกระท่อมแห้ง น้ำหนัก 377.12 กรัม จากนั้นนำใบกระท่อมแห้งไปสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล โดยวิธีการหมัก (Maceration) เป็นเวลา 3 วัน หลังจากกรองนำสารละลายไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล ไประเหยแห้งด้วยเครื่องระเหยลดความดันแบบหมุน

การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล

การศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารที่สกัดได้จากสมุนไพร โดยใช้เทคนิคทางสเปกโทรสโกปี เพื่อติดตามปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารตั้งต้นให้เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างดังปฏิกิริยาในภาพที่ 1 คือ *p*-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (PNP-G) ซึ่งเป็นสารละลายไม่มีสี ทำหน้าที่เป็นซับสเตรต (Substrate) เมื่อในปฏิกิริยามีเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจะไฮโดรไลซิสซับสเตรตนี้ไปเป็น *p*-nitrophenol ซึ่งเป็นสารละลายสีเหลือง และน้ำตาลกลูโคส ซึ่งสามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยใช้เทคนิค UV-Visible Spectroscopy โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร (nm) กล่าวคือ เมื่อการทดลองให้ค่าการดูดกลืนแสงมาก แสดงว่าเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อการทดลองให้ค่าการดูดกลืนแสงน้อย แสดงว่าเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสไม่สามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติ หมายความว่าเอนไซม์ถูกยับยั้งการทำงานด้วยสารสกัดที่ได้จากสมุนไพร ดังนั้น การทดสอบเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจึงเป็นวิธีการเบื้องต้นในการทดสอบพืชสมุนไพรได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วในการทดสอบพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือด



ภาพที่ 1 การยับยั้งการทำงานของ α -glucosidase [7]

ทำการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสโดยเติมสารละลายลงในภาดไมโครเพลทแบบ 96 หลุม ปริมาตรที่ใช้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาตรของสารละลาย สำหรับการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท เมทานอล และสารมาตรฐานอะคาร์โบส

ความเข้มข้น ($\mu\text{g/mL}$)	ปริมาตรที่เติม (μL)						
	Test Sample	α -glucosidase	PNP-G	Phosphate	DMSO	Na_2CO_3	ปริมาตรรวม
10	2	16	16	50	76	40	200
30	6	16	16	50	72	40	200
40	8	16	16	50	70	40	200
50	10	16	16	50	68	40	200
70	14	16	16	50	64	40	200
90	18	16	16	50	60	40	200
150	30	16	16	50	48	40	200

โดยเตรียมละลายสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน, เอทิลอะซิเตท, และเมทานอล 2 มิลลิกรัม ในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ 2 mL เติมเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส เข้มข้น 8 U/mL ปริมาตร 16 μL , PNP-G (*p*-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside) เข้มข้น 5.0 mM ปริมาตร 16 μL ลงใน 96-well Plate วางไว้ที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที เติมสารละลาย บัฟเฟอร์ฟอสเฟต (Phosphate Buffer) (pH 6.8) เข้มข้น 10.0 mM ปริมาตร 50 μL , ไดเมทิล ซัลฟอกไซด์ (Dimethyl Sulfoxide) เข้มข้น 100% โดยปริมาตร วางไว้ที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้น 1.0 mM ปริมาตร 40 μL วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร ด้วยเครื่องอ่านปฏิกิริยาบนไมโครเพลท (Absorbance Spectrophotometer Microplate Reader) โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานอะคาร์โบส ซึ่งเป็นยารักษาโรคเบาหวาน [3]

การคำนวณหา % inhibition

คำนวณค่าเฉลี่ยของ % Inhibition ในแต่ละความเข้มข้น แล้วนำไปทำ Linear Regression เพื่อหาความเข้มข้นของสารสกัดหยาบและสารบริสุทธิ์ที่สามารถยับยั้งการเกิดด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ 50% (IC_{50})

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{[(A-B)-(C-D)]}{(A-B)} \times 100$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีสารทดสอบแต่ไม่มีเอนไซม์

B = ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีสารทดสอบและไม่มีเอนไซม์

C = ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อไม่มีสารทดสอบและมีเอนไซม์

D = ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อไม่มีสารทดสอบแต่ไม่มีเอนไซม์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

กระถ่อม *Mitragyna speciosa* (Korth.) น้ำหนัก 1 กิโลกรัม นำมาสกัดสารจากใบกระถ่อมด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน, เอทิลอะซิเตท และเมทานอล โดยวิธีการหมัก (Maceration) สรุปลผลดังนี้ ปริมาณสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน

เป็นสารหนึ่ดสีเชียว ทั้งหมด 23.68 กรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ เท่ากับ 2.37 ปริมาณสารสกัดหยาบเอทิลอะซีเตท เป็นสารหนึ่ดสีเชียว ทั้งหมด 9.51 กรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ เท่ากับ 0.95 ปริมาณสารสกัดหยาบเมทานอล เป็นสารหนึ่ดสีเชียว น้ำหนัก 81.7933 กรัม และมีผลผลิตร้อยละเท่ากับ 8.18 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 น้ำหนัก ผลผลิตร้อยละ และลักษณะทางกายภาพของสารสกัดจากใบกระท่อม

ตัวทำละลาย	น้ำหนักแห้ง (กรัม, มิลลิกรัม)	ผลผลิตร้อยละเทียบกับกระท่อมแห้ง
สารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน	23.68	2.37
สารสกัดหยาบเอทิลอะซีเตท	9.51	0.95
สารสกัดหยาบเมทานอล	81.80	8.18

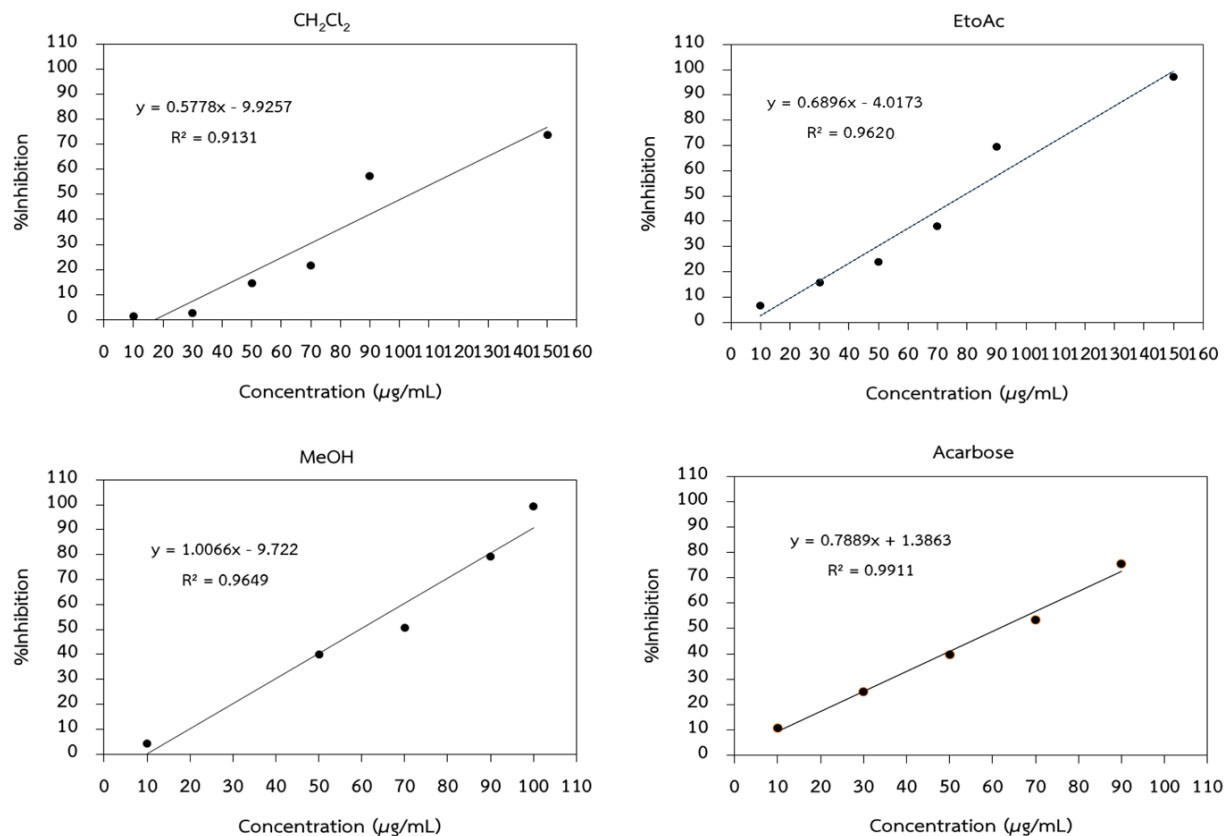
การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซีเตท และเมทานอลและสารมาตรฐานอะคาร์โบส

จากการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโน ดังตารางที่ 3 จากการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสแสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 2 สำหรับสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน ความเข้มข้น 10 30 50 70 90 และ 150 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ในช่วง 1.45 ถึง 73.75 ค่า R^2 เท่ากับ 0.9131 ค่า IC_{50} เท่ากับ 103.71 $\mu\text{g/mL}$ สารสกัดหยาบเอทิลอะซีเตท ความเข้มข้น 10 30 50 70 90 และ 150 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ในช่วง 6.58 ถึง 97.29 ค่า R^2 เท่ากับ 0.9620 ค่า IC_{50} เท่ากับ

ตารางที่ 3 %Inhibition ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ของสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซีเตท เมทานอล และสารมาตรฐานอะคาร์โบส

ความเข้มข้น ($\mu\text{g/mL}$)	%Inhibition			
	สารสกัดหยาบ ไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2)	สารสกัดหยาบ เอทิลอะซีเตท (EtoAC)	สารสกัดหยาบ เมทานอล (MeOH)	สารมาตรฐาน อะคาร์โบส (acarbose)
10	1.45	6.58	4.29	10.62
30	2.78	15.89	-	25.11
50	24.01	24.01	39.80	39.63
70	21.55	38.24	50.74	53.41
90	57.29	79.32	79.32	75.36
100	-	-	99.32	-
150	73.75	97.29	-	-

78.33 $\mu\text{g/mL}$ สารสกัดหยาบเมทานอล ความเข้มข้น 10 50 70 90 และ 100 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ในช่วง 4.29 ถึง 99.32 ค่า R^2 เท่ากับ 0.9463 ค่า IC_{50} เท่ากับ 66.72 $\mu\text{g/mL}$ จะเห็นได้ว่าสารสกัดหยาบเมทานอลสามารถยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดีที่สุด รองลงมาคือสารสกัดหยาบเอทิลอะซีเตทและไดคลอโรมีเทนตามลำดับ ในขณะที่สารมาตรฐานอะคาร์โบส มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ในช่วง 10.6247 ถึง 75.3656 ค่า R^2 เท่ากับ 0.9911 ค่า IC_{50} เท่ากับ 61.62 ซึ่งยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดีกว่าสารสกัดหยาบจากใบกระท่อมดังแสดงในตารางที่ 4



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท เมทานอล และสารมาตรฐานอะคาร์โบสกับความเข้มข้น (μ g/mL)

ตารางที่ 4 ความสามารถในการยับยั้งได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) สำหรับทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท เมทานอล และสารมาตรฐานอะคาร์โบส

ตัวอย่าง	IC_{50}	
	(μ g/ml)	$\pm$ SD
สารสกัดหยาบเมทานอล (MeOH)	66.72	0.2619
สารสกัดหยาบเอทิลอะซิเตท (EtoAC)	78.33	0.2863
สารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน (CH ₂ Cl ₂)	103.71	0.2669
สารมาตรฐานอะคาร์โบส (acarbose)	61.62	1.1085

สรุปผลการวิจัย

จากการสกัดสารจากใบกระต้อมใบกระต้อม 1 กิโลกรัม ด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน, เอทิลอะซิเตท และเมทานอล ตามลำดับขั้น โดยใช้วิธีการหมัก (Maceration) ได้สารสกัดไดคลอโรมีเทน ทั้งหมด 23.68 กรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ เท่ากับ 2.37 สารสกัดหยาบเอทิลอะซิเตท ทั้งหมด 9.51 กรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ เท่ากับ 0.95 และสารสกัดหยาบเมทานอล 81.79 กรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 8.18 นำสารเหล่านี้นำมาทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส จากผลการทดลองพบว่า สารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน ความเข้มข้น 10 30 50 70 90 และ 150 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ในช่วง 1.45 ถึง 73.75 ค่า R^2 เท่ากับ 0.9131 ค่า IC_{50} เท่ากับ 103.71 μ g/mL สารสกัดหยาบเอทิลอะซิเตท

ที่ความเข้มข้น 10 30 50 70 90 และ 150 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ในช่วง 6.58 ถึง 97.29 ค่า R^2 เท่ากับ 0.962 ค่า IC_{50} เท่ากับ 78.93 $\mu\text{g/mL}$ สารสกัดหยาบเมทานอล ความเข้มข้น 10 50 70 90 และ 100 มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ในช่วง 4.29 ถึง 99.32 ค่า R^2 เท่ากับ 0.9463 ค่า IC_{50} เท่ากับ 66.72 $\mu\text{g/mL}$ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสารสกัดหยาบไดคลอโรมีเทน, เอทิลอะซิเตท, เมทานอล สามารถยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ใกล้เคียง เมื่อเทียบกับสารมาตรฐานอะคาร์โบส ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 61.62 $\mu\text{g/mL}$ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาบเมทานอลจากใบของกระท่อม มีโอกาสนำมาพัฒนาเพื่อนำมาใช้ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสของโรคเบาหวานอันนำไปสู่การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดส่งเสริมการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ โดยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

เอกสารอ้างอิง

- [1] Purintrapiban, J., Keawpradub, N., Kansanalak, S., Chittrakarn, S., Janchawee, B., & Sawangjaroen, K. (2011). Study on glucose transport in muscle cells by extracts from *Mitragyna speciosa* (Korth) and mitragynine. *Natural Product Research*, 25(15), 1379-1387.
- [2] Meesakul, P., Pyne, S. G., & Laphookhieo, S. (2020). Potent α -glucosidase inhibitory activity of compounds isolated from the leaf extracts of *Uvaria hamiltonii*. *Natural Product Research*, 34(17), 2495-2499.
- [3] Suthiphasilp, V., Maneerat, W., Andersen, R. J., Phukhatmuen, P., Pyne, S. G., & Laphookhieo, S. (2019). Dasymaschalolactams A-E, aristolactams from a twig extract of *Dasymaschalon dasymaschalum*. *Journal of Natural Products*, 82(11), 3176-3180.
- [4] Chear, N. J., Leon, F., Sharma, A., Kanumuri, S. R. R., Zwolinski, G., Abboud, K. A., Singh, D., Restrepo, L. F., Patel, A., Hiranita, T., Ramanathan, S., Hampson, A. J., McCurdy, L. R., & McCurdy, C. R. (2021). Exploring the Chemistry of alkaloids from Malaysian *Mitragyna speciosa* (Kratom) and the role of oxindoles on human opioid receptors. *Journal of Natural Products*, 84(4), 1034-1043.
- [5] Phillipson, J. D., & Hemingway, S. R., Bisset, N. G., Houghton, P. J. & Shellard, E. J. (1974). Angustine and related alkaloids from species of *Mitragyna*, *nauclea*, *uncarza*, and *Strychnos*. *Phytochemistry*, 13, 973-978.
- [6] Carpenter, J. M., Criddle, C. A., Craig, H. K., Ali, Z., Zhang, Z., Khan, I. A., & Sufka, K. J. (2016). Comparative effects of *Mitragyna speciosa* extract, mitragynine, and opioid agonists on thermal nociception in rats. *Fitoterapia*, 109, 87-90.
- [7] Qurrat-ul-Ain, Ashiq, U., Jamal, R.A., Saleem, M., Mahroof-Tahir, M. (2017). Alpha-glucosidase and carbonic anhydrase inhibition studies of Pd(II)-hydrazide complexes. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(4), 488-499.

ผลของโปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้และพฤติกรรมการออกกำลังกาย
ชนิดต้านยางยืด ของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ในโรงพยาบาลนครปฐม
The Effects of Self-management Program for Knowledge and Elastic
Resistance Exercise Behaviors among Type 2 Diabetes Mellitus Patients
in Nakhon Pathom Hospital

จุฑามาส พรหมใจมั่น^{1*}
Juthamas Promchaiman^{1*}

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้ และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด ของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมกลุ่มละ 29 ราย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ โปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้ และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด ประเมินผลการศึกษาโดยใช้แบบประเมินการจัดการตนเองด้านความรู้ ด้านพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด และระดับฮีโมโกลบินเอวันซี นำข้อมูลมาวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบผลโดยใช้สถิติค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Chi-square Test, Fisher's Exact Test, Paired T-test และ Independent T-test ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มทดลอง มีการจัดการตนเองด้านความรู้สูงกว่าก่อนการทดลองและสูงกว่ากลุ่มควบคุมและมีพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืดสูงกว่าก่อนการทดลองและสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.001$ และระดับฮีโมโกลบินเอวันซีน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.001$ ข้อเสนอแนะ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องประยุกต์ใช้ผลการศึกษาวิจัยเพื่อการดูแลส่งเสริมสุขภาพผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ต่อไป

คำสำคัญ: การจัดการตนเอง ออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด ฮีโมโกลบินเอวันซี ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2

Abstract

This study is a quasi-experimental research. The objective of the study was to investigate the effects of a self-management program on knowledge and behavior of resistance band exercise on patients with type 2 diabetes. The sample was selected simple and was divided into, experimental and control groups of 29 patients. The research instrument was a self-management program on knowledge and behavior of resistance band exercise. Assessment form self-management for knowledge, resistance band exercise behavior, and hemoglobin A1C level. Statistics used for data analysis were mean, standard deviation, Chi-square test, Fisher's Exact test, Paired t-test and Independent t-test. The results showed that after the

¹พยาบาลวิชาชีพชำนาญการ แผนกอายุรกรรม โรงพยาบาลนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

¹ Registered Nurse, Professional Level, Medicine Department, Nakhon Pathom Hospital, Muang District, Nakhon Pathom, 73000

* corresponding author Tel: 081-7594089 E-mail address: jutamas1955@gmail.com

(Received: May 27, 2023; Revised: July 11, 2023; Accepted: August 9, 2023)

experimental group had a statistically higher level of self-management for knowledge than that of before; and was statistically higher than of the control group. The experimental group had a statistically higher level of self-management for behavior than that of before; and was statistically higher than of the control group significant at $p < 0.001$. The hemoglobin level of the experiment group was statistically lower than the control group significant at $p < 0.001$. Consequently, Health teams can apply the research findings in the healthcare among Type 2 Diabetes Mellitus Patients unit.

Keywords: Self-management, Resistance Band Exercise, Hemoglobin A1C, Patient with Type 2 Diabetes

บทนำ

โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus: DM) เป็นโรคไม่ติดต่อ ที่เป็นปัญหาสำคัญทางด้านสาธารณสุขทั่วโลก ซึ่งในปี 2564 มีผู้ป่วยโรคเบาหวานจำนวน 537 ล้านรายทั่วโลก และคาดการณ์ว่าในปี 2573 จะมีเพิ่มขึ้นเป็น 643 ล้านราย และประเทศไทยมีผู้ป่วยโรคเบาหวานรายใหม่เพิ่ม 3 แสนรายต่อปี ทำให้มีผู้ป่วยที่ขึ้นทะเบียนจำนวน 3.3 ล้านราย [1] ในส่วนของจังหวัดนครปฐม ในปี 2566 มีผู้ป่วยโรคเบาหวาน 55,069 ราย ในเขตอำเภอเมืองมีผู้ป่วยโรคเบาหวาน 17,355 ราย สามารถควบคุมระดับน้ำตาลได้ดี 2,266 ราย คิดเป็นร้อยละ 13.06 ที่ไม่มีโรคร่วมสามารถควบคุมระดับน้ำตาลได้ 1,902 ราย คิดเป็นร้อยละ 12.87 และที่มีโรคร่วมสามารถควบคุมระดับน้ำตาลได้ 364 ราย คิดเป็นร้อยละ 14.14 [2] จากสถิติผู้ป่วยโรคเบาหวานที่นอนรักษาตัวในโรงพยาบาลนครปฐมตั้งแต่ ปี 2563 -2565 มีจำนวน 411 ราย, 343 ราย, 322 ราย, มี Readmit 58 ราย, 38 ราย, 21 ราย, และส่วนที่รักษาในแผนกอายุรกรรมมีจำนวน 337 ราย, 238 ราย และ 263 ราย ตามลำดับ [3] เห็นได้ว่าในสถานการณ์ปัจจุบันมีจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานมากขึ้น แต่กลับพบว่าผู้ป่วยมีการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีลดลง

การออกกำลังกายชนิดต้านยางยืดเป็นการออกกำลังกายแบบหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดเคลื่อนที่ (Isotonic Exercise) โดยใช้แรงดึงของตัวเองทำให้ใยกล้ามเนื้อหดสั้นและยืดยาวคงที่ ทำให้เกิดความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ ส่วนต่างๆ ของร่างกาย ส่งผลให้มีการดึงกลูโคสจากกระแสเลือดเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ไขมัน ช่วยเพิ่มตัวจับอินซูลินและกลูโคสทรานส์พอร์เตอร์- 4 ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ของอินซูลิน ร่างกายจึงสามารถนำกลูโคสจากกระแสเลือดเข้าสู่เซลล์ได้ดี เป็นผลให้ระดับฮีโมโกลบินเอวันซีลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของพรธรรมรส โพธิ์ และคณะ (2559) [4] พบว่าสตรีตั้งครรภ์ที่เป็นโรคเบาหวานชนิด เอ วัน ออกกำลังกายโดยใช้แรงต้านยางยืด สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Azylina Gunggu et al. (2016) [5] พบว่าผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ที่มีความสามารถในการจัดการตนเองเกี่ยวกับความรู้เรื่องโรคเบาหวานและพฤติกรรมออกกำลังกายที่เหมาะสม ทำให้ไม่เกิดภาวะแทรกซ้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Taoli Wang et al. (2018) [6] พบว่าผู้ป่วยโรคเบาหวานประเภท 2 ออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน สามารถลดระดับฮีโมโกลบินเอวันซีลดลงร้อยละ 40

ปัจจุบันการให้การรักษายาบาลผู้ป่วยโรคเบาหวานของโรงพยาบาลนครปฐม พบว่าผู้ป่วยได้รับการรักษาทางยาและการควบคุมอาหาร ส่วนพฤติกรรมออกกำลังกายไม่มีผู้ป่วยออกกำลังกาย จึงได้สอบถามถึงการดำเนินชีวิตที่บ้านผู้ป่วยส่วนใหญ่มีการออกกำลังกาย เช่นการเดิน วิ่ง ทำงานอดิเรก ปลูกต้นไม้ ทำงานบ้าน ซึ่งการออกกำลังกายไม่มีการกำหนดหรือตั้งเป้าหมายในการออกกำลังกาย และต้องนอนพักรักษาในโรงพยาบาลที่มีพื้นที่เล็กน้อยและเกิดสถานการณ์การระบาดของโรคไวรัสโคโรนา 2019 มีมาตรการไม่ให้อาติเฝ้าทำให้ผู้ป่วยไม่ได้ออกกำลังกาย ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้มีการออกกำลังกายขณะรักษาในโรงพยาบาลแล้วออกกำลังกายที่บ้านได้ โดยการติดตามทางโทรศัพท์ Smart Phone จึงได้ศึกษาวิธีการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืดเป็นการออกกำลังกายโดยการหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องมีการเผาผลาญพลังงานแบบไม่รุนแรง สามารถออกกำลังกายได้ด้วยตนเองในท่ายืน หรือนั่งเก้าอี้ และใช้พื้นที่น้อย (ฉัตรกมล สิงห์น้อย และคณะ, 2559) [7]

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาผลการจัดการตนเองด้านความรู้ พฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด และระดับฮีโมโกลบินเอวันซีของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 เปรียบเทียบภายในกลุ่มควบคุมก่อนและหลังให้การพยาบาลตามปกติ
2. ศึกษาผลการจัดการตนเองด้านความรู้ พฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด และระดับฮีโมโกลบินเอวันซีของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 เปรียบเทียบภายในกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังให้โปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้ และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด
3. เปรียบเทียบผลการจัดการตนเองด้านความรู้ พฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด และระดับฮีโมโกลบินเอวันซีระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental Research) ในลักษณะของการศึกษาสองกลุ่ม วัตุก่อนและหลังการทดลอง (Two Groups Pretest-posttest Design) โดยวิธีสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) ใช้คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างและการสุ่มตัวอย่างใช้สูตรของโคเฮน (Cohen, 1988) [8] คำนวณ Power Analysis โดยใช้ตารางอำนาจการทดสอบ กำหนดระดับค่าความเชื่อมั่น = 0.05 ค่าอำนาจในการทดสอบ = 0.80 ได้กลุ่มตัวอย่างขนาดเหมาะสมที่ต้องใช้ในการวิจัยกลุ่มละ 26 ราย เนื่องจากการศึกษาวิจัยเป็นแบบกึ่งทดลอง และใช้ระยะเวลาทดลอง 12 สัปดาห์ อาจเกิดการสูญหายของกลุ่มตัวอย่าง (Drop Out) กำหนดไว้ร้อยละ 10 ดังนั้นขนาดกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้กลุ่มละ 29 คน มุ่งศึกษาผลของโปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้ และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืดต่อระดับฮีโมโกลบินเอวันซีของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ระยะเวลาดำเนินการระหว่างวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2565 ถึง 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2565 รวมเวลา 8 เดือน กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และมีระดับฮีโมโกลบินเอวันซีมากกว่า 7 mg %

กรอบแนวคิดของการวิจัย

ตัวแปรต้น

ตัวแปรตาม

1. โปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้ และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด

- การตั้งเป้าหมาย
- การเก็บรวบรวมข้อมูล
- การประมวลผลและการประเมินข้อมูล
- การตัดสินใจ
- การลงมือปฏิบัติ
- การสะท้อนตนเอง

2. การพยาบาลตามปกติ

- การจัดการตนเองด้านความรู้
- พฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด
- ระดับฮีโมโกลบินเอวันซี

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมการจัดการตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ตามแนวคิดการจัดการตนเอง (Self-management) ของเคลียร์ (Creer, 2000) [9] ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือการตั้งเป้าหมาย การเก็บรวบรวมข้อมูล การประมวลผลและการประเมินข้อมูล การตัดสินใจ การลงมือปฏิบัติ และการสะท้อนตนเอง ได้แก่

1. แผนการสอนเพื่อให้ความรู้การจัดการตนเอง และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด ในการควบคุมระดับฮีโมโกลบินเอวันซี มีเนื้อหาครอบคลุมทั้ง 2 องค์ประกอบ คือให้ความรู้เรื่องโรคเบาหวาน ได้แก่ สาเหตุ อาการ การรักษาภาวะแทรกซ้อน และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด 13 ท่า ออกกำลังกายครั้งละ 30 นาที อย่างน้อย 3 -5 ครั้งต่อสัปดาห์ และร่วมกันประเมิน วางแผนปรับพฤติกรรมได้เหมาะสม

2. คู่มือการจัดการตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ประกอบด้วยความรู้เรื่องโรคเบาหวาน และการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด พร้อม QR Code ซึ่งผู้วิจัยจัดทำขึ้นเองและผ่านผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน

3. แบบบันทึกอาการ ปัญหาและความต้องการที่พบในการติดตามกลุ่มทดลอง หลังจำหน่ายกลับบ้าน สัปดาห์ที่ 2 4 6 และ 9 โดยการติดตามทางโทรศัพท์ เพื่อใช้ประกอบการประเมินผลพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด พร้อมรับฟังปัญหา อุปสรรค ให้กำลังใจ และชมเชยในพฤติกรรมที่ผู้ป่วยกลุ่มตัวอย่าง สามารถปรับให้คงไว้ซึ่งพฤติกรรมที่เหมาะสม

การตรวจหาคุณภาพของเครื่องมือวิจัยทั้งหมด โดยผ่านการพิจารณาให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของเนื้อหา การตรวจสอบดัชนีความตรงตามเนื้อหา (Content Validity) ได้ค่า IOC ของเครื่องมือแบบสอบถามการจัดการตนเองด้านความรู้และแบบสอบถามพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด = 0.75 - 1.00 การตรวจสอบความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ได้แบบสอบถามการจัดการตนเองด้านความรู้ = .878 และแบบสอบถามพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด = .898

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ระยะเตรียมการ

1.1 ส่งโครงร่างการวิจัยเสนอต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนโรงพยาบาลนครปฐม เพื่อเข้ารับการพิจารณาอนุญาตดำเนินการวิจัยในโรงพยาบาลนครปฐม

1.2 เมื่อได้รับอนุญาตในการทำวิจัยแล้ว ผู้วิจัยดำเนินการขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้อำนวยการโรงพยาบาลนครปฐม จากนั้นผู้วิจัยเข้าพบ หัวหน้าหอผู้ป่วย และพยาบาลประจำการ ที่กลุ่มตัวอย่างมารับการรักษา เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย รายละเอียดการวิจัย และขอความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2. ระยะก่อนการทดลอง ผู้วิจัยดำเนินการเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion Criteria)

1. มีอายุ 18 ปีขึ้นไป
2. เป็นผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และมีระดับฮีโมโกลบินเอวันซี มากกว่า 7 mg %
3. มีสติสัมปชัญญะดี ไม่มีปัญหาการได้ยิน และสามารถสื่อสารด้วยภาษาไทยได้
4. สามารถติดต่อทางโทรศัพท์ที่เป็นแบบ Smart Phone ได้

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion Criteria)

1. ไม่สามารถเข้าร่วมโปรแกรม ได้ตลอดระยะ 12 สัปดาห์
2. ผู้ป่วยที่ได้รับการตัดขาหรือขา (Amputation)
3. ผู้ป่วยที่มีภาวะอ่อนแรงแขนขาข้างเดียว (Hemiplegia)

3. ระยะดำเนินการทดลอง

4. นำแบบสอบถามมาตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์
5. จัดทำตารางการลงคะแนน

6. นำไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

วิธีการดำเนินการทดลอง

การศึกษครั้งนี้ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลด้วยตนเองเป็น 2 ระยะโดยมีรายละเอียด ดังนี้

การดำเนินการในผู้ป่วยกลุ่มควบคุม

1. ขณะรักษาตัวในโรงพยาบาล

1.1 ผู้วิจัยพบผู้ป่วยกลุ่มควบคุมที่หอผู้ป่วยพิเศษอายุรกรรม 1 หอผู้ป่วยพิเศษอายุรกรรม 2 หอผู้ป่วยพิเศษ 3 หอผู้ป่วยอายุรกรรมชาย 1 หอผู้ป่วยอายุรกรรมชาย 2 หอผู้ป่วย อายุรกรรมหญิง 1 และหอผู้ป่วยอายุรกรรมหญิง 2 ที่ผู้ป่วยกลุ่มควบคุมพักอาศัยอยู่ แนะนำตัวกับกลุ่มควบคุม ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ชี้แจงการพิทักษ์สิทธิของกลุ่มควบคุมในการเข้าร่วมการวิจัย และเปิดโอกาสให้ผู้ป่วยกลุ่มควบคุมสอบถามข้อสงสัย ผู้วิจัยจึงให้กลุ่มควบคุม ลงนามในใบเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และหนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมการวิจัย

1.2 ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยให้ผู้ป่วยกลุ่มควบคุม ทำแบบบันทึกข้อมูลส่วนบุคคล แบบสอบถามการจัดการตนเองด้านความรู้ และแบบสอบถามพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด (Pretest)

1.3 ให้ความรู้เรื่องโรคเบาหวานชนิดที่ 2 สาเหตุ อาการ การรักษา ภาวะแทรกซ้อน พฤติกรรม การออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด

1.4 ผู้วิจัยและผู้ป่วยกลุ่มควบคุมร่วมกันประเมินและวางแผนแนวทางปรับพฤติกรรม เพื่อประเมินปัญหาสุขภาพ วางแผนการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรค พฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืดได้เหมาะสม

2 ระยะติดตามหลังจำหน่ายกลับบ้าน

2.1 สัปดาห์ที่ 2 4 6 และ 9 โทรศัพท์ติดตามการประเมินพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด รับฟังปัญหาและอุปสรรค ร่วมกันหาแนวทางการแก้ไขเพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด ให้กำลังใจ ชมเชยในพฤติกรรมที่ผู้ป่วยกลุ่มควบคุม สามารถปรับให้คงไว้ซึ่งพฤติกรรมที่เหมาะสม

2.2 สัปดาห์ที่ 12 ผู้วิจัยพบผู้ป่วยกลุ่มทดลอง ที่แพทย์นัด ตรวจเลือดหาค่าระดับฮีโมโกลบินเอวันซี ติดตามผลเลือด

2.3 ขอบคุณผู้ป่วยกลุ่มควบคุม ทำแบบสอบถามการจัดการตนเองด้านความรู้และแบบสอบถามพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด (Posttest) ซึ่งเป็นแบบสอบถามฉบับเดียวกับก่อนการทดลองและมอบคู่มือการจัดการตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และยางยืด

การดำเนินการในผู้ป่วยกลุ่มทดลอง

ให้การพยาบาลเหมือนให้กับกลุ่มควบคุม แต่ให้คู่มือการจัดการตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และยางยืด หลังจากทำแบบสอบถาม (Pretest) เสร็จ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

หลังจากเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยประมวลผลข้อมูลที่รวบรวมมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม SPSS สำเร็จรูป ซึ่งกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เป็นเกณฑ์ในการยอมรับสมมติฐาน

1. ข้อมูลส่วนบุคคล การจัดการตนเองด้านความรู้ และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงบรรยาย (Descriptive Analysis) ด้วยการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Chi-square Test และ Fisher's Exact Test

2. สถิติเชิงวิเคราะห์ (Analysis Statistics)

2.1 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการจัดการตนเองด้านความรู้ พฤติกรรม การออกกำลังกายชนิดด้านยืต ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังการทดลองโดยใช้สถิติ Paired T-test

2.2 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการจัดการตนเองด้านความรู้ พฤติกรรม การออกกำลังกายชนิดด้านยืต ระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังการทดลอง โดยใช้สถิติ Independent T-test

2.4 เปรียบเทียบค่าระดับฮีโมโกลบินเอวันซีระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง หลังการทดลอง โดยใช้สถิติ Independent T-test

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัย มีดังนี้

จากผลการศึกษาข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามการจัดการด้านความรู้ และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดด้านยืต พบว่ากลุ่มควบคุมเป็นเพศชายร้อยละ 55.20 มีอายุเฉลี่ยร้อยละ 59.41 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.11 ค่ารักษาพยาบาลใช้สิทธิบัตรประกันสุขภาพในการรักษาร้อยละ 69.00 สถานะภาพสมรสมีคู่ร้อยละ 65.50 ระดับการศึกษาชั้นประถมศึกษาร้อยละ 55.20 ประกอบอาชีพรับจ้างร้อยละ 41.40 สถานภาพเป็นผู้นำครอบครัวร้อยละ 44.80 บุคคลที่เป็นผู้ดูแลบุตร/ธิดาร้อยละ 51.70 รายได้เฉลี่ยของครอบครัวประมาณ 10,000 – 20,000 บาทต่อเดือนร้อยละ 65.50 รายได้ต่อเดือนเพียงพอร้อยละ 62.10 มีโรคประจำตัวอื่น 2 โรคร้อยละ 37.90 ระยะเวลาที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในระยะเวลา 0 – 5 ปีร้อยละ 51.70

กลุ่มทดลองเป็นเพศชายร้อยละ 62.10 มีอายุเฉลี่ยร้อยละ 55.86 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 12.38 ค่ารักษาพยาบาลใช้สิทธิบัตรประกันสุขภาพในการรักษาร้อยละ 75.90 สถานะภาพสมรสคู่ร้อยละ 44.90 ระดับการศึกษาชั้นประถมศึกษา ร้อยละ 41.40 ประกอบอาชีพรับจ้างร้อยละ 48.30 สถานภาพเป็นผู้นำครอบครัวร้อยละ 48.30 บุคคลที่เป็นผู้ดูแลบุตร/ธิดา ร้อยละ 48.30 รายได้เฉลี่ยของครอบครัวประมาณ 10,000 – 20,000 บาทต่อเดือนร้อยละ 86.30 รายได้ต่อเดือนเพียงพอ ร้อยละ 69.00 มีโรคประจำตัวอื่น 1 โรค ร้อยละ 48.30 ส่วนใหญ่เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 ในระยะเวลา 0-5 ปีร้อยละ 51.70

เมื่อนำข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่างมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยใช้ สถิติ Chi-square Test และ Fisher's Exact Test พบว่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการจัดการตนเองด้านความรู้ของกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังการทดลอง จำแนกตามรายข้อและภาพรวม และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยระหว่างก่อนและหลังทดลอง

ความรู้ในการจัดการตนเอง	ก่อนทดลอง (n=29)		หลังทดลอง (n=29)		t	p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
1. โรคเบาหวานเป็นโรคที่ร่างกายมีน้ำตาลในเลือดสูงเกิน 126 มก/ดล	0.93	0.25	1.00	0	-1.44	0.16
2. สาเหตุของโรคเบาหวานเกิดจากกรรมพันธุ์เพียงอย่างเดียว	0.79	0.41	0.97	0.18	-2.41	0.02
3. โรคเบาหวานรักษาไม่หายขาด	0.76	0.43	1.00	0	-2.98	0.00
4. ผู้ที่มีน้ำหนักเกินหรืออ้วน เสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน	0.79	0.41	1.00	0	-2.703	0.01

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ความรู้ในการจัดการตนเอง	ก่อนทดลอง (n=29)		หลังทดลอง (n=29)		t	p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
5. อาการของโรคเบาหวานคือกระหายน้ำ ปัสสาวะบ่อย และน้ำหนักตัวลดลง	0.76	0.43	0.93	0.25	-1.983	0.05
6. ผลไม้ที่ผู้ป่วยโรคเบาหวานควรหลีกเลี่ยงคือ ผลไม้ที่มีรสหวานมากเช่นขนุน ลำไย ทุเรียน เป็นต้น	0.97	0.18	1.00	0	-1.00	0.32
7. การรับประทานอาหารรสหวาน มัน เค็ม เป็นประจำ ในแต่ละวัน เสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน	0.97	0.18	0.97	0.18	0	1.00
8. ผู้ป่วยโรคเบาหวานรับประทานเนื้อสัตว์ไม่ติดมันได้ทุกชนิด	0.83	0.38	0.97	0.18	-1.68	0.10
9. ถ้าผู้ป่วยโรคเบาหวานลืมรับประทานยาเบาหวาน สามารถเพิ่มขนาดของยาในมือต่อไปได้	0.72	0.45	0.83	0.38	-1.140	0.26
10. การรับประทานยารักษาโรคเบาหวานอย่างเดียว ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลได้ดี	0.62	0.49	0.86	0.35	-2.25	0.03
11. การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอเช่น ชนิด ต้านยางยืด ทำให้ช่วยควบคุม น้ำหนักตัวและระดับฮีโมโกลบินเอวันซีได้	0.93	0.25	1.00	0	-1.44	0.16
12. การออกกำลังกายควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาที	0.97	0.18	0.97	0.18	0	1.00
13. การหมดสติจากน้ำตาลในเลือดสูงหรือต่ำ เป็นภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญของโรคเบาหวาน	0.93	0.25	1.00	0	-1.44	0.16
14. ถ้ามีอาการผิดปกติเช่น สายตาพร่ามัว มีแผลที่เท้าและหายาก ท่านต้องพบแพทย์เพื่อวินิจฉัยโรคหรือหาสาเหตุจากโรคเบาหวาน	1.00	0	1.00	0	0	1.00
15. ผู้ป่วยโรคเบาหวานควรดูแลเท้าเป็นพิเศษ โดยการใส่รองเท้าที่นุ่ม พอดีเท้าเพื่อช่วยให้การไหลเวียนของเลือดบริเวณเท้าได้ดี	0.93	0.25	1.00	0	-1.44	0.16
ภาพรวม	0.86	0.12	0.97	0.05	-4.25	0.00

จากตารางที่ 1 ผลการศึกษาการจัดการตนเองด้านความรู้ ของกลุ่มทดลอง ก่อนการทดลอง พบว่าในภาพรวมมีคะแนนเฉลี่ย=0.86, SD=0.12 และหลังการทดลอง มีคะแนนเฉลี่ย=0.97, SD=0.05 เมื่อพิจารณาตามรายชื่อ พบว่า หลังได้รับโปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้และพฤติกรรมออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด มีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้นทุกข้อ ยกเว้น ข้อ 7 การรับประทานอาหารรสหวาน มัน เค็ม เป็นประจำ ในแต่ละวันเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน และข้อ 12 การออกกำลังกายควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาที ที่มีคะแนนเฉลี่ย=0.97, SD=0.18 เท่ากันทั้งก่อนและหลังการทดลอง

และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยในภาพรวมระหว่างก่อนและหลังการทดลอง ด้วยสถิติ Paired T-test พบว่าหลังการทดลอง มีคะแนนสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.001$

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการจัดการตนเองด้านความรู้ ของกลุ่มควบคุม ก่อนและหลังการทดลอง จำแนกตามรายชื่อและภาพรวม และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

การจัดการตนเองด้านความรู้	ก่อนทดลอง (n=29) หลังทดลอง (n=29)				t	p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
1. โรคเบาหวานเป็นโรคที่ร่างกายมีน้ำตาลในเลือดสูงเกิน 126 มก/ดล	0.97	0.18	1.00	0	-1.00	0.32
2. สาเหตุของโรคเบาหวานเกิดจากกรรมพันธุ์เพียงอย่างเดียว	0.66	0.48	0.69	0.47	-0.37	0.71
3. โรคเบาหวานรักษาไม่หายขาด	0.83	0.38	0.93	0.25	-1.36	0.18
4. ผู้ที่มีน้ำหนักเกินหรืออ้วน เสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน	0.72	0.45	0.79	0.41	-0.81	0.42
5. อาการของโรคเบาหวานคือกระหายน้ำ ปัสสาวะบ่อย และน้ำหนักตัวลดลง	0.72	0.45	0.76	0.43	-0.44	0.66
6. ผลไม้ที่ผู้ป่วยโรคเบาหวานควรหลีกเลี่ยงคือผลไม้ที่มีรสหวานมากเช่นขนุน ลำไย ทุเรียน เป็นต้น	0.97	0.18	1.00	0	-1.00	0.32
7. การรับประทานอาหารรสหวาน มัน เค็ม เป็นประจำ ในแต่ละวัน เสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน	0.90	0.31	0.86	0.35	0.44	0.66
8. ผู้ป่วยโรคเบาหวานรับประทานเนื้อสัตว์ไม่ติดมันได้ทุกชนิด	0.76	0.43	0.76	0.43	0	1.00
9. ถ้าผู้ป่วยโรคเบาหวานลืมนับรับประทานยาเบาหวาน สามารถเพิ่มขนาดของยาในมือต่อไปได้	0.69	0.47	0.86	0.35	-1.72	0.09
10. การรับประทานยารักษาโรคเบาหวานอย่างเดียว ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลได้ดี	0.45	0.50	0.52	0.50	-0.70	0.48
11. การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอเช่น ชนิดด้านยางยืด ทำให้ช่วยควบคุมน้ำหนักตัวและระดับฮีโมโกลบินเอวันซีได้	0.90	0.31	0.93	0.25	-0.57	0.57
12. การออกกำลังกายควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาที	0.83	0.38	0.83	0.38	0	1.00
13. การหมดสติจากน้ำตาลในเลือดสูงหรือต่ำ เป็นภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญของโรคเบาหวาน	0.97	0.18	1.00	0	-1.00	0.32
14. ถ้ามีอาการผิดปกติเช่น สายตาพร่ามัว มีแผลที่เท้าและหายยาก ท่านต้องพบแพทย์เพื่อวินิจฉัยโรคหรือหาสาเหตุจากโรคเบาหวาน	1.00	0	1.00	0	0	0
15. ผู้ป่วยโรคเบาหวานควรดูแลเท้าเป็นพิเศษโดยการใส่รองเท้าที่นิ่ม พอดีเท้าเพื่อช่วยให้การไหลเวียนของเลือดบริเวณเท้าได้ดี	0.90	0.31	1.00	0	-1.79	0.08
ภาพรวม	0.82	0.10	0.86	0.09	-2.00	0.05

จากตารางที่ 2 ผลการศึกษาการจัดการตนเองด้านความรู้ของกลุ่มควบคุมก่อนการทดลอง พบว่าในภาพรวมมีคะแนนเฉลี่ย = 0.82, SD= 0.10 และหลังการทดลองมีคะแนนเฉลี่ย= 0.86, SD= 0.09 เมื่อพิจารณาตามรายชื่อ พบว่า หลังได้รับการพยาบาลตามปกติ มีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้นเล็กน้อยทุกข้อ ยกเว้น ข้อ 7 การรับประทานอาหารรสหวาน มัน เค็ม

เป็นประจำในแต่ละวันเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน หลังการทดลองมีคะแนนเฉลี่ย = 0.86, SD = 0.35 น้อยกว่าก่อนการทดลองที่มีค่าเฉลี่ย = 0.90, SD = 0.31 และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยโดยภาพรวมระหว่างก่อนและหลังการทดลอง ด้วยสถิติ Paired T-test พบว่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการจัดการตนเองด้านความรู้ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง จำแนกตามรายชื่อและภาพรวม

การจัดการตนเองด้านความรู้	กลุ่มควบคุม (n=29)		กลุ่มทดลอง (n=29)		t	p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
1. โรคเบาหวานเป็นโรคที่ร่างกายมีน้ำตาลในเลือดสูงเกิน 126 มก/ดล	1.00	0	1.00	0	0	0
2. สาเหตุของโรคเบาหวานเกิดจากกรรมพันธุ์เพียงอย่างเดียว	0.69	0.47	0.97	0.186	-2.93	0.00
3. โรคเบาหวานรักษาไม่หายขาด	0.93	0.25	1.00	0	-1.44	0.15
4. ผู้ที่มีน้ำหนักเกินหรืออ้วน เสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน	0.79	0.41	1.00	0	-2.70	0.00
5. อาการของโรคเบาหวานคือกระหายน้ำ ปัสสาวะบ่อย และน้ำหนักตัวลดลง	0.76	0.43	0.93	0.25	-1.83	0.07
6. ผลไม้ที่ผู้ป่วยโรคเบาหวานควรหลีกเลี่ยงคือผลไม้ที่มีรสหวานมากเช่นขนุน ลำไย ทุเรียน เป็นต้น	1.00	0	1.00	0	0	0
7. การรับประทานอาหารรสหวาน มัน เค็ม เป็นประจำ ในแต่ละวัน เสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน	0.86	0.35	0.97	0.18	-1.40	0.16
8. ผู้ป่วยโรคเบาหวานรับประทานเนื้อสัตว์ไม่ติดมันได้ทุกชนิด	0.76	0.43	0.97	0.18	-2.35	0.02
9. ถ้าผู้ป่วยโรคเบาหวานรับประทานยาเบาหวาน สามารถเพิ่มขนาดของยาในมือต่อไปได้	0.86	0.35	0.83	0.38	0.35	0.72
10. การรับประทานยารักษาโรคเบาหวานอย่างเดียว ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลได้ดี	0.52	0.50	0.86	0.35	-3.00	0.00
11. การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอเช่น ขนิดด้านข้างยืด ทำให้ช่วยควบคุม น้ำหนักตัวและระดับฮีโมโกลบินเอวันซีได้	0.93	0.25	1.00	0	-1.44	0.15
12. การออกกำลังกายควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาที	0.83	0.38	0.97	0.18	-1.74	0.08
13. การหมดสติจากน้ำตาลในเลือดสูงหรือต่ำ เป็นภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญของโรคเบาหวาน	1.00	0	1.00	0	0	0
14. ถ้ามีอาการผิดปกติเช่น สายตาพร่ามัว มีผลที่เท้าและหายยาก ท่านต้องพบแพทย์เพื่อวินิจฉัยโรคหรือหาสาเหตุจากโรคเบาหวาน	1.00	0	1.00	0	0	0
15. ผู้ป่วยโรคเบาหวานควรดูแลเท้าเป็นพิเศษโดยการใส่รองเท้าที่นิ่ม พอดีเท้าเพื่อช่วยให้การไหลเวียนของเลือดบริเวณเท้าได้ดี	1.00	0	1.00	0	0	0
ภาพรวม	0.86	0.09	0.97	0.05	-5.39	0.00

จากตารางที่ 3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย การจัดการตนเองด้านความรู้ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง ด้วยสถิติ Independent T-test พบว่าในภาพรวมกลุ่มทดลองมีคะแนนสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.001$

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดด้านยางยืด ของกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังการทดลอง จำแนกตามรายด้านและภาพรวม และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

พฤติกรรมการออกกำลังกาย ชนิดด้านยางยืด	ก่อนทดลอง (n=29)		หลังทดลอง (n=29)		t	p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
ด้านการตั้งเป้าหมาย	8.00	2.89	14.17	1.00	-10.58	0.00
ด้านการเก็บรวบรวมข้อมูล	10.34	4.17	18.86	1.68	-9.99	0.00
ด้านการประมวลและการประเมินข้อมูล	8.97	3.64	14.48	1.02	-7.73	0.00
ด้านการตัดสินใจ	11.66	5.52	19.86	0.44	-8.00	0.00
ด้านการลงมือปฏิบัติ	14.55	1.16	19.17	7.05	-8.70	0.00
ด้านการสะท้อนตนเอง	17.86	7.87	29.55	0.98	-7.98	0.00
ภาพรวม	11.90	4.29	20.18	0.59	-10.14	0.00

จากตารางที่ 4 ผลการศึกษาพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดด้านยางยืด ของกลุ่มทดลองก่อนการทดลอง พบว่าในภาพรวมมีคะแนนเฉลี่ย = 11.90, SD = 4.29 และหลังทดลองมีคะแนนเฉลี่ย = 20.18, SD = 0.59 เมื่อพิจารณาตามรายด้าน พบว่าหลังได้รับโปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดด้านยางยืด มีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้นทุกด้าน และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยในภาพรวมก่อนและหลังการทดลอง ด้วยสถิติ Paired T-test พบว่าหลังการทดลองมีคะแนนสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.001$

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดด้านยางยืดของกลุ่มควบคุมก่อนและหลังการทดลอง จำแนกตามรายด้านและภาพรวม และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยระหว่างก่อนและหลังการทดลอง

พฤติกรรมการออกกำลังกาย ชนิดด้านยางยืด	ก่อนทดลอง (n=29)		หลังทดลอง (n=29)		t	p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
ด้านการตั้งเป้าหมาย	7.86	2.48	9.69	2.00	-4.22	0.00
ด้านการเก็บรวบรวมข้อมูล	11.34	4.29	12.21	3.62	-1.12	0.26
ด้านการประมวลและการประเมินข้อมูล	9.69	3.50	9.86	2.74	-0.24	0.80
ด้านการตัดสินใจ	11.90	4.59	12.34	3.19	-0.63	0.53
ด้านการลงมือปฏิบัติ	14.03	4.58	14.34	4.32	-0.48	0.63
ด้านการสะท้อนตนเอง	17.76	6.99	19.31	6.09	-1.40	0.17
ภาพรวม	12.09	3.69	12.96	2.92	-1.45	0.15

จากตารางที่ 5 ผลการศึกษาพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดด้านยางยืด ของกลุ่มควบคุม ก่อนการทดลอง พบว่าในภาพรวมมีคะแนนเฉลี่ย = 12.09, SD = 3.69 และหลังการทดลอง มีคะแนนเฉลี่ย = 12.96, SD = 2.92 เมื่อพิจารณาตามรายด้าน พบว่าหลังได้รับการพยาบาลตามปกติ มีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้นเล็กน้อยทุกข้อ และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยโดยภาพรวมระหว่างก่อนและหลังการทดลอง ด้วยสถิติ Paired T-test พบว่า ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลของพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง จำแนกตามรายด้านและภาพรวม

พฤติกรรมการออกกำลังกาย ชนิดต้านยางยืด	กลุ่มทดลอง (n=29)		กลุ่มควบคุม (n=29)		t	p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
ด้านการตั้งเป้าหมาย	14.17	1.00	9.69	2.00	10.78	0.00
ด้านการเก็บรวบรวมข้อมูล	18.86	1.68	12.21	3.62	8.95	0.00
ด้านการประมวลและการประเมินข้อมูล	14.48	1.02	9.86	2.74	8.48	0.00
ด้านการตัดสินใจ	19.86	0.44	12.34	3.19	12.53	0.00
ด้านการลงมือปฏิบัติ	24.17	1.16	14.34	4.32	11.82	0.00
ด้านการสะท้อนตนเอง	29.55	0.98	19.31	6.09	8.93	0.00
ภาพรวม	20.18	0.59	12.96	2.92	13.07	0.00

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย พฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม หลังการทดลอง ด้วยสถิติ Independent T-test พบว่าในภาพรวมกลุ่มทดลองมีคะแนนสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.001$

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบระดับฮีโมโกลบินเอวันซี ของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ภายหลังการทดลอง

ระดับฮีโมโกลบินเอวันซี	กลุ่มควบคุม (n=29)		กลุ่มทดลอง (n=29)		t	p-value
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
ระดับฮีโมโกลบินเอวันซี	8.79	1.20	6.69	0.43	8.83	0.00

ตารางที่ 7 ผลการศึกษา ระดับฮีโมโกลบินเอวันซี ของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ด้วยสถิติ Independent T-test พบว่าระดับฮีโมโกลบินเอวันซี ของกลุ่มทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.001$

สรุปและอภิปรายผล

ผลการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการตนเองด้านความรู้ พบว่าหลังเข้าร่วมโปรแกรมเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลอง กลุ่มทดลองมีการจัดการตนเองด้านความรู้สูงกว่าก่อนการทดลองและสูงกว่ากลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.001$ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของกนกวรรณ ดั่งกลัด และคณะ (2563) [10] พบว่ากลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความรู้การจัดการตนเองเรื่องโรคเบาหวาน มากกว่าก่อนการทดลองและมากกว่ากลุ่มควบคุม

ผลการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด พบว่า หลังเข้าร่วมโปรแกรมเมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด ระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลอง กลุ่มทดลองมีพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด สูงกว่าก่อนการทดลองและสูงกว่ากลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.001$ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของธีรพล ผังติ และคณะ (2560) [11] พบว่ากลุ่มทดลอง ที่ได้รับโปรแกรมการส่งเสริมพฤติกรรมออกกำลังกาย มีคะแนนเฉลี่ยพฤติกรรมการออกกำลังกายอยู่ในระดับดีร้อยละ 80 ซึ่งสูงกว่าก่อนการทดลองและสูงกว่ากลุ่มควบคุม

ผลการวิจัยเกี่ยวกับระดับฮีโมโกลบินเอวันซี ของผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม พบว่าระดับฮีโมโกลบินเอวันซี กลุ่มทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.001$ ซึ่งสอดคล้องกับ

การศึกษาของสุชาติดา พวงจำปา และคณะ (2563) [12] พบว่ากลุ่มทดลองหลังได้รับโปรแกรมสนับสนุนการจัดการตนเองด้านความรู้ มีความรู้เพิ่มขึ้น และพฤติกรรมการออกกำลังกาย มีการออกกำลังกายมากขึ้น สามารถระดับฮีโมโกลบินเอวันซีได้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ด้านการบริหาร ผู้บริหารโรงพยาบาลควรมีการสนับสนุนให้มีการประยุกต์ใช้ โปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต่างๆ ยืด เพื่อพัฒนาศักยภาพแก่ผู้ป่วยโรคโรคเบาหวานเพิ่มเติมจากเดิม

1.2 ด้านการปฏิบัติการพยาบาล พยาบาลและทีมสุขภาพสามารถนำผลการวิจัยของ โปรแกรมการจัดการตนเองด้านความรู้และพฤติกรรมการออกกำลังกายชนิดต่างๆ ยืด เป็นแนวทางการพยาบาลและการพัฒนาคุณภาพ การดูแลมาสำหรับผู้ป่วยโรคโรคเบาหวานต่อไป

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 สามารถนำปัจจัยรายด้านอื่น ๆ ของการจัดการตนเองด้านความรู้และพฤติกรรมจัดการตนเองมาใช้เป็นตัวแปรเพื่อศึกษาเพิ่มเติมในการติดตามการปรับพฤติกรรมของผู้ป่วยโรคโรคเบาหวานชนิดที่ 2

2.2 การวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาโดยควบคุมตัวแปรบางตัว เช่น ระยะเวลาของการเป็นโรคและอาจพิจารณาเรื่องระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Division of Non Communicable Diseases, Department of Disease Control, Ministry of Public Health (2022, November13). *Situation of patients with diabetes*. <https://pr.moph.go.th/?url=pr/detail/2/02/181256>
- [2] Health Data Center (HDC) Report. (2023, May 6). *Data of diabetic patients in Nakhon Pathom Province*. <https://npt.hdc.moph.go.th/hdc/admin/login.php>
- [3] Nakhon Pathom Hospital Information Center. (2023, May 11). *Data of diabetic patients type 2 in Nakhon Pathom*. Hospital <https://www.nkphospital.go.th>
- [4] Phothi, P., Teerakulchai, C., Khanobdee, C. & Panburana, P. (2016). The effect of a resistance exercise program on glycemic control of pregnant women with gestational diabetes mellitus class A1. *Vajira Nursing Journal*, 18(2), 12-24.
- [5] Gunggu, A., Thon, C. C., & Lian, C.W. (2016). Predictors of diabetes self-management among type 2 diabetes patients. *Journal of Diabetes Research*. 2016, 9158943. doi: 10.1155/2016/9158943.
- [6] Wang, T., Liu, Y., Zhong, R., Xu, D., Wang, H. & Fu, B. S. C. (2018). Benefit effects of aerobic exercise and resistance training on the management of type 2 diabetes. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 11(10), 10433-10445.
- [7] Singnoy, C., Julamet, P. & Tungthonchai, O. (2016). *The development of apply elastic tube exercise program for chronically ill older adults*. (Research report), Chonburi: Burapha University.
- [8] Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

- [9] Creer, T. L. (2000). Self-management of chronic illness. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. 601-629). Academic Press.
- [10] Duangkhlad, K., Lapvongwatana, P. & Chansatitporn, N. (2020). Improvement of self-management program in uncontrolled type II diabetes patients. *Journal of Health and Nursing Research*, 36(1). 66-83.
- [11] Phungdee, T., Sirisophon, N., Kainakha, P., Nititham, A. & Chaleoykitti, S. (2017). Effectiveness of exercise behaviors promotion program of diabetes mellitus type 2 patients. *Journal of The Royal Thai Army Nurses*, 18 (Suppl. 1) 291-298.
- [12] Phuangchumpa, S., Piboon, K., Jaidee, W. & Chaiklongkit, K. (2020). The effects of self-management support program on knowledge, exercise behavior, number of steps, and hemoglobin A1C among type 2 diabetes patients. *Royal Thai Navy Medical Journal*, 47(2), 275-300.

สารประกอบลิแกแนนและยีน *Pinoresinol-lariciresinol Reductases 3*
ในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่
Lignan Constituents and *Pinoresinol-lariciresinol Reductase 3* Gene
in Riceberry Rice

กนกวรรณ ลิ้มเจริญ¹ วศินี พูลสวัสดิ์² ปรียา มณีประเสริฐ³ และจรรีรัตน์ มงคลศิริวัฒนา^{4*}

Kanocwan Limchareon¹, Wasinee Poonsawat², Pariya Maneeprasert³, and Chareerat Mongkolsiriwatana^{4*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ คือ เพื่อตรวจสอบชนิดและปริมาณสารลิแกแนนในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) และโคลนยีนที่กำหนดเอนไซม์ Pinoresinol-lariciresinol Reductase (PLR) ในวิธีการสังเคราะห์สารลิแกแนนในข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากผลการทดลองพบสารลิแกแนนชนิดซีโคไอโซลาริซิเรซินอลปริมาณ 1.70 ± 0.20 1.96 ± 0.25 และ 3.14 ± 0.19 มิลลิกรัม/กรัมข้าวอบ ในระยะน้ำนม ข้าวเม่า และข้าวสาร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างของยีน *PLR* Homolog จากจีโนมข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า ยีน *OsPLR3* มีขนาด 2,449 คู่เบส ประกอบด้วย 5 เอกซอน และ 4 อินทรอน มีบริเวณที่กำหนดรหัสกรดอะมิโน 921 นิวคลีโอไทด์ แพลรหัสได้สายพอลิเปปไทด์ 306 กรดอะมิโน โดยพบโดเมนอนุรักษ์ Rossmann-fold NAD(P)(+)-binding Proteins และกรดอะมิโนไลซีน (K) ทำหน้าเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของเอนไซม์ PLR จากการวิเคราะห์การแสดงออกของยีน *OsPLR3* ในแต่ละระยะของการพัฒนาเมล็ด พบว่ายีนมีการแสดงออกต่ำสุดในระยะน้ำนม แล้วเพิ่มขึ้นในระยะข้าวเม่า สูงสุดในระยะข้าวสาร ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการสะสมสารซีโคไอโซลาริซิเรซินอลในเมล็ด จึงคาดว่าปริมาณการสะสมซีโคไอโซลาริซิเรซินอลในเมล็ดข้าวถูกควบคุมโดยยีน *OsPLR3*

¹นิสิตปริญญาโท โครงการสหวิทยาการ สาขาพันธุวิศวกรรมและชีวสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²นักวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยวิทยาการสุขภาพ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตำบลไทยบุรี อ.ท่าศาลา นครศรีธรรมราช 80160

³นิสิตปริญญาเอก โครงการสหวิทยาการสาขาพันธุวิศวกรรมและชีวสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

⁴ผศ. ดร., วิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน นครปฐม 73140

¹Master Student, Interdisciplinary Graduate Program in Genetic Engineering, Graduate School, Kasetsart University, Bangkhen Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

²Scientist, Research Institute for Health Sciences, Walailak University, Thaiaburi, Tha-Sala, Nakhon Si Thammarat, 80160, Thailand

³PhD Student, Interdisciplinary Graduate Program in Genetic Engineering, Graduate School, Kasetsart University, Bangkhen Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

⁴Asst. Prof. Dr., Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140, Thailand

*Corresponding author: chareerat.p@ku.th, faasrcp@ku.ac.th

(Received: June 24, 2023; Revised: August 20, 2023; Accepted: August 29, 2023)

คำสำคัญ: ลิกแนน, ข้าวไรซ์เบอร์รี่, เอนไซม์ Pinoresinol-lariciresinol Reductase (PLR), ยีน *OsPLR3*

Abstract

The objective of this research was to identify type and content of lignans in seed of Riceberry rice, stage of milk, dough and maturity, using HPLC (High Performance Liquid Chromatography) and to clone *PLR* gene encoding Pinoresinol - lariciresinol reductase, a key enzyme in lignan biosynthesis pathway. The secoisolariciresinol (SECO) lignan was found, 1.70 ± 0.20 , 1.96 ± 0.25 and 3.14 ± 0.19 mg/g, in milk, dough and maturity, respectively. The molecular structure of *PLR* homolog gene was 2,449 bps in length that comprised of 5 exons and 4 introns with 921 open reading frame (ORF) encoding 306 amino acids polypeptide. The Rossmann-fold NAD(P)(+)-binding proteins, a conserved domain for dehydrogenation was identified with a key amino acid, lysine, for active site. Expression analysis of *OsPLR3* in the stages of seed development was performed. The lowest expression was found at milk and gradually inclined to highest expression at maturity stage. This showed correlation to SECO accumulation content during seed development. These suggest that SECO accumulation was probably controlled by *OsPLR3* gene.

Keywords: Lignan, Riceberry, Pinoresinol - lariciresinol Reductase (PLR) Enzyme, *OsPLR3* Gene

บทนำ (Introduction)

ลิกแนน (Lignan) เป็นสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [1] ต้านเบาหวาน และไฟโตเอสโตรเจนที่นิยมนำมาใช้เป็นฮอร์โมนทดแทนในสตรีวัยทอง [2] พบมากในธัญพืชโดยเฉพาะในแฟลกซ์ (Flax) ซึ่งมีรายงานว่าสารสกัดจากเมล็ดแฟลกซ์และสารสกัดลิกแนนจากเมล็ดแฟลกซ์ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของหนูทดลองที่เป็นโรคเบาหวาน และได้มีการขยายผลการศึกษาในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes) พบว่าสารสกัดลิกแนนในรูปของอาหารเสริมสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ควบคุมปริมาณไขมัน และเพิ่มความไวต่อการทำงานของฮอร์โมนอินซูลิน [3] นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองกับหนูที่ถูกชักนำให้เป็นเบาหวานชนิดที่ 1 (Type 1 Diabetes) พบว่าสารสกัดลิกแนนจากเมล็ดแฟลกซ์มีประสิทธิภาพในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้เช่นเดียวกัน [4] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของสารออกฤทธิ์ชีวภาพลิกแนนในการควบคุมน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวาน โดยสารลิกแนนช่วยป้องกันการพัฒนาโรคเบาหวานได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ [5] ลดปริมาณคลอเลสเทอรอลรวมและรักษาระดับค่าน้ำตาลเฉลี่ยสะสม (Glycated Hemoglobin A1C, HbA1c) ของผู้ป่วยเบาหวาน [6] โดยไปลดการแสดงออกของยีนที่กำหนดเอนไซม์ Phosphoenolpyruvate Carboxykinase (PEPCK) ซึ่งเป็นยีนที่มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 [2] สามารถรักษาสมาดุลของระดับน้ำตาลในเลือดได้ จึงทำให้สารลิกแนนได้รับความสนใจ และถูกนำมาพัฒนาเป็นอาหารเสริม รวมทั้งส่งเสริมการบริโภคอาหารที่เป็นแหล่งของลิกแนนเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน [7] นอกจากนี้ สารลิกแนนได้ถูกนำมาใช้เป็นฮอร์โมนทดแทนสำหรับสตรีวัยหมดประจำเดือน เพื่อลดกลุ่มอาการวัยทอง เช่น ร้อนวูบวาบ เหงื่อออกเวลากลางคืน หงุดหงิดง่าย รวมทั้งป้องกันมะเร็งเนื่องจากฮอร์โมน ได้แก่ มะเร็งเต้านม มะเร็งรังไข่ [8] Simbalista et al., (2010) [9] พบว่าหญิงวัยหมดประจำเดือนที่ได้รับสารลิกแนน 46 มิลลิกรัมต่อวัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 12 สัปดาห์สามารถลดกลุ่มอาการวัยทองได้

สารลิกแนนในพืชมีด้วยกัน 7 ชนิด คือ พิโนเรซินอล (Pinoresinol) ลาริซิเรซินอล (Lariciresinol) ซีโคไอโซลาริซิเรซินอล (Secoisolariciresinol) มาไทเรซินอล (Matairesinol) ไฮดรอกซีมาไทเรซินอล (Hydroxymatairesinol) ซิงการิเรซินอล (Syringaresinol) และเซซามิน (Sesamin) ซึ่งลิกแนนที่พบได้ในพืชอาหารทั่วไปอาจอยู่ในรูปอนุพันธ์ที่เชื่อมต่อกับน้ำตาล หรือไม่มีน้ำตาลก็ได้ [10] และพบได้ทั่วไปตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ไม่ว่าจะเป็นส่วนลำต้น ราก ใบ ดอก ผล และ เมล็ด

ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ลิแกนที่ตรวจพบในอาหารที่มาจากพืชมักจะเป็นชนิด ลาริซิเรซินอล มาไทเรซินอล พิโนเรซินอล และ ซีโคไอโซลาริซิเรซินอล ซึ่งเป็นลิแกนที่พบมากในเมล็ดแฟลกซ์ และได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง คือ ซีโคไอโซลาริซิเรซินอลที่จับอยู่กับน้ำตาล (Secoisolariciresinol Diglucoside, SDG) โดยเอนไซม์หลักที่ทำหน้าที่สังเคราะห์สารกลุ่มนี้ คือ Pinoresinol-lariciresinol Reductase (PLR) โดยนำ อี-โคนิเฟอร์ิล แอลกอฮอล์ (E-coniferyl Alcohol) สองโมเลกุลรวมกัน ได้เป็นพิโนเรซินอล จากนั้นถูกเปลี่ยนเป็นลาริซิเรซินอล และ ซีโคไอโซลาริซิเรซินอล ตามลำดับ [11]

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นธัญพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจในการค้นหาสารออกฤทธิ์ชีวภาพต้านเบาหวาน โดยเฉพาะข้าวสี (Color Rice) เนื่องจากเป็นข้าวที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีนที่มีกรดอะมิโน ที่จำเป็น ไขมันดี วิตามินบี 1 และ บี 2 โอรีซานอล และโนอาซิน รวมทั้งยังมีเกลือแร่ (แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก และ สังกะสี) และ กรดไฟติก [12] จึงจัดให้ข้าวกล้องเป็นสุดยอดอาหารธัญพืชที่สามารถพัฒนาเป็นธัญโอสโดยเฉพาะข้าวไทยพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ เพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดสำหรับสตรีวัยทอง ซึ่งเป็นวัยที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน รวมทั้งผู้ป่วยเบาหวานทั่วไป

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นข้าวสีโภชนาการสูง (High Nutritious Rice) มาจากการคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์ โดยการผสมระหว่างพันธุ์หอมนิลกับข้าวดอกมะลิ 105 จนได้พันธุ์ข้าวที่มีคุณค่าทางอาหารและฤทธิ์ทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย อาทิ สารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยชะลอการเสื่อมของเซลล์ ลดความเสี่ยงการเกิดมะเร็งได้แก่ แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) แกมมาโอไรซานอล (Gamma Oryzanol) วิตามินอี ในกลุ่มโทโคฟีรอล ฟลาโวนอยด์ ฟิโนลิก รวมทั้ง ธาตุเหล็ก ธาตุสังกะสี และวิตามิน B1 B2 B3 โอเมก้า 3 6 9 และสาร ASGs (Acyated Steryl Glucosides) ที่ช่วยการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินและควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด [13] ข้าวไรซ์เบอร์รี่ จึงเป็นธัญโอสและแหล่งฮอร์โมนทดแทนทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับสตรีวัยทอง แต่อย่างไรก็ดี ยังไม่มีการศึกษาถึงชนิดและปริมาณสารไฟโตเอสโตรเจนในเมล็ดข้าวพันธุ์นี้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยที่ต้องการศึกษาชนิดและปริมาณสารลิแกนที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งไฟโตเอสโตรเจนและฤทธิ์ต้านเบาหวานในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะต่าง ๆ รวมทั้งโคลนและวิเคราะห์แสดงออกของยีนที่กำหนดรหัสเอนไซม์ Pinoresinol-lariciresinol Reductase หรือ ยีน *PLR* ซึ่งเป็นยีนที่กำหนดเอนไซม์หลักในวิถีการสังเคราะห์สารลิแกนจากจีโนมข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้นอกจากใช้เป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์บ่งชี้สรรพคุณของข้าวไรซ์เบอร์รี่แล้ว ยังสามารถนำไปขยายผลการศึกษาในข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าในเชิงโภชนาการให้กับข้าวไทยต่อไปได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

การเตรียมตัวอย่างพืช

ปลูกข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในกระถางดินเผาเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ในโรงเรือนระบบปิด จนกระทั่งข้าวออกรวงและติดเมล็ด จึงเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวระยะน้ำนม (Milk) ข้าวเฝ้า (Dough) และ ข้าวสาร (Maturity) ในวันที่ 8, 14 และ 30 วัน หลังจากข้าวติดเมล็ดแล้วตามลำดับ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 แถว แถวละ 5 กระถาง เก็บตัวอย่างที่ได้จากแถวเดียวกันนำมารวมกัน โดยคิดเป็น 1 ซ้ำ (1 Biological Replication) ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วแบ่งตัวอย่างแต่ละซ้ำออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ 1 สำหรับวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณสารลิแกนด้วย เทคนิค HPLC และส่วนที่ 2 สำหรับสกัดอาร์เอ็นเอเพื่อตรวจสอบการแสดงออกของยีน *PLR* Homolog

การเตรียมสารสกัดข้าว

สกัดสารลิแกนจากข้าวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดโดยใช้ความร้อน ดัดแปลงจากวิธีของ Hutabarat et al., (2000) [14] โดยชั่งเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะต่างๆ ที่บดละเอียด 1 กรัม สกัดด้วย 10 มิลลิลิตร ของ 2 โมลาร์กรดไฮโดรคลอริก และ 40 มิลลิลิตร ของ 96 เปอร์เซ็นต์เอทานอลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ทิ้งให้สารละลายเย็นลงจึงนำมาปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร ด้วย 96 เปอร์เซ็นต์เอทานอลทำการสกัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์โดยวิธี HPLC

การวิเคราะห์หาชนิดสารลิแกนโดยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)

การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารลิแกนโดยวิธี HPLC ดัดแปลงจากวิธีของ Kuhnle et al., (2007) [15] โดยการศึกษาครั้งนี้ ใช้สารมาตรฐานลิแกน ได้แก่ ซีโคไอโซลาริซินีโอล มาไทเรซินีโอล และคูเมสทอล เตรียมสารละลายมาตรฐานละลายในเมทานอลให้ความเข้มข้นต่าง ๆ กรองสารละลายมาตรฐานผ่าน Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำมาวิเคราะห์โดยวิธี HPLC โดยใช้คอลัมน์ C18 Reverse-phase (4.6 mm x 250 mm, ACE, UK) เป็นเฟสคงที่ 0.025 เปอร์เซ็นต์กรดอะซิติกในน้ำ : อะซิโตนไตรลในอัตราส่วน 33 ต่อ 67 เป็นเฟสเคลื่อนที่ ฉีดตัวอย่างละ 10 ไมโครลิตร อัตราการไหล 1 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ด้วยตัวตรวจวัดโฟโตไดโอดอาร์เรย์ (Photodiode Array Detector) ที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารลิแกนเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

การสกัดดีเอ็นเอ

นำตัวอย่างใบอ่อนของข้าวไรซ์เบอร์รี่มาใช้ในการสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี CTAB โดยดัดแปลงมาจาก Saghai-Marooof et al., (1984) [16] โดยมีวิธีการพอสั่งเบดังนี้ บดตัวอย่างใบข้าวในไนโตรเจนเหลวจนเป็นผงละเอียด แล้วเติมลงในหลอดที่มีบัฟเฟอร์สกัดดีเอ็นเอ (Isolation Buffer; 2% CTAB, 1.4 M NaCl, 20 mM EDTA, 100 mM Tris-HCl pH 8.0, 0.1 % β -mercaptoethanol) ปริมาตร 5 มิลลิเมตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเติมสารละลาย Chloroform : Isoamyl Alcohol (24: 1) ปริมาตร 5 มิลลิเมตร ผสมให้เข้ากันโดยกลับหลอดไปมา แล้วบ่มต่อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายใสส่วนบนใส่หลอดใหม่ แล้วเติมไอโซโพรพานอลที่เย็นจัดปริมาตร 5 มิลลิเมตร (1 เท่า ของสารละลายที่ดูดได้) กลับหลอดไปมาจนเห็นตะกอนดีเอ็นเอเป็นเส้นใยสีขาว แล้วเกี่ยวตะกอนลงในหลอดไมโครเซ็นทริฟิวส์ขนาด 1.5 มิลลิเมตร ที่มีเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เทสารละลายทิ้งไป ปล่อยให้ตะกอนแห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมด้วยบัฟเฟอร์ทีอี (TE Buffer; 100 mM Tris-HCl pH 8, 10 mM EDTA pH 8) ปริมาตร 100 ไมโครลิตรเพื่อละลายตะกอนดีเอ็นเอ จากนั้นตรวจสอบคุณภาพและปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยวิธีอเล็กโทรโฟรีซิสในเจลอะกาโรสความเข้มข้น 0.8 เปอร์เซ็นต์และวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี (Spectrophotometry) ที่ความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร [17]

การโคลนยีน PLR ด้วยเทคนิค PCR

สืบค้นข้อมูลยีน PLR ของพืชในฐานข้อมูลสากล Genbank เลือกยีน *LuPLR1* ของแฟลกซ์ (*Linum usitatissimum*) แล้วดาวน์โหลดลำดับกรดอะมิโนของเอนไซม์ *LuPLR1* (หมายเลข PODKC8) มาวิเคราะห์หา *PLR* Homolog ในฐานข้อมูลของข้าว Rice Genome Annotation Project (<http://rice.plantbiology.msu.edu/>) และจีโนมข้าวใน Genbank โดยใช้โปรแกรม tblastn นำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็ยีน *PLR* Homolog จากจีโนมข้าว มาใช้ในการออกแบบไพรเมอร์เพื่อเพิ่มปริมาณยีน *PLR* Homolog ที่สมบูรณ์ (Full Length) ด้วยเทคนิค PCR โดยมีส่วนผสมของปฏิกิริยา คือ สารละลายดีเอ็นเอความเข้มข้น 50 ng/ μ l ปริมาตร 2.0 ไมโครลิตร ผสมรวมกับ 10x Buffer ปริมาตร 2.0 ไมโครลิตร, 20 mM $MgCl_2$ ปริมาตร 2.0 ไมโครลิตร, 2 mM dNTP mix ปริมาตร 2.0 ไมโครลิตร, 5 μ M *OsPLR_F* Primer และ 5 μ M *OsPLR_R* Primer ปริมาตรอย่างละ 2 ไมโครลิตร, 5U/ μ l *Taq* DNA Polymerase (Invitrogen, USA) ปริมาตร 0.1 ไมโครลิตร และเติมน้ำกลั่นความบริสุทธิ์สูง (Ultrapure Water) ให้ได้ปริมาตรรวม 20 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยา PCR โดยตั้งอุณหภูมิ และเวลา 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส 3 นาที จำนวน 1 รอบ ขั้นที่ 2 อุณหภูมิ 94 องศาเซลเซียส 45 วินาที อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส 40 วินาที อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส 3 นาที ทำซ้ำ 30 รอบ และ ขั้นที่ 3 อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส 10 นาที จากนั้นตรวจสอบผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา PCR ด้วยวิธีอเล็กโทรโฟรีซิสในเจลอะกาโรส

ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ นำชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่เพิ่มปริมาณได้เชื่อมต่อกับพลาสมิด pGEM[®]T Easy Vector (Promega, USA) ถ่ายเข้าสู่ *Escherichia coli* สายพันธุ์ DH5 α ด้วยวิธีทรานส์ฟอร์เมชัน (Transformation) คัดเลือกโคลนีสีขาว นำมาสกัดแยกพลาสมิดด้วยชุดน้ำยาสำเร็จรูป Presto[™] Mini Plasmid kit (Geneaid, Korea) แล้วส่งวิเคราะห์หาลำดับนิวคลีโอไทด์โดยบริษัท Macrogen (Macrogen, Korea) จากนั้นนำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้จัดเก็บเข้าสู่ฐานข้อมูลสากล

การวิเคราะห์ทางชีวสารสนเทศ

นำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์เปรียบเทียบกับยีนในฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม BlastN [18] เพื่อยืนยันผล แล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้าง หาดำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่างเอกซอนกับอินทอนด้วยโปรแกรม Splign [19] นำเฉพาะบริเวณเอกซอนมาวิเคราะห์ หาบริเวณที่กำหนดกรดอะมิโน (ORF: Open Reading Frame) ด้วยโปรแกรม Expasy [20] วิเคราะห์หาโดเมนอนุรักษ์ และตำแหน่งปฏิกิริยา (Active Site) ด้วยโปรแกรม Conserved Domain Search Service [21]

การสกัดอาร์เอ็นเอรวม

นำเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะนํ้านม ข้าวเม่า และข้าวสาร มาสกัดอาร์เอ็นเอด้วยชุดน้ำยาสำเร็จรูป Trizol (Invitrogen, USA) ตรวจสอบคุณภาพและปริมาณอาร์เอ็นเอที่สกัดได้ด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิสในเจลอะกาโรสความเข้มข้น 0.8 เปอร์เซ็นต์ และวิธีสเปกโตรโฟโตเมตริก ที่ความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร [17] จากนั้นนำสารละลายอาร์เอ็นเอของตัวอย่างข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 ระยะ มาสังเคราะห์ cDNA โดยกระบวนการ Reverse Transcription ที่ใช้ Oligo dT เป็นไพรเมอร์ ด้วยชุดน้ำยาสำเร็จรูป SuperScript III First-strand Synthesis System (Invitrogen, USA)

การตรวจสอบการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Quantitative RT-PCR

นำตัวอย่าง cDNA สายเดี่ยวมาทำปฏิกิริยา PCR ด้วยชุดน้ำยาสำเร็จรูป iTaq[™] Universal SYBR[®] Green Supermix (Bio-RAD, USA) โดยส่วนผสมของปฏิกิริยา ประกอบด้วย cDNA (เจือจาง 10 เท่า) 1 ไมโครลิตร, 2X iTaq[™] Universal SYBR[®] Green Reaction Mix 7.5 ไมโครลิตร, 5 μ M Forward Primer และ Reverse Primer อย่างละ 0.3 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์สูงให้ปริมาตรครบ 15 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่อง CFX 96[™] (Bio-rad, USA) ตั้งอุณหภูมิ และเวลา 3 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 95 องศาเซลเซียส 5 นาที ขั้นที่ 2 95 องศาเซลเซียส 5 วินาที 60 องศาเซลเซียส (Annealing/Extension) 30 วินาที ทำซ้ำ 35 รอบ ขั้นที่ 3 วิเคราะห์ Melting Temperature ที่ 65 ถึง 95 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิทีละ 0.5 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ระดับการแสดงออกของยีนแบบเปรียบเทียบ (Relative) ด้วยวิธีเดลต้าซีที (Δ CT) โดยใช้ระดับการแสดงออกของยีน *Actin1* ในการปรับค่า (Normalization) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ [22] โดยรายละเอียดไพรเมอร์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดไพรเมอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Quantitative RT-PCR

ชื่อยีน	ลำดับนิวคลีโอไทด์ของไพรเมอร์ (5'→3')	Tm (°C)	Ta (°C)	ขนาดชิ้นส่วนดีเอ็นเอ (คู่เบส)
<i>OsPLR3</i>	Forward: AGATGCACATTGCCATTGCCCTTGA	59.0	60	257
	Reverse: CCCTAGCAAGTTGAGGTAGGC	60.3		
<i>Actin 1</i>	Forward: TCCATCTTGGCATCTCTCAG	59.3	60	337
	Reverse: GTA CCC GCA TCA GGC ATC TG	61.1		

การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS (Version 17.0) โดยใช้ One-way ANOVA ค่า $p < 0.05$ ถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิจัย (Results)

การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารซีโคไอโซลาริซิเรซินอลด้วยเทคนิค HPLC

จากการส่งตัวอย่างเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ ระยะนํ้านม ข้าวเม่า และ ข้าวสาร วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารลิแกนด้วยเทคนิค HPLC โดยใช้สารมาตรฐาน ซีโคไอโซลาริซิเรซินอล พบสารลิแกนชนิดนี้ในเมล็ดข้าวทั้งสามระยะ โดยพบการสะสมของซีโคไอโซลาริซิเรซินอลในเมล็ดข้าวสารในปริมาณสูงสุด คือ 3.14 มิลลิกรัม/กรัมข้าวอบ รองลงมา คือ ระยะข้าวเม่า และ ระยะนํ้านม ในปริมาณ 1.96 และ 1.70 มิลลิกรัม/กรัมข้าวอบตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีการสะสมสารลิแกนชนิดซีโคไอโซลาริซิเรซินอล

ตารางที่ 2 ปริมาณสารซีโคไอโซลาริซิเรซินอลในสารสกัดจากข้าวไรซ์เบอร์รี่

สารสกัดจากตัวอย่างข้าว	ซีโคไอโซลาริซิเรซินอล (มิลลิกรัม/กรัมข้าวอบ)
นํ้านม	1.70 ± 0.20^a
ข้าวเม่า	1.96 ± 0.25^a
ข้าวสาร	3.14 ± 0.19^b

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

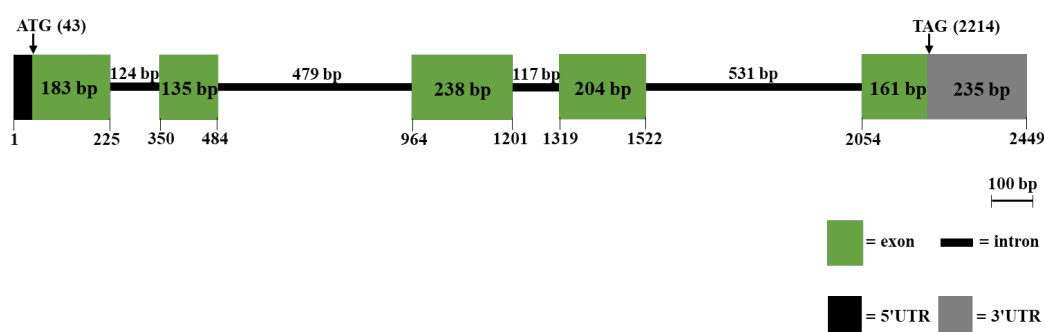
การโคลนยีน *PLR Homolog*

จากการค้นหายีนที่กำหนดเอนไซม์ *PLR Homolog* จากจีโนมข้าวในฐานข้อมูล โดยใช้ข้อมูลลำดับกรดอะมิโนจากโปรตีน LuPLR1 ของแฟลกซ์หมายเลข PODK8 โดยใช้วิธี Blast Genome โดยเลือกฐานข้อมูลจีโนมข้าวอินดิกา (*Indica*) พบว่า ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์หมายเลข GenBank CP012610.1:29347550-29350002 *Oryza sativa Indica Group Cultivar RP Bio-226* เป็นลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนที่กำหนดรหัสเอนไซม์ *PLR* จากนั้นจึงนำข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์นี้มาออกแบบไพรเมอร์เพื่อเพิ่มปริมาณยีน *PLR Homolog* ที่สมบูรณ์ด้วยเทคนิค PCR ไพรเมอร์ที่ได้ คือ OsPLR_F (5'-CTATCCGAACGCTCTAGATCTTA TC-3') และ OsPLR_R (5'-AACCAAAAAAGATCATATTATTGAATGAGA-3') พบว่าขั้นดีเอ็นเอที่เพิ่มปริมาณได้มีขนาด 2,449 คู่เบส และเมื่อนำลำดับนิวคลีโอไทด์เปรียบเทียบกับยีนในฐานข้อมูลสากล GenBank ด้วยโปรแกรม BlastN โดยเลือกเงื่อนไข Highly Similar Sequences (Megablast) พบว่าขั้นดีเอ็นเอที่โคลนได้นี้มีความเหมือนกับยีนที่กำหนดรหัสเอนไซม์ *Pinoresinol-lariciresinol Reductases 3* ในข้าวจาโปนิกา (LOC4330458) 99 เปอร์เซ็นต์ ข้าวบาเซนทรา (LOC102704125) 94 เปอร์เซ็นต์ หญ้า *Aegilops tauschii* subsp. *tauschii* (LOC109760684) 86 เปอร์เซ็นต์ และ ข้าวฟ่าง (LOC8073160) 86 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงพืชชนิดอื่น ซึ่งชี้ให้เห็นว่ายีนที่โคลนได้เป็นยีน *PLR Homolog* ที่กำหนดรหัสเอนไซม์ *PLR* ในวิธีการสังเคราะห์สารลิแกนในข้าว ตั้งชื่อยีนที่โคลนได้ว่า *OsPLR3*

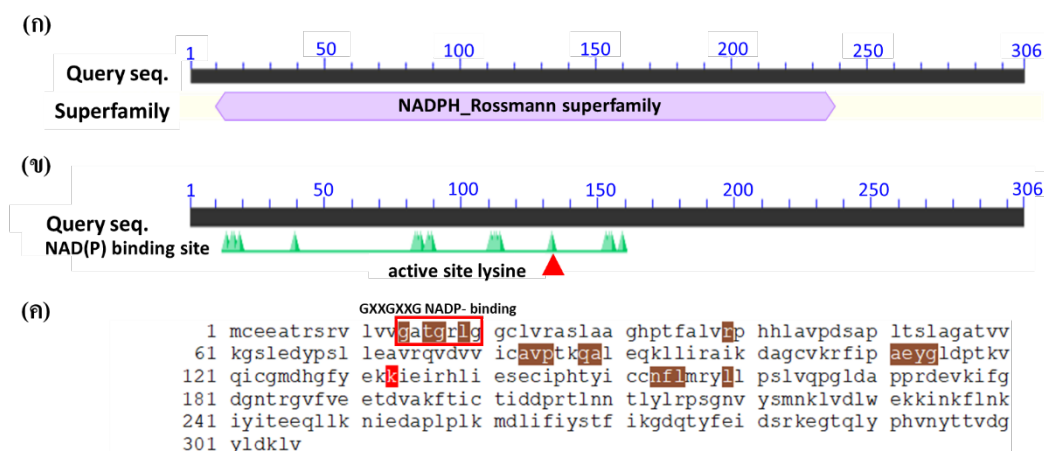
ลักษณะเชิงโมเลกุลของยีน *OsPLR3*

เมื่อนำยีน *OsPLR3* ที่โคลนได้จากจีโนมข้าวไรซ์เบอร์รี่ วิเคราะห์โครงสร้างเชิงโมเลกุล พบว่า มีขนาด 2,449 คู่เบส ประกอบด้วยเอกซอน 5 เอกซอน โดยแต่ละเอกซอนมีขนาด 225, 135, 238, 204 และ 396 คู่เบส ตามลำดับ และ 4 อินทอน ที่มีขนาด 124, 479, 117 และ 531 คู่เบสตามลำดับ (ภาพที่ 1) ถอดรหัสได้เป็นสาย mRNA ที่มีขนาด 1,198 นิวคลีโอไทด์ ที่ประกอบด้วยบริเวณ 5'UTR และ 3'UTR ขนาด 42 และ 235 นิวคลีโอไทด์ตามลำดับ เป็นบริเวณที่กำหนดรหัสกรด

อะมิโน (Open Reading Frame ; ORF) 921 นิวคลีโอไทด์ แพลรหัสได้สายโพลีเปปไทด์ที่ประกอบด้วย 306 กรดอะมิโน (ภาพที่ 2 ค) และเมื่อนำลำดับกรดอะมิโนที่ได้มาวิเคราะห์โดเมนภายในสายโพลีเปปไทด์ด้วยโปรแกรม Conserved Domain พบว่า ตำแหน่งกรดอะมิโน 10-238 เป็น Rossmann-fold NAD(P)(+)-binding Proteins ซึ่งเป็นโดเมนสำคัญในปฏิกิริยา ดีไฮโดรจีเนชันของเอนไซม์ PLR (ภาพที่ 2 ก) โดยกรดอะมิโนตำแหน่งที่ 14, 16, 17, 19, 39, 83, 84, 85, 88, 89, 111, 112, 113, 114, 133, 153, 154, 155 และ 160 เป็นตำแหน่ง NAD(P) Binding Site (ภาพที่ 2 ข) โดยตำแหน่งที่ 133 (K) เป็นตำแหน่งเร่งปฏิกิริยา (Active Site) และพบโมทีฟอนุรักษ์ GXXGXXG NADP-binding ทางด้านปลายเอ็น (N-terminal) (ภาพที่ 2 ค) ที่บ่งชี้การทำงานที่จำเพาะของเอนไซม์ PLR [23] จึงเป็นการยืนยันว่ายีน *OsPLR3* กำหนดเอนไซม์ PLR Homolog ในวิธีการสังเคราะห์สารลิแกนเช่นเดียวกับเอนไซม์ PLR ในแฟล็กซ์ และพืชชนิดอื่น [24]



ภาพที่ 1 โครงสร้างเชิงโมเลกุลยีน *OsPLR3* ของข้าวไรซ์เบอร์รี่

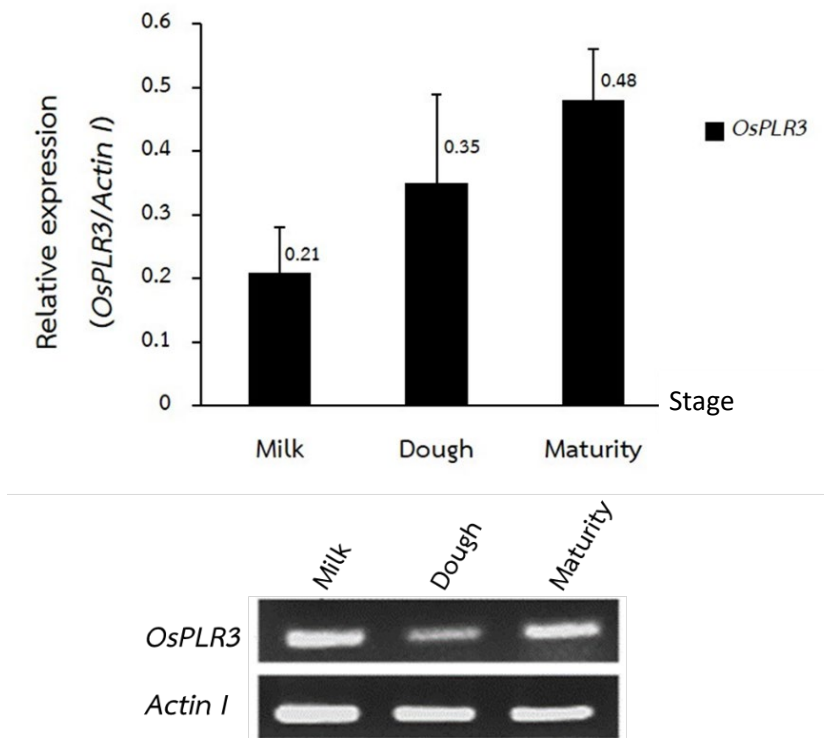


ภาพที่ 2 โดเมนอนุรักษ์ Rossmann-fold NAD(P)(+)-binding Proteins ในตำแหน่งกรดอะมิโนที่ 10-238 (ก) และตำแหน่ง NAD(P) ในตำแหน่งกรดอะมิโนที่ 14, 16, 17, 19, 39, 83, 84, 85, 88, 89, 111, 112, 113, 114, 133, 153, 154, 155 และ 160 (ข) โดยตำแหน่งกรดอะมิโนที่ 133 เป็น Lysine (K) Active Site และตำแหน่งที่ 14 ถึง 20 พบโมทีฟอนุรักษ์ GXXGXXG NADP-binding ทางด้านปลายเอ็น (ค) ของสายโพลีเปปไทด์ *OsPLR3* ในข้าวไรซ์เบอร์รี่

การตรวจสอบการแสดงออกของยีน *OsPLR3* ในข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยเทคนิค Quantitative RT-PCR

จากการตรวจสอบแสดงออกของยีน *OsPLR3* ในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะน้ำนม ระยะข้าวเმა และ ระยะข้าวสารในระดับการถอดรหัส (Transcription) ด้วยเทคนิค Quantitative RT-PCR แบบเปรียบเทียบ (Relative Expression) โดยใช้การแสดงออกของยีน *Actin 1* เป็นยีนอ้างอิง พบการแสดงออกในเมล็ดข้าวทุกระยะ โดยมีการแสดงออกต่ำสุดในระยะน้ำนม

(0.21) แล้วเพิ่มขึ้นในระยะข้าวเม่า (0.35) และมีการแสดงออกสูงสุดในระยะข้าวสาร (0.48) (ภาพที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับการแสดงออกของยีนแปรผันตรงกับการพัฒนาของเมล็ดข้าว



ภาพที่ 3 ระดับการแสดงออกของยีน *OsPLR3* ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ 3 ระยะ ได้แก่ ระยะน้ำนม (Milk) ระยะข้าวเม่า (Dough) และระยะข้าวสาร (Maturity) ที่ตรวจสอบด้วยเทคนิค Quantitative RT-PCR และยืนยันผลด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส ในเจลอะกาโรส ความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นต์

การอภิปรายผล (Discussion)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวสีที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยคุณประโยชน์ที่เด่นชัดที่สุดจะพบได้ในส่วนรำข้าวซึ่งเป็นเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงเข้ม มีปริมาณการสะสมแอนโทไซยานินในระดับความเข้มข้น 15.7 มิลลิกรัม/100 กรัม รวมทั้งสารออกฤทธิ์ชีวภาพอีกหลายชนิดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงและป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable Diseases หรือ NCD) เช่น แกมมาโอไรซานอล ที่ช่วยลดระดับคอเรสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในหลอดเลือด ทำให้เลือดหมุนเวียนไปเลี้ยงอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายได้อย่างเป็นปกติ ลดอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจ เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และสมองเสื่อม หรือ วิตามินอี ที่ช่วยชะลอความแก่ บำรุงผิวพรรณ ลดอัตราเสี่ยงของโรคที่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดสมองและหัวใจ ทำให้ปอดทำงานดีขึ้น [25] และเป็นข้าวที่มีดัชนีน้ำตาล (GI เท่ากับ 62) ต่ำกว่าข้าวทั่วไป (GI เท่ากับ 73) [13] จึงเป็นเป็นธัญโอสที่ที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นโภชนาบำบัดสำหรับสตรีวัยทองซึ่งเป็นกลุ่มเสี่ยงต่อโรคเบาหวานและโรคที่เกิดจากความเสื่อมถอยของวัย ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้ได้ค้นหาสารออกฤทธิ์ชีวภาพหลักที่มีสรรพคุณเป็นได้ทั้งฮอร์โมนทดแทน (ไฟโตเอสโตรเจน) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านเบาหวาน ในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะน้ำนม ข้าวเม่า และข้าวสาร ซึ่งเป็นระยะที่นิยมบริโภค จึงเหมาะที่จะนำมาพัฒนาเป็นอาหารสุขภาพ (Functional Food) จากผลการทดลอง พบสารลิแกแนนชนิดซีโคโอโซลาริซิเรซินอลในเมล็ดข้าวทั้งสามระยะ โดยพบปริมาณต่ำสุดในระยะน้ำนม แล้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะข้าวเม่าและสูงสุดในระยะข้าวสาร (ภาพที่ 1) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการสังเคราะห์และสะสมสารลิแกแนนมีความสัมพันธ์กับระยะการพัฒนาของเมล็ดข้าว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hano et al. (2006) [11] ที่พบว่าในเมล็ดอ่อนของแฟลกซ์มีลิแกแนนชนิดซีโคโอโซลาริซิเรซินอลต่ำสุด คือ ปริมาณ 5.0 ± 0.3 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง แล้วเพิ่มขึ้นตามระยะการพัฒนาของเมล็ดจนสูงสุด ในเมล็ด

ระยะเก็บเกี่ยว คือ 14 ± 1.3 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง แสดงให้เห็นว่าเมล็ดข้าวระยะข้าวสารเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งลิแกเนนทางเลือก

จากการโคลนวิเคราะห์คุณลักษณะเชิงโมเลกุลของยีน *PLR Homolog* ที่กำหนดรหัสเอนไซม์ PLR ในวิธีการสังเคราะห์ซีโคโอโซลาริซิเรซินอลในข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า ยีนที่โคลนได้กำหนดเอนไซม์ *Pinoresinol-lariciresinol Reductase 3* มีโครงสร้างเชิงโมเลกุลที่ประกอบด้วย 5 เอกซอน 4 อินทรอน กำหนดสายโพลีเปปไทด์ขนาด 306 กรดอะมิโน โดยมีส่วนโดเมนอนุรักษ NAD(P) Binding Site (GXXGXXG NADP-binding) และตำแหน่งเร่งปฏิกิริยา (Lysine (K) Active Site) เช่นเดียวกับเอนไซม์ PLR ที่พบในพืชชนิดอื่น เช่น *LuPLR1* และ *LuPLR2* ในแฟลกซ์ [26-27] *TcPLR1* และ *TcPLR2* ใน *Taiwania cryptomerioides* [28] และ *TpPLR1*, *TpPLR2*, *TpPLR3* และ *TpPLR4* ใน *Thuja Plicata* [29] แสดงให้เห็นว่ายีนที่โคลนได้กำหนดเอนไซม์ PLR Homolog ในวิธีการสังเคราะห์ลิแกเนนเช่นเดียวกับพืชชนิดอื่น แต่อย่างไรก็ดี เอนไซม์ PLR ที่พบในพืชมีหลายไอโซฟอร์ม โดยแต่ละไอโซฟอร์มมีความจำเพาะต่ออีแนนทิโอเมอร์ (Enantiomer) ของสารตั้งต้น และมีการแสดงออกที่จำเพาะต่อน้ำเลี้ยงต่างกัน เช่น ในแฟลกซ์ พบว่า *LuPLR1* แสดงออกในเนื้อเยื่อเมล็ด ส่วน *LuPLR2* แสดงออกในเนื้อเยื่อลำต้นและใบ [11, 27] เป็นต้น เมื่อตรวจสอบการแสดงออกของยีน *OsPLR3* ในระดับถอดรหัส (Transcription) พบการแสดงออกในเมล็ดข้าวทั้งสามระยะ โดยมีการแสดงออกต่ำสุดในระยะน้ำนมแล้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะข้าวเม่าจนสูงสุดในระยะข้าวสาร และแปรผันตรงกับปริมาณการสะสมสารซีโคโอโซลาริซิเรซินอล แสดงให้เห็นว่ายีน *OsPLR3* มีส่วนเกี่ยวข้องในการควบคุมการสังเคราะห์สารลิแกเนนชนิดซีโคโอโซลาริซิเรซินอลในเมล็ด และมีการแสดงออกเพิ่มขึ้นตามระยะการพัฒนาของเมล็ดเช่นเดียวกับรูปแบบการแสดงออกของยีน *LuPLR1* ในเมล็ดแฟลกซ์ [11] จึงอนุมานได้ว่าเอนไซม์ *OsPLR3* เป็นไอโซฟอร์มที่ทำงานเทียบเคียงกับ *LuPLR1* แต่อย่างไรก็ตาม ควรขยายผลการศึกษาโดยตรวจสอบหน้าที่การทำงานของเอนไซม์ *OsPLR3* ในการเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารลิแกเนน ตลอดจนศึกษากลไกการควบคุมการแสดงออกของยีนในข้าวเพื่อนำไปสู่การพัฒนาพันธุ์ข้าวเป็นแหล่งลิแกเนนทางเลือก

การค้นพบสารลิแกเนนในข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นการเพิ่มข้อมูลในเชิงโภชนาการให้กับข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถนำข้าวไรซ์เบอร์รี่ไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสุขภาพสำหรับสตรีวัยทอง ป้องกันโรคเบาหวาน รวมทั้งโรคที่เกิดจากความเสื่อมถอยของวัย ซึ่งปริมาณสารลิแกเนนที่พบในข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะข้าวสาร (3.14 ± 0.19 มิลลิกรัม/กรัม) มีปริมาณเพียงพอที่จะใช้เป็นแหล่งลิแกเนนป้องกันโรค โดยบริโภคข้าวประมาณ 114.65 กรัมต่อวัน ทำให้ได้รับสารลิแกเนนประมาณ 360 มิลลิกรัมต่อวัน มีปริมาณเพียงพอสามารถใช้ป้องกันกลุ่มอาการวัยทอง [9] และรักษาระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานได้ [3] ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปขยายผลการศึกษาในข้าวพันธุ์อื่น หรือ พืชชนิดอื่นต่อไปได้

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารออกฤทธิ์ชีวภาพลิแกเนนชนิดซีโคโอโซลาริซิเรซินอล โดยมีการสะสมสูงสุดในระยะข้าวสาร และยีน *OsPLR 3 Homolog* ที่กำหนดเอนไซม์ *Pinoresinol-lariciresinol Reductase 3* ในวิธีการสังเคราะห์ซีโคโอโซลาริซิเรซินอล มีคุณลักษณะเชิงโมเลกุล คือ มีขนาด 2,449 คู่เบส ประกอบด้วย 5 เอกซอนและ 4 อินทรอน ถอดรหัสได้สาย mRNA 1,198 นิวคลีโอไทด์ เป็นบริเวณที่กำหนดรหัสกรดอะมิโน (ORF) 921 นิวคลีโอไทด์ ได้สายโพลีเปปไทด์ที่ประกอบ 306 กรดอะมิโน มีโดเมน และโมติฟอนุรักษที่บ่งชี้การทำงานของเอนไซม์ *Pinoresinol-lariciresinol Reductase* ยีนนี้มีการแสดงออกขึ้นอยู่กับระยะการพัฒนาของเมล็ด โดยมีการแสดงออกต่ำสุดในระยะน้ำนมและสูงสุดในระยะข้าวสารส่งผลให้สารลิแกเนนชนิดซีโคโอโซลาริซิเรซินอลมีปริมาณมากที่สุดในระยะข้าวสาร เป็นงานวิจัยฉบับแรกที่ศึกษาชนิด และปริมาณสารลิแกเนนในข้าวไทย ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์บ่งชี้โภชนาการของข้าวไรซ์เบอร์รี่ และควรขยายผลศึกษาชนิดและปริมาณสารลิแกเนนในข้าวไทยพันธุ์อื่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร. วันเพ็ญ เหล่าศรีไพบุลย์ โครงการจัดตั้งภาควิชาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้คำปรึกษาและให้ความอนุเคราะห์การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารลิแกนในข้าว ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Kitts, D. D., Yuan, Y. V., Wijewickreme, A. N., & Thompson, L. U. (1999). Antioxidant activity of the flaxseed lignan secoisolariciresinol diglycoside and its mammalian lignan metabolites enterodiol and enterolactone. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 202(1-2), 91-100. <https://doi.org/10.1023/a:1007022329660>
- [2] Prasad, K. (2002). Suppression of phosphoenolpyruvate carboxykinase gene expression by secoisolariciresinol diglucoside (SDG), a new antidiabetic agent. *International Journal of Angiology*, 11, 107-109. <https://doi.org/10.1007/BF01616377>
- [3] Pan, A., Sun, J., Chen, Y., Ye, X., Li, H., Yu, Z., Wang, Y., Gu, W., Zhang, X., Chen, X., Demark-Wahnefried, W., Liu, Y., & Lin, X. (2007). Effects of a flaxseed-derived lignan supplement in type 2 diabetic patients: a randomized, double-blind, cross-over trial. *PLOS ONE*, 2(11), e1148. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001148>
- [4] Prasad, K., & Dhar, A. (2016). Flaxseed and Diabetes. *Current Pharmaceutical Design*, 22(2), 141-144. <http://dx.doi.org/10.2174/1381612822666151112151230>
- [5] Prasad, K. (2000). Oxidative stress as a mechanism of diabetes in diabetic BB prone rats: Effect of secoisolariciresinol diglucoside (SDG). *Molecular and Cellular Biochemistry*, 209, 89-96. <https://doi.org/10.1023/a:1007079802459>
- [6] Prasad, K., Mantha, S., Muir, A., & Westcott, N. (2000). Protective effect of secoisolariciresinol diglucoside against streptozotocin-induced diabetes and its mechanism. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 206, 141-150. <https://doi.org/10.1023/a:1007018030524>
- [7] Sun, Q., Wedick, N. M., Pan, A., Townsend, M. K., Cassidy, A., Franke, A. A., Rimm, E. B., Hu, F. B., & van Dam, R. M. (2014). Gut microbiota metabolites of dietary lignans and risk of type 2 diabetes: A prospective investigation in two cohorts of U.S. women. *Diabetes Care*, 37(5), 1287-1295. <https://doi.org/10.2337/dc13-2513>
- [8] Cornwell, T., Cohick, W., & Raskin, I. (2004). Dietary phytoestrogens and health. *Phytochemistry*, 65(8), 995-1016. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.03.005>
- [9] Simbalista, R. L., Sauerbronn, A. V., Aldrichi, J. M., & Arêas, J. A. G. (2010). Consumption of a flaxseed-rich food is not more effective than a placebo in alleviating the climacteric symptoms of postmenopausal women 1, 2. *The Journal of Nutrition*, 140(2), 293-297. <https://doi.org/10.3945/jn.109.113886>
- [10] Saleem, M., Kim, H. J., Ali, M. S., & Lee, Y. S. (2005). An Update on Bioactive Plant Lignans. *Natural Product Reports*, 22, 696-716. <https://doi.org/10.1039/b514045p>

- [11] Hano, C., Martin, I., Fliniaux, O., Legrand, B., Gutierrez, L., Arroo, R. R. J., Mesnard, F., Lamblin, F., & Lainé, E. (2006). Pinoresinol-lariciresinol reductase gene expression and secoisolariciresinol diglucoside accumulation in developing flax (*Linum usitatissimum*) seeds. *Planta*, 224, 1291-1301. <https://doi.org/10.1007/s00425-006-0308-y>
- [12] Min, B., Gu, L., McClung, A. M., Bergman, C. J., & Chen, M.-H. (2012). Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colours. *Food Chemistry*, 133(3), 715-722. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.079>
- [13] Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S., & Wanavijitr, A. (2011). Chemopreventive properties of the bran extracted from a newly-developed Thai rice: The Riceberry. *Food Chemistry*, 125(3), 978-985. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.093>
- [14] Hutabarat, L. S., Greenfield, H., & Mulholland, M. (2000). Quantitative determination of isoflavones and coumestrol in soybean by column liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 886(1-2), 55-63. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00444-1)
- [15] Kuhnle, G. G. C., Dell'Aquila, C., Low, Y. L., Kussmaul, M., & Bingham, S. A. (2007). Extraction and quantification of phytoestrogens in foods using automated solid-phase extraction and LC/MS/MS. *Analytical Chemistry*, 79(23), 9234-9239. <https://doi.org/10.1021/ac701732r>
- [16] Saghai-Maroo, M. A., Soliman, K. M., Jorgensen, R. A., & Allard, R. W. (1984). Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 81(24), 8014-8018. <https://doi.org/10.1073/pnas.81.24.8014>
- [17] Sambrook, J., Fritsch, E. F., & Maniatis, T. (1989). *Molecular Cloning: A Laboratory Manual* (2nd ed.). Spring Harbor Laboratory Press.
- [18] Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403-410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
- [19] Kapustin, Y., Souvorov, A., Tatusova, T., & Lipman, D. (2008). Splign: algorithms for computing spliced alignments with identification of paralogs. *Biology Direct*, 3, 20. <https://doi.org/10.1186/1745-6150-3-20>
- [20] Gasteiger, E., Hoogland, C., Gattiker, A., Duvaud, S., Wilkins, M. R., Appel, R. D. & Bairoch, A. (2005). Protein identification and analysis tools on the ExPASy server. In J.M. Walker (ed.). *The Proteomics Protocols Handbook* (pp. 571-607). Humana Press. <https://doi.org/10.1385/1-59259-890-0:571>
- [21] Lu, S., Wang, J., Chitsaz, F., Derbyshire, M. K., Geer, R. C., Gonzales, N. R., Gwadz, M., Hurwitz, D. I., Marchler, G. H., Song, J. S., Thanki, N., Yamashita, R. A., Yang, M., Zhang, D., Zheng, C., Lanczycki, C. J., & Marchler-Bauer, A. (2020). CDD/SPARCLE: the conserved domain database in 2020. *Nucleic Acids Research*, 48(D1), D265-D268. <https://doi.org/10.1093/nar/gkz991>
- [22] Czechowski, T., Stitt, M., Altmann, T., Udvardi, M. K., & Scheible, W. R. (2005). Genome-wide identification and testing of superior reference genes for transcript normalization in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 139(1), 5-17. <https://doi.org/10.1104/pp.105.063743>

- [23] Min, T., Kasahara, H., Bedgar, D. L., Youn, B., Lawrence, P. K., Gang, D. R., Halls, S. C., Park, H., Hilsenbeck, J. L., Davin, L. B., Lewis, N. G., & Kang, C. (2003). Crystal structures of pinoresinol-lariciresinol and phenylcoumaran benzylic ether reductases and their relationship to isoflavone reductases. *Journal of Biological Chemistry*, 278(50), 50714–50723. <https://doi.org/10.1074/jbc.M308493200>
- [24] Markulin, L., Corbin, C., Renouard, S., Drouet, S., Gutierrez, L., Mateljak, I., Auguin, D., Hano, C., Fuss, E., & Lainé, E. (2019). Pinoresinol-lariciresinol reductases, key to the lignan synthesis in plants. *Planta*, 249(6), 1695–1714. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03137-y>
- [25] Saad, N., Ismail, N., Mastuki, S. N., Leong, S. W., Chia, S. L., & Abdullah, C. A. C. (2022). Chapter 16 - Rice bran oil main bioactive compounds and biological activities. In A. A. Mariod (ed.), *Multiple Biological Activities of Unconventional Seed Oils*. (pp. 195-213). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824135-6.00017-9>
- [26] von Heimendahl, C. B. I., Schäfer, K. M., Eklund, P., Sjöholm, R., Schmidt, T. J., & Fuss, E. (2005). Pinoresinol -lariciresinol reductases with different stereospecificity from *Linum album* and *Linum usitatissimum*. *Phytochemistry*, 66(11), 1254–1263. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.04.026>
- [27] Hemmati, S., von Heimendahl, C. B. I., Klaes, M., Alfermann, A. W., Schmidt, T. J., & Fuss, E. (2010). Pinoresinol - lariciresinol reductases with opposite enantiospecificity determine the enantiomeric composition of lignans in the different organs of *Linum usitatissimum* L. *Planta Medica*, 76(9), 928–934. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1250036>
- [28] Chiang, N.-T., Ma, L.-T., Lee, Y.-R., Tsao, N.-W., Yang, C. -K., Wang, S.-Y., & Chu, F.-H. (2018). The gene expression and enzymatic activity of pinoresinol-lariciresinol reductase during wood formation in *Taiwania cryptomerioides* Hayata. *Holzforschung*, 73(2), 197–208. <https://doi.org/10.1515/hf-2018-0026>
- [29] Fujita, M., Gang, D. R., Davin, L. B., & Lewis, N. G. (1999). Recombinant pinoresinol - lariciresinol reductases from western red cedar (*Thuja plicata*) catalyze opposite enantiospecific conversions. *Journal of Biological Chemistry*, 274(2), 618–627. <https://doi.org/10.1074/jbc.274.2.618>

ศักยภาพการผลิตชีวภาพมีเทนจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนโดย
กระบวนการย่อยสลายร่วมแบบไร้อากาศกับกากน้ำตาล
Potential of Biomethane Production from Distillery Wastewater of
Community Refined Liquors Plant by Anaerobic Co-digestion Process
with Molasses

ทัศนีย์ ศรีมาชัย^{1,3} และ เกียรติศักดิ์ รัตนดิลก ณ ภูเก็ต^{2,3*}

Tussanee Srimachai^{1,3} and Kiattisak Rattanadilok na Phuket^{2,3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนด้วยกระบวนการหมักร่วมแบบไร้อากาศกับกากน้ำตาลภายใต้อุณหภูมิ 35 °C ซึ่งอัตราส่วนของการหมักร่วมระหว่างน้ำกากส่า : กากน้ำตาล คือ 99 : 1 98 : 2 97 : 3 96 : 4 และ 95 : 5 ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้ผลได้มีเทนและผลิตมีเทนสูงสุด คือ อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 (2.92 g COD) มีค่าเท่ากับ 334 ml CH₄/g COD หรือ 17 m³ CH₄/m³ Wastewater ตามลำดับ ก๊าซชีวภาพมีความเข้มข้นของมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 55-70 และมีความเข้มข้นมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 62.5 การวิเคราะห์การเสริมกันของการหมักร่วมน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับกากน้ำตาลพบให้ผลได้มีเทนสูงสุดที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 มีผลได้มีเทนเพิ่มขึ้น 69 ml CH₄/g COD ในกระบวนการหมักร่วมสามารถปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของน้ำกากส่าให้สูงขึ้นจาก 14.39 เป็น 25.09 ด้วยการหมักร่วมน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 ส่งผลให้ศักยภาพการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การผลิตก๊าซชีวภาพ การย่อยสลายแบบไร้อากาศ น้ำกากส่า กากน้ำตาล

Abstract

The objective of this research was to determine the methane production potential of distillery wastewater (DW) by anaerobic co-digestion with molasses (ML) under mesophilic conditions (35°C), in which

¹ดร., สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรเพื่อความยั่งยืน วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ. เมือง จ. สงขลา 90000

²ผศ. ดร., สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรเพื่อความยั่งยืน วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ. เมือง จ. สงขลา 90000

³ศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดนวัตกรรมชุมชน “ทุ่งใหญ่สารภีโมเดล” มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา วิทยาเขตสตูล อ.ละงู จ.สตูล 90110

¹Dr., Program in Agricultural Innovation for Sustainability, College of Innovation and Management, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla, 90000, Thailand

²Assoc. Prof. Dr., Program in Agricultural Innovation for Sustainability, College of Innovation and Management, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla, 90000, Thailand

³Community Innovation Learning and Transfer Center “Thung Yai Sarapee Model” Songkhla Rajabhat University, Satun campus, La-Ngu, Satun, 91100, Thailand

*Corresponding author Tel: 083-6554305 E-mail address: panpong1@hotmail.com

(Received: July 7, 2023; Revised: August 29, 2023; Accepted: September 5, 2023)

the ratio of DW and ML for the study was 99: 1, 98: 2, 97: 3, 96: 4 and 95: 5. The results showed that the optimal ratio of the anaerobic co-digestion of DW with ML was 99: 1 (2.92 g COD) with methane yield and methane production of 343 ml CH₄/g COD and 17 m³ CH₄/m³ wastewater, respectively. The biogas contained the density of methane with the range between 55-70% and the density average was at 62.5%. The synergy of methane potential analysis of co-digestion DW with ML revealed a high methane yield at the ratio of 99: 1 with methane yield increasing of 69 ml CH₄/g COD. Co-digestion with ML (99: 1) increased the ratio of carbon to nitrogen of DW from 14.39 to 25.09 which resulted in the methane production potential being enhanced.

Keywords: Biogas Production, Anaerobic Co-digestion, Distillery Wastewater, Molasses

บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมการผลิตสุราชุมชนและเอทิลแอลกอฮอล์ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปี 2559 มีโรงงานผลิตสุรากลั่นชุมชนที่ได้รับใบอนุญาตกว่า 2,600 [1] การผลิตเอทิลแอลกอฮอล์จากวัตถุดิบทางการเกษตรของประเทศไทย เช่น กากน้ำตาลน้ำอ้อย ข้าวเหนียว น้ำตาลมะพร้าว และน้ำตาลโตนด ซึ่งในกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ของโรงงานสุรากลั่นชุมชนจะมีน้ำเสียเกิดขึ้นเรียกว่า น้ำกากสำ (Spent Wash or Distillery Wastewater) มีน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน และมีความสกปรกในรูปซีไอดีสูงถึง 50-104 g/L [2] ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ รวมทั้ง ยีสต์ แอมโมเนีย ฟอสเฟต และน้ำตาลที่คงเหลืออยู่ ไม่สามารถปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำได้โดยตรง ต้องมีการบำบัดหรือการนำน้ำกากสำไปใช้ประโยชน์ ถ้าสามารถนำเอาน้ำกากสำดังกล่าวมาผลิตก๊าซชีวภาพได้จะทำให้โรงงานสุรากลั่นชุมชนสามารถลดค่าใช้จ่ายเรื่องต้นทุนพลังงานได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจุบันโรงงานใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงหลัก [3] ซึ่งการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 60-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 28-38 และก๊าซอื่นๆ ซึ่งรวมเรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ได้ใช้ให้ความร้อนในกระบวนการกลั่นเป็นการลดต้นทุนในการผลิต

โรงงานสุรากลั่นชุมชนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพพร้อมกับสามารถบำบัดน้ำเสียไปพร้อมๆ กันจะส่งผลให้โรงงานมีศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดได้มากขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการของน้ำกากสำ เช่น มีปริมาณไนโตรเจนสูงและมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ ทำให้น้ำกากสำมีผลผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียง 8-10 L CH₄/L Wastewater [2] เนื่องจากโปรตีนที่สูงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและส่งผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในกลุ่มผลิตมีเทน ซึ่งมีปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียประเภทอื่นๆ เช่น น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพ 10-15 L CH₄/L Wastewater [4] และผลผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานปาล์มน้ำมันสูงถึง 20-25 L CH₄/L Wastewater [5] เป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวสามารถสรุปได้จากรายงานของ Wasterholm et al. [6] ดังนี้คืออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (< 15) เนื่องจากมีปริมาณของโปรตีนสูงซึ่งมีแนวโน้มจะถูกย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็วและเป็นจำนวนมากในสภาวะไร้อากาศ มีปริมาณของซัลเฟตสูง ส่งผลให้ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศเกิดการผลิตมีเทนลดลงแต่จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้น ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทน มี Buffer Capacity และปริมาณของ Trace Elements ต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงด้วย ซึ่งความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนียในระบบหมักเท่ากับ 240 และ 52 mg/L ตามลำดับ [7] ทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การใช้กลยุทธ์การหมักร่วม (Co-digestion Strategies) เนื่องจากข้อดีของหมักร่วมคือ ปรับสมดุลปริมาณสารอาหารในระบบทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงขึ้น ช่วยเจือจางสารพิษที่มีผลต่อจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทนในน้ำทิ้ง ส่งผลให้ได้มีเทน (Methane Yield) สูงขึ้น [8,9] มีงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาการใช้วัสดุหมักมากกว่าหนึ่งชนิดในการ

ผลิตก๊าซชีวภาพ O-Thong et al. [10] กล่าวว่า ตัวย่อยร่วม มีความสำคัญในการช่วยเพิ่มการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่ตัวย่อยร่วมจะเป็นมูลสัตว์และวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร เพราะเป็นการเพิ่มแหล่งสารอาหารให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังอาจเป็นแหล่งช่วยเพิ่มจุลินทรีย์

การใช้วัสดุเศษเหลือที่เป็นแหล่งของสารอินทรีย์เพื่อเป็นตัวย่อยร่วมกับน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และช่วยเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้การหมักแบบใช้ตัวย่อยร่วมมักใช้วัสดุหรือของเสียจากกระบวนการผลิตต่างๆ ที่มีปริมาณสารอินทรีย์และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง เช่น กากน้ำตาล การศึกษาการใช้กากน้ำตาลเป็นสารหมักร่วมกับตะกอนน้ำเสีย พบว่า ในอัตราส่วน 7 : 3 ให้ผลได้มีเทน 270 ml CH₄/g COD ซึ่งความเข้มข้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 74.4 เป็น 82.8 [11]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าโดยการหมักร่วมระหว่างกากน้ำตาล โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบการทดลอง ซึ่งการศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนด้วยระบบแบบกะได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำกากส่าต่อกากน้ำตาล ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาศักยภาพการผลิตมีเทนด้วยระบบแบบกะจะนำไปสู่การศึกษาศักยภาพในการผลิตมีเทนแบบต่อเนื่องต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

1. วัสดุ

1.1 ตัวอย่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน (Distillery Wastewater of Community Refined Liquors) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากวิสาหกิจชุมชนปาริฉัตต์สุราทิพย์ ตำบลควนกาหลง อำเภอกวนกาหลง จังหวัดสตูล ซึ่งให้น้ำตาลโตนดเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง มีน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณเดือนละ 30 m³ กากน้ำตาล (Molasses) ได้จัดซื้อจากร้านสมศรีการเกษตร ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

1.2 กล้าเชื้อจุลินทรีย์ผสมสำหรับการผลิตมีเทนที่อุณหภูมิ 35°C ซึ่งเป็นตะกอนจุลินทรีย์จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท สหอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ตำบลห้วยยูง อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ และห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยการจัดการทรัพยากรจุลินทรีย์มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

2. การเตรียมกล้าเชื้อ

นำกล้าเชื้อจุลินทรีย์ผสมสำหรับการผลิตมีเทนที่อุณหภูมิ 35°C จากโรงงานปาล์มน้ำมัน มาปรับสภาพด้วยการเติมน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน เพื่อเป็นแหล่งอาหารสำหรับกล้าเชื้อ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนต่อกล้าเชื้อเท่ากับ 2 : 8 จากนั้นทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง 7-7.5 โดยการเติม NaHCO₃ ที่ความเข้มข้น 5 g/L และให้ได้ค่าความเป็นด่าง 5 g/kg CaCO₃ กวนผสมให้เข้ากันดี จากนั้นนำมาบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยในระหว่างการหมักทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นด้วย Gas Counter และทำการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง Gas Chromatography [10] เมื่อกล้าเชื้อหยุดผลิตก๊าซชีวภาพและมีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ไม่ต่ำกว่า 40 g/L จึงสามารถนำมาใช้ในการทดสอบศักยภาพการผลิตมีเทนจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนและสารหมักร่วม

3. การศึกษาองค์ประกอบของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน กากน้ำตาล และกล้าเชื้อ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในส่วนของเสียกลีเซอรอลเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างแต่ละชนิด โดยองค์ประกอบทางเคมีที่ทำการศึกษาคือ pH, COD, Volatile Fatty Acid (VFA), Alkalinity, Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP), Total Solid (TS), Protein, Carbohydrate และ Lipids ใช้วิธี Standard Method [12]

4. การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับกากน้ำตาลโดยใช้กลยุทธิ์การหมักร่วมในการผลิตมีเทน

การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนกับสารหมักร่วมต่อศักยภาพในการผลิตมีเทน ทำการทดลองในขวดน้ำเกลือนขนาด 500 ml ในปริมาตรใช้งาน 200 ml โดยผสมน้ำกากส่ากับสารหมักร่วม ดังนี้ คือ ใช้กากน้ำตาล ร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 (v/v) ผสมกับน้ำกากส่า โดยให้มีปริมาณของแข็งระเหยได้เริ่มต้นร้อยละ 2 จากนั้นทำการปรับค่าพีเอชเริ่มต้นด้วย NaHCO_3 ให้อยู่ในช่วง 7-7.5 และเติมกากน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 80 (มีความเข้มข้นของ VSS 15 กรัมต่อลิตร) ของปริมาตรทดลอง ที่อัตราส่วนน้ำเสียต่อกากน้ำตาลร้อยละ 20 : 80 ผสมให้เข้ากันดี จากนั้นพ่นด้วยแก๊สไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์อัตราส่วนร้อยละ 80 : 20 เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ภายในขวดน้ำเกลือนอยู่ในสภาวะไร้อากาศ ปิดขวดน้ำเกลือนด้วยจุกยางและฝาอลูมิเนียมด้วย Hand Crimper นำไปบ่มที่สภาวะอุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 45 วัน โดยระหว่างกระบวนการหมักจะทำการตรวจวัดผลผลิตมีเทนโดยการวัดปริมาตรการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการแทนที่น้ำ [13] และวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี [10]

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design) โดยในแต่ละชุดการทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้วิธี T-Test (Independent Sample T-Test) กำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 17

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย (Results and Discussion)

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน กากน้ำตาล ของเสียกลีเซอรอล และกาก้าเชื้อ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (Distillery Wastewater : DW) กากน้ำตาล (Molasses : ML) และกาก้าเชื้อ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 น้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน กากน้ำตาล รวมทั้งกาก้าเชื้อที่ใช้ในการทดลอง พบว่า น้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชนมีองค์ประกอบของซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) เท่ากับ 57 ± 0.71 g/L ค่าพีเอชเท่ากับ 3.52 มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเท่ากับ 14.39 สอดคล้องกับรายงานของชุดิมา ฉันทพลากร [2] และไพจิตร กระจ่างหิน [14] ซึ่งได้ศึกษาองค์ประกอบของน้ำกากส่า โดยพบว่าน้ำกากส่ามีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 50-150 g/L ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.6-4.5 และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 จะเห็นได้ว่าน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม เมื่อเทียบจากการรายงานของ Álvarez et al. [15] พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 20-30

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน กากน้ำตาล และกาก้าเชื้อ

Characteristics	DW	ML	Inoculum
pH	3.52 ± 0.02	4.95 ± 0.01	7.61 ± 0.02
TS (g/l)	44.08 ± 0.60	914.50 ± 2.17	81.26 ± 1.41
VS (g/l)	40.67 ± 0.58	671.97 ± 4.96	48.48 ± 0.00
Ash (g/l)	0.34 ± 0.02	24.25 ± 2.79	3.29 ± 1.56
COD (g/l)	57 ± 0.71	1210 ± 2.83	73 ± 0.14
Alkalinity(mg/l)	6.67 ± 0.02	583.33 ± 0.01	33.33 ± 0.00
VFA (mg/l)	2214.26 ± 0.01	9470.62 ± 0.01	280.39 ± 0.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Characteristics	DW	ML	Inoculum
Carbohydrate (g/l)	28.68 ± 0.33	1355.56 ± 5.23	11.32 ± 1.11
Reducing sugar (g/l)	3.41 ± 0.96	267.92 ± 0.00	9.98 ± 8.56
Lipid (g/l)	11.90 ± 0.97	46.78 ± 2.79	1.33 ± 0.97
Hydrogen (%)	27.71 ± 0.09	5.83 ± 0.02	ND
Oxygen (%)	43.35 ± 0.04	37.55 ± 0.22	ND
Carbon (%)	27.06 ± 0.54	55.15 ± 0.04	ND
Nitrogen (%)	1.88 ± 0.02	1.46 ± 0.03	ND
C/N ratio	14.39 ± 0.03	37.77 ± 0.01	ND

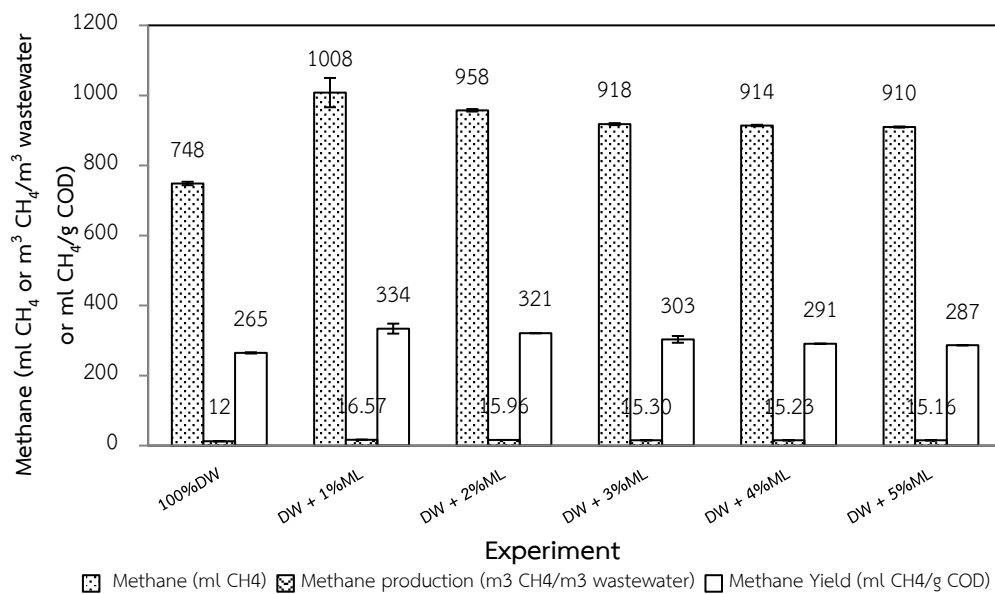
กากน้ำตาลที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักร่วมมีองค์ประกอบหลักสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีสูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1210 g/L มีค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 915 g/L และปริมาณของแข็งระเหยได้เท่ากับ 672 g/L ตามลำดับ ซึ่งจากรายงานของ Lee et al. [11] พบว่า กากน้ำตาลมีค่าซีโอดี 1280.40 g/L มีค่าของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 890.70 g/L และมีปริมาณของแข็งระเหยได้เท่ากับ 860.20 g/L

2. ผลของอัตราส่วนการหมักร่วมระหว่างน้ำกากสาขางานสุรากลั่นชุมชนกับกากน้ำตาลในการผลิตมีเทน

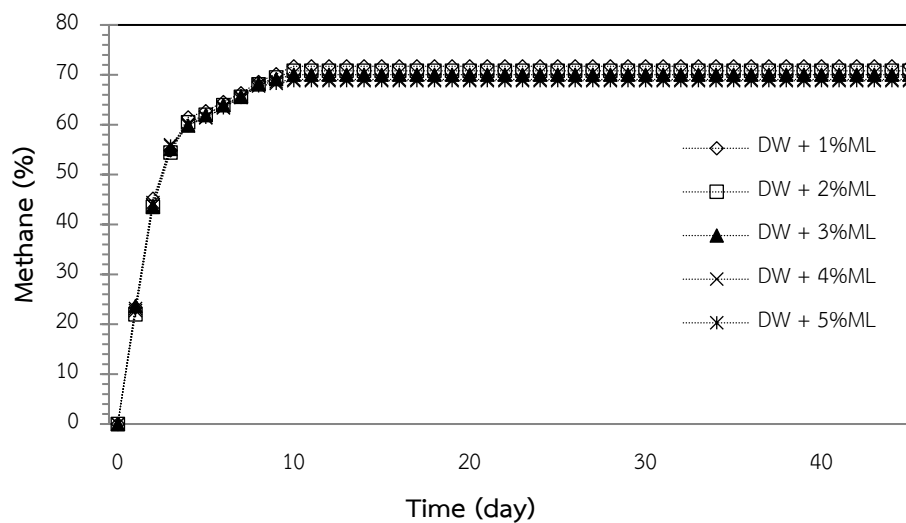
การศึกษ้อัตราส่วนในการหมักร่วมแบบไร้อากาศต่อประสิทธิภาพการผลิตมีเทนจากน้ำกากสาขางานสุรา กลั่นชุมชน (DW) กับกากน้ำตาล (ML) ที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 98 : 2 97 : 3 96 : 4 และ 95 : 5 ดังตารางที่ 2 โดยให้มีปริมาณของแข็งระเหยได้ไม่เกินร้อยละ 2 ทำการหมักที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 45 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากสาขากับกากน้ำตาลที่ร้อยละ 99 : 1 มีศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณมีเทนสะสมสูงสุดถึง 1,008 ml CH₄ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากสาขากับกากน้ำตาลร้อยละ 98 : 2 มีปริมาณมีเทนสะสมเท่ากับ 958 ml CH₄ และต่ำสุดจะเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากสาขากับกากน้ำตาลร้อยละ 97 : 3, 96 : 4 และ 95 : 5 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 918 914 และ 910 ml CH₄ ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 สอดคล้องกับปริมาณผลได้มีเทน พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากสาขากับกากน้ำตาลที่ร้อยละ 99 : 1 มีปริมาณมีเทนสะสมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 334 ml CH₄/g COD รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากสาขากับกากน้ำตาลร้อยละ 98 : 2 97 : 3 96 : 4 และ 95 : 5 มีปริมาณผลได้มีเทนเท่ากับ 321 303 291 และ 287 ml CH₄/g COD ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตมีเทน พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากสาขากับกากน้ำตาลที่ร้อยละ 99 : 1 มีศักยภาพในการผลิตมีเทนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุดถึง 16.38 m³ CH₄/m³ Wastewater รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากสาขากับกากน้ำตาลร้อยละ 98 : 2 มีปริมาณมีเทนสะสมเท่ากับ 15.96 m³ CH₄/m³ Wastewater และต่ำสุดจะเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนของน้ำกากสาขากับกากน้ำตาลร้อยละ 97 : 3 96 : 4 และ 95 : 5 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีปริมาณผลผลิตมีเทนเท่ากับ 15.30 15.23 และ 15.16 m³ CH₄/m³ Wastewater ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 ในแต่ละชุดการทดลองนี้ พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นของมีเทนอยู่ในช่วงร้อยละ 60-70 ดังภาพที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

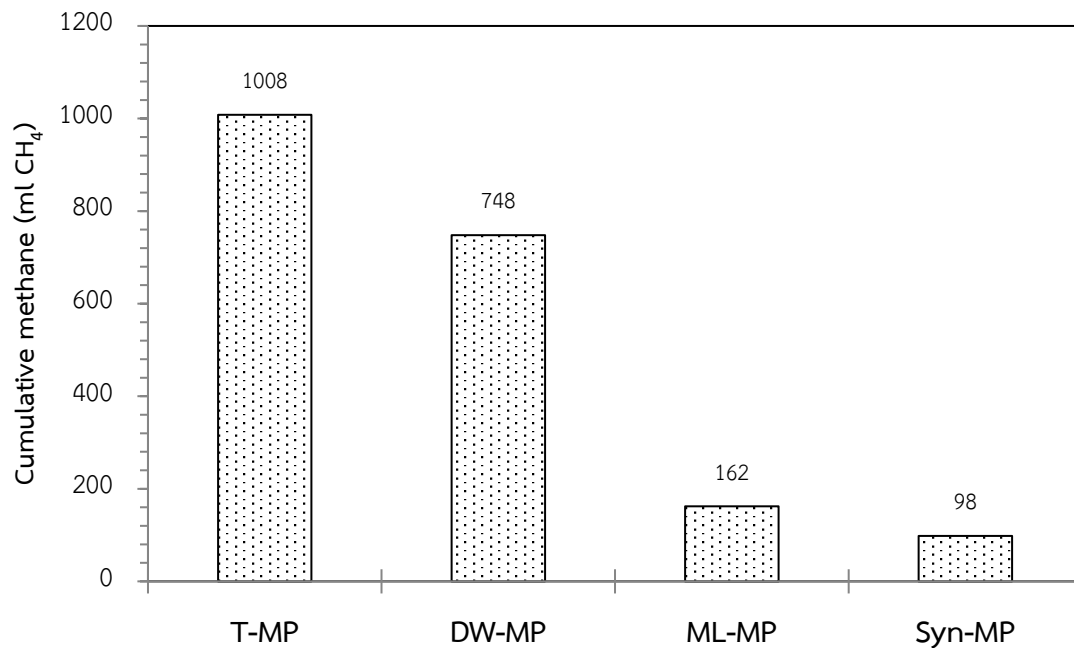
Experiment	pH	Carbon(g/l)	TN(g/l)	C/N
100%DW	7.56 ± 0.09	28.68 ± 0.33	1.88 ± 0.02	25.03 ± 0.03
DW+1%ML	7.64 ± 0.05	20.04 ± 0.21	0.47 ± 0.05	25.10 ± 0.05
DW+2%ML	7.67 ± 0.01	17.70 ± 0.33	0.46 ± 0.03	25.20 ± 0.08
DW+3%ML	7.68 ± 0.08	15.85 ± 0.57	0.45 ± 0.06	25.30 ± 0.02
DW+4%ML	7.79 ± 0.02	14.36 ± 0.02	0.44 ± 0.01	25.40 ± 0.07
DW+5%ML	7.74 ± 0.06	13.12 ± 0.08	0.44 ± 0.02	25.50 ± 0.04



ภาพที่ 1 ผลการผลิตมีเทนจากกระบวนการหมักร่วมของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DW) และกากน้ำตาล (ML) ที่ระยะการหมัก 45 วัน



ภาพที่ 2 ร้อยละความเข้มข้นของมีเทนจากกระบวนการหมักร่วมของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DW) และกากน้ำตาล (ML)



ภาพที่ 3 ปริมาณมีเทนสะสมจากน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน โดยการหมักร่วมกับกากน้ำตาลที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1; T-MP (Total Methane Production), DW-MP (Distillery Wastewater Methane Production), ML-MP (Molasses (1 %) Methane Production, Syn-MP (Synergistic Methane Production)

ตารางที่ 3 สรุป methane yield, biodegradability และ pH ของการหมักแบบไร้อากาศระหว่าง DW และ ML

Experiments	Initial loading (g COD/L)	CH ₄ yield (ml CH ₄ /g COD)	Biodegradability (%)	pH after digestion	VFA/Alk ratio
100%DW	9.40 ± 0.08	265 ± 0.22	75.43 ± 0.25	7.64 ± 0.01	0.15 ± 0.25
DW+1%ML	9.72 ± 0.11	334 ± 0.05	96.23 ± 0.03	7.67 ± 0.05	0.13 ± 0.09
DW+2%ML	10.01 ± 0.23	323 ± 0.10	92.32 ± 0.14	7.68 ± 0.02	0.15 ± 0.06
DW+3%ML	10.24 ± 0.03	305 ± 0.03	87.12 ± 0.44	7.79 ± 0.15	0.16 ± 0.04
DW+4%ML	10.43 ± 0.25	292 ± 0.07	83.47 ± 0.09	7.74 ± 0.04	0.12 ± 0.11
DW+5%ML	10.58 ± 0.11	287 ± 0.6	81.87 ± 0.05	7.72 ± 0.05	0.26 ± 0.08

จากการศึกษาการเสริมกันของการผลิตมีเทน (Synergistic Methane Production) พบว่า การหมักร่วมกันน้ำกากส่ากับกากน้ำตาลที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 มีผลในการเพิ่มศักยภาพการผลิตมีเทนได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นที่หมักร่วมกับกากน้ำตาล โดยที่อัตราส่วนร้อยละ 99 : 1 สามารถเพิ่มปริมาณมีเทนได้ 98 ml CH₄ ภาพที่ 3 ซึ่งมีปริมาณมีเทนสะสมเท่ากับ 1008 ml CH₄ และผลได้มีเทนเท่ากับ 334 ml CH₄/g COD (ภาพที่ 1) มีการย่อยสลายสูงถึงร้อยละ 96.23 (ตารางที่ 3) และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมซึ่งมีค่าเท่ากับ 25.10 ดังตารางที่ 2 เมื่อเทียบกับปริมาณผลได้มีเทนสูงสุดของร้อยละ 100 ของน้ำกากส่า มีค่าเท่ากับ 265 ml CH₄/g COD การย่อยสลายร้อยละ 75.58 เมื่อเทียบกับการหมักน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มร้อยละ 1 ของกากน้ำตาล เข้าไปผสมกับน้ำกากส่าสามารถเพิ่มการผลิตมีเทนได้

การย่อยสลายแบบไร้อากาศโดยการหมักร่วมวัตถุดิบหลายชนิด สามารถเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการหมักวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว เช่น การเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ช่วยในการผสมวัตถุดิบกับกล้าเชื้อให้เข้า

กัน ทำให้จุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับสารตั้งต้นได้สูงขึ้น [10] อีกทั้งจะช่วยปรับปรุงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ในระบบให้มีความสมดุล ทำให้ผลผลิตมีเทน (Methane Yield) สูงขึ้น เนื่องจากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของกระบวนการเพราะเป็นตัวกำหนดสุขภาพของจุลินทรีย์ภายในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงเกินไป ไนโตรเจนจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็ว หากมีไนโตรเจนไม่เพียงพอ อัตราการเกิดเซลล์จุลินทรีย์จะลดลง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้น้อยลง แต่ถ้าหากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำเกินไปจะทำให้ไนโตรเจนมากเกินไปจนมีความจำเป็น จุลินทรีย์จะย่อยสลายไนโตรเจนส่วนเกินก่อให้เกิดแอมโมเนียในไนโตรเจน ซึ่งอาจจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของระบบได้ [8,9] จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อทำการหมักรวม โดยเทียบกับการหมักน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในตารางที่ 3

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

กระบวนการหมักรวมแบบไร้อากาศของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชน (DW) กับกากน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 1 (v/v) หรือ (1%ML) สามารถเพิ่มศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพและปริมาณของการผลิตก๊าซมีเทนได้ของ DW ได้ดีที่สุด โดยมีปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane Production) และผลได้มีเทน (Methane Yield) มีค่าเท่ากับ 1,008 ml CH₄ และ 334 ml CH₄/g ซึ่งปริมาณมีเทนสะสมและผลได้มีเทนเพิ่มขึ้น 35% และ 26% เมื่อเปรียบเทียบกับหมักของน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนเพียงอย่างเดียว (100% DW) ดังนั้นผลการวิจัยนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าของโรงงานสุรากลั่นชุมชน โดยใช้กลยุทธิ์การหมักรวมกับกากน้ำตาล ซึ่งกระบวนการหมักรวมเป็นแบบส่งเสริมกัน (Positive Synergisms) สามารถเพิ่มผลผลิตมีเทนได้เมื่อเทียบกับการหมักน้ำกากส่าโรงงานสุรากลั่นชุมชนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกากน้ำตาล ซึ่งเป็นสารหมักร่วม (Co-substrate) สามารถช่วยปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและเพื่อให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Thai Industrial Standards Institute (TISI) (2016). *List of people who have been certified by community product standards 32/2546 community distilled liquor*. Bangkok, Ministry of Industrial, Retrieved on 5 January 2023, from https://www.tisi.go.th/website/about/tisi_cps
- [2] Chanpalakorn, C. (2008). *Effect of cod loading rate on biogas production from distillery slop wastewater by anaerobic baffled reactor*. [Master's thesis, Chulalongkorn University]. Chulalongkorn University Library. <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/16127>
- [3] National Energy Policy Office (NEPO). (2000). *Study report on biomass power plants of small rural industries*. Black & Wish (Thailand) Co., Ltd. 1-78.
- [4] Ma, J., Wambeke, M. V., Carballa, M. & Verstraete, W. (2008). Improvement of the anaerobic digestion of potato processing wastewater in a UASB reactor by co-digestion with glycerol, *Biotechnology Letters*. 30(5), 861-867. <https://doi.org/10.1007/s10529-007-9617-x>
- [5] Wong, Y. S., Teng, T. T., Ong, S. A., Norhashimah, M., Rafatullah, M. & Leong, J. Y. (2014). Methane gas production from palm oil wastewater-An anaerobic methanogenic degradation process in continuous stirrer suspended closed anaerobic reactor, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 45(1), 896-900. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.10.002>

- [6] Wasterholm, M., Hansson, M., & Schnurer, A. (2012). Improved biogas production from whole stillage by co-digestion with cattle manure. *Bioresource Technology*, 114, 314-319. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.005>
- [7] Tang, Y.Q., Fujimura, Y., Shigematsu, T., Morimura, S. & Kida, K. (2007). Anaerobic treatment performance and microbial population of thermophilic upflow anaerobic filter reactor treating awamori distillery wastewater, *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 104(4), 281-287. <https://doi.org/10.1263/jbb.104.281>
- [8] Kangle, K. M., Kore, S. V., Kore, V. S., & Kulkarni, G. S. (2012). Recent trends in anaerobic co-digestion: a review, *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. 2(4), 210-219.
- [9] Koupaie, E. H., Leiva, M. B., Eskicioglu, C., & Dutil, C. (2014). Mesophilic batch anaerobic co-digestion of fruit-juice industrial waste and municipal waste sludge: process and cost-benefit analysis, *Bioresource Technology*. 152(1), 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.10.072>
- [10] O-Thong, S., Boe, K. & Angelidaki, I. (2012). Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil efficient biogas production, *Applied Energy*. 93(C), 648-654. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.092>
- [11] Lee, J. Y., Yun, J., Kim, T. G., Wee, D. & Cho, K. S. (2014). Two-stage biogas production by co-digesting molasses wastewater and sewage sludge, *Bioprocess Biosystems Engineering*, 37(12), 2401-2413. <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1217-2>
- [12] American Public Health Association (APHA). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, In Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. and Clesceri, L. S. (Eds.) (pp. 1-1220). USA: Washington D.C.
- [13] Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J.L., Guwy, A. J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P. & van Lier, J. B. (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays, *Water Science & Technology*. 59(5), 927-934. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.040>
- [14] Krajahean, P. (2009). *Utilization of distillery slop for hydrogen production*. [Unpublished master's thesis]. Kasetsart University.
- [15] Álvarez, J. A., Otero, L. & Lema, J. M. (2010). A methodology for optimizing feed composition for anaerobic co-digestion of agro - industrial wastes, *Bioresource Technology*. 101(4), 1153-1158. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.061>

การผลิตไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวและศักยภาพในการส่งผลต่อการปรับปรุง คุณภาพดินเพื่อการเพาะปลูกต้นมะเขือม่วง

Production of Biochar from Coconut Shells and the Potential to Affect Soil Quality Improvement for Cultivation of Eggplant

ฉานิกา แซ่แง ชุกลิน^{1*} กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธุ์² นฤทธิ์ กล่อมพงศ์² วรangkan เพ็ชรแก้ว³

ศศิวิมล พรหมศิริ³ และภาวินี ตกจินตอง⁴

Chanika Saenge Chooklin^{1*}, Kattinat Sagulsawasdipan², Narit Klompong², Warankana Pechkaw³,

Sasiwimon Promkere³ and Pawinee Tokjeentong⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอชาร์และศักยภาพในการส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเพาะปลูก ผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวโดยไบโอชาร์ที่ผลิตได้มีค่าพีเอชเท่ากับ 8.10 โดยพื้นที่ผิวของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวมีลักษณะเป็นรูพรุน เกิดเป็นช่องว่างจำนวนมาก จากการทดสอบปริมาณอินทรีย์วัตถุพบว่ามีปริมาณร้อยละ 62.10 สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของไบโอชาร์ที่ผลิตได้ต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง โดยทำการศึกษาอัตราส่วนดินต่อไบโอชาร์พบว่าที่อัตราส่วนที่ 1:1 มีการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงสูงสุดร้อยละ 90.00 รองลงมาคืออัตราส่วน 0.5:1.5 มีการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงร้อยละ 74.40 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ 2:0 ชุดการทดลองที่ไม่ใส่ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว มีการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงเพียงร้อยละ 53.03 เห็นได้ชัดว่าไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวมีศักยภาพเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง

คำสำคัญ: ไบโอชาร์ การเจริญเติบโต วัสดุปรับปรุงดิน

¹ผศ. ดร., คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง จังหวัดตรัง 92150

²อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง จังหวัดตรัง 92150

³นักศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง จังหวัดตรัง 92150

⁴ผู้ช่วยวิจัย, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง จังหวัดตรัง 92150

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

²Lecturer, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, 92150, Thailand

³Student, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, 92150, Thailand

⁴Research Assistant, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, 92150, Thailand

* Corresponding author Tel: 087-492-5651 E-mail address: chanika.sae@gmail.com

(Received: July 12, 2023; Revised: August 27, 2023; Accepted: September 8, 2023)

Abstract

This research investigates the production of biochar from coconut shells, the physical and chemical properties of coconut shell biochar, and its potential effect on soil quality improvement for cultivation. The results showed that the physical and chemical properties of biochar from coconut shells has a pH value of 8.10. The surface of biochar from coconut shells is porous, creating many voids. From testing the amount of organic matter, it was found that the amount was 62.10 percent. By studying the ratio of soil to biochar, it was found that at the ratio of 1:1 has the highest eggplant growth of 90.00 percent. Followed by the ratio of 0.5:1.5 with 74.40 percent growth of the eggplant and when compared with the ratio 2:0, which is a set of experiments that did not add biochar from coconut shells, had only 53.03 percent of eggplant growth. It is evident that the biochar from coconut shells has the potential to be used to improve soil quality contributing to the growth of eggplants.

Keywords: Biochar, Growth, Soil Amendment

บทนำ

ปัจจุบันมีความสนใจในการนำไบโอชาร์ในการประยุกต์ใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อม เมื่อเร็ว ๆ นี้ไบโอชาร์ได้รับการยอมรับว่าเป็นวัสดุเนกประสงค์เพื่อใช้ในการกักเก็บคาร์บอนและสามารถตรึงสารปนเปื้อนทั้งยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมไปถึงช่วยในเรื่องการเปลี่ยนแปลงปุ๋ยให้เป็นธาตุอาหารในดินมากขึ้น โดยองค์ประกอบทางเคมีของ ไบโอชาร์จะขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบตั้งต้นและสภาวะไพโรไลซิส ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อนและประเภทของเครื่องปฏิกรณ์ [1]

ไบโอชาร์ประกอบด้วยคาร์บอน เป็นส่วนใหญ่ ส่วนอินทรีย์ของไบโอชาร์มีปริมาณคาร์บอนสูง และส่วนอินทรีย์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น Ca, Mg, K และคาร์บอนเนตอินทรีย์ (คาร์บอนเนตไอออน) ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ใช้สำหรับการผลิตไบโอชาร์ [2] การจัดเรียงตัวของคาร์บอนที่ผิดปกติมากขึ้นเกิดขึ้นระหว่างการเผาไบโอชาร์ ซึ่งประกอบด้วย ออกซิเจน และไฮโดรเจน [2] ในบางกรณีการก่อตัวของแร่ธาตุขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ได้แก่ ฟางข้าว แกลบ เศษไม้ยางพารา เหง้ามันสำปะหลัง กากอ้อย และกะลามะพร้าว โดยทั่วไปไบโอชาร์จะไม่ถูกทำให้เป็นคาร์บอนเต็มที่และแสดงเฟสที่มีคาร์บอนและไม่เป็นคาร์บอน มากกว่าการผลิตไบโอชาร์ในขั้นต้น เนื่องจากการประหยัดพลังงานและศักยภาพทางเศรษฐกิจ วิธีการเผาถ่านแบบไพโรไลซิสเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะสามารถก่อให้เกิดทั้งถ่านไบโอชาร์และพลังงาน โดยกระบวนการไพโรไลซิส จะขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงาน รวมถึงอุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน และประเภทของเครื่องปฏิกรณ์ [3] สำหรับประโยชน์ของไบโอชาร์นั้นมีมากมาย เช่น การเติมไบโอชาร์ลงในดินจะส่งผลให้มีการแทรกซึมของน้ำเพิ่มขึ้น[4] การกักเก็บน้ำในดินความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน การกักเก็บสารอาหาร และการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนของพืช [5]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำกะลามะพร้าวเหล่านี้มาผลิตเป็นไบโอชาร์ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่เป็นการจัดการกะลามะพร้าวที่เหลือทิ้งอย่างมีประสิทธิภาพ และยังได้วัสดุปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเพาะปลูกอีกด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

1. การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอชาร์

เตรียมกะลามะพร้าว โดยการสับให้มีขนาด 2×2 นิ้ว นำไปเป็นตากแดด เป็นเวลา 2-3 วัน เพื่อลดความชื้น และนำไปหาค่าความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กะลามะพร้าว

2. อุปกรณ์สำหรับการเผาไบโอชาร์

เตาเผาไบโอชาร์ที่ผู้วิจัยใช้สำหรับการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อผลิต ไบโอชาร์ และกำหนดจุดตรวจวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ ห่างจากขอบบนถึง 10 เซนติเมตร กลางถัง และห่างจากขอบล่าง 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อุปกรณ์สำหรับเผาไบโอชาร์ (ก) อุปกรณ์สำหรับเผาไบโอชาร์จริง

3. การผลิตไบโอชาร์

เตรียมกะลามะพร้าวโดยการสับให้มีขนาด 2×2 นิ้ว นำไปเป็นตากแดด เป็นเวลา 2 - 3 วัน เพื่อลดความชื้น หลังจากนั้น ทำการเผาในเตาเผาโดยจุดไฟที่เศษวัสดุด้านบนเพื่อให้ไฟลุกไหม้ ปิดฝาเพื่อควบคุมให้อากาศไหลจากด้านล่างของถัง พร้อมเสียบปลั๊กควินเพื่อควบคุมให้การเผาไหม้ ใช้เวลาน้อยที่สุด รอจนไฟดับลง (ใช้เวลาประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง) ในระหว่างการผลิตไบโอชาร์ จะใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอินฟราเรด เพื่อทดสอบหาค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตถ่านที่เหมาะสม โดยวัดจำนวน 3 จุด ทุก ๆ 5 นาที ไปจนถึงอุณหภูมิเริ่มลดลงและทิ้งไว้ให้เตาเผาเย็น จึงเก็บตัวอย่าง เพื่อนำถ่านไบโอชาร์ไปวิเคราะห์ต่อไป

4. การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของไบโอชาร์

ส่องลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในการส่องลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของไบโอชาร์ โดยทำการส่งวิเคราะห์ ณ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

5. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของไบโอชาร์

ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

6. การศึกษาศักยภาพของไบโอชาร์ต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง

การศึกษาศักยภาพของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง โดยทำการปลูกต้นมะเขือม่วงในกระถาง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร สูง 19 เซนติเมตร โดยใช้ดินปลูก:ไบโอชาร์ จากกะลามะพร้าว เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 5 ชุด การทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของดินต่อไบโอชาร์ที่มีศักยภาพต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง

ชุดการทดลองที่	อัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบ (กิโลกรัม)	
	ดินปลูก	ไบโอชาร์
ชุดควบคุม	2	0
1	1	1
2	0.5	1.5
3	0	2
4	1.5	0.5

ทำการปลูกต้นมะเขือม่วง และศึกษาการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงในแต่ละชุดการทดลอง ได้แก่ จำนวนใบ และความสูง ซึ่งก่อนที่จะทดสอบศักยภาพของไบโอชาร์กับการใช้ดินปลูกในการปลูกต้นมะเขือม่วงนั้น ได้ทำการวิเคราะห์ การอุ้มน้ำ การเปลี่ยนแปลงความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นในดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุ และเมื่อครบ 4 สัปดาห์ (30 วัน) นำค่าที่วัดการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง มาวิเคราะห์อัตราการเติบโตโดยทำการร่นน้ำหนักทุกวัน

6.1 วิเคราะห์การอุ้มน้ำ

นำทราย 50 กรัม ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 25 50 และ 100 ทรายแต่ละขนาดจะนำมาใส่ในอุปกรณ์ทดสอบการวัดการอุ้มน้ำโดยนำทรายมาผสมกับไบโอชาร์ในอัตราส่วน ดังตารางที่ 2

6.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้น

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านไบโอชาร์จะใช้ชุดการทดลองต่อจากการอุ้มน้ำ และทำการตรวจวัดความชื้นเป็นเวลา 5 วัน โดยใช้เครื่อง Moisture meter ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนของวัสดุที่นำมาวิเคราะห์การอุ้มน้ำและการเปลี่ยนแปลงความชื้น

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนที่ใช้ทดสอบ (กรัม)	
	ทราย	ไบโอชาร์
1	50	0
2	50	25
3	50	50
4	50	75

ผลการวิจัย (Results)

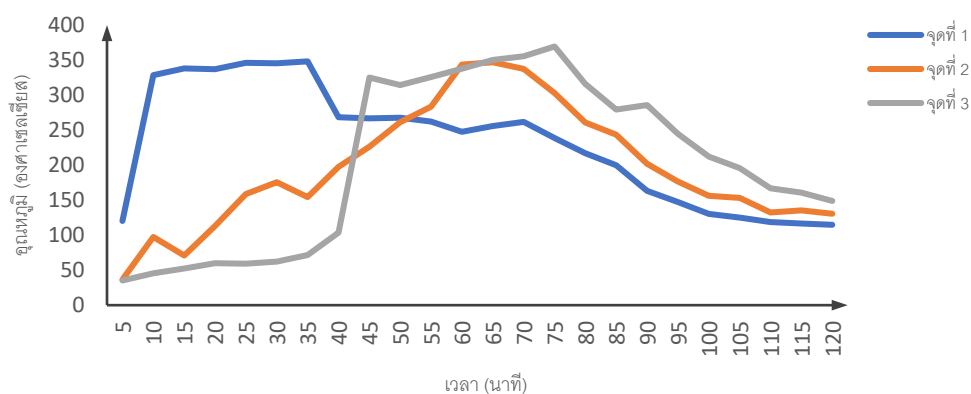
งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการผลิตไบโอชาร์จากวัสดุเหลือทิ้งทางครัวเรือนเพื่อการปรับปรุงดินผู้วิจัยได้เลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตไบโอชาร์ คือ กะลามะพร้าว ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน เนื่องจากเป็นประโยชน์แก่พืชและจุลินทรีย์ในดินและเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว ซึ่งได้ทำการศึกษาทางกายภาพและเคมี โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของไบโอชาร์ ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ การอุ้มน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไบโอชาร์ และการศึกษาศักยภาพของการใช้ไบโอชาร์ร่วมกับการใช้ดินปลูกในการปลูกต้นมะเขือม่วง โดยการเปรียบเทียบวัสดุปลูก อัตราส่วน คือ ดินปลูก:ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว เท่ากับ 2:0 1:1 0.5:1.5 0:2 1.5: 0.5 ทดลองปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร สูง 19 เซนติเมตร เป็นเวลา 4 สัปดาห์ รดน้ำวันละ 2 ครั้ง ผู้วิจัยจะศึกษาความสูง และจำนวนใบ ทุก ๆ 7 วัน ผลการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการศึกษาวัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอชาร์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง และหาค่าความชื้นของวัสดุ ที่นำมาผลิตไบโอชาร์ก่อนเพื่อทราบถึงความเปลี่ยนแปลงหลังการเผา และเพื่อให้วัสดุที่นำมาผลิต ไบโอชาร์พร้อมในการได้รับความร้อนอย่างเต็มที่ ซึ่งในครั้งนี้ได้ใช้วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอชาร์ คือ กะลามะพร้าว โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 7.70 ซึ่งในการนำกะลามะพร้าวมาผลิตเป็นถ่านไบโอชาร์จะต้องทำการลดความชื้น โดยการนำไปตากแดด 2 - 3 วัน ก่อนนำมาผลิตเป็นไบโอชาร์ ความชื้นของกะลามะพร้าว เท่ากับ 3.08 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการศึกษาระดับอุณหภูมิในขณะการผลิตไบโอชาร์

ในการผลิตถ่านไบโอชาร์ครั้งนี้ ได้ตรวจวัดอุณหภูมิการเผาไหม้จากเตาผลิตถ่านไบโอชาร์ 3 จุด ห่างจากขอบบนถึง 10 เซนติเมตร ตรงกลางถึง และห่างจากขอบล่างถึง 10 เซนติเมตร โดยใช้ Infrared Thermometer เพื่อทราบถึงค่าอุณหภูมิในการผลิตไบโอชาร์ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าอุณหภูมิการผลิตถ่านไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวโดยจุดที่ 1 2 และ 3 หมายถึง ด้านบน กึ่งกลาง และด้านล่าง

ค่าความร้อนในการเผาไหม้เพื่อผลิตไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวในครั้งนี้ อุณหภูมิจุดที่ 1 จะเริ่มสูงขึ้นจนถึง 348.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดที่ 2 จะเริ่มสูงขึ้นจนถึง 346.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดที่ 3 จะเริ่มสูงขึ้นจนถึง 369.5 องศาเซลเซียส สังเกตได้ว่าอุณหภูมิในขณะทำการผลิต ไบโอชาร์ทั้ง 3 จุด มีอุณหภูมิมากกว่า 300 องศาเซลเซียส แสดงว่าเป็นการเผาแบบกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bruun (2011) [6] ไบโอชาร์ คือวัสดุอินทรีย์ที่ถูกเผา

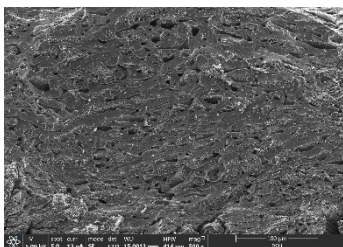
ในสภาพที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ หรือไม่มีออกซิเจน ด้วยอุณหภูมิสูง 300 - 600 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการให้ความร้อน โดยกระบวนการทั้งหมดใช้เวลามากกว่า 5 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้คือ ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว ดังภาพที่ 4 ผู้วิจัยจึงนำไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีต่อไป



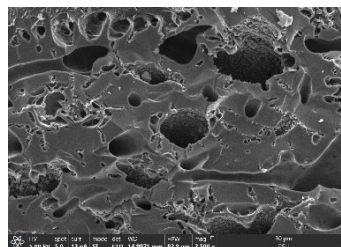
ภาพที่ 4 ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว

3. ผลการวิเคราะห์พื้นผิวทางกายภาพของถ่านไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว

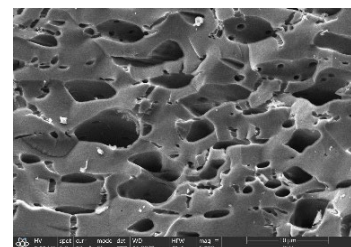
การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวทางกายภาพของไบโอชาร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยทำการส่งตรวจ ณ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ พบว่า ลักษณะพื้นผิวของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว มีลักษณะเป็นรูพรong ช่องว่างกึ่งกลมกึ่งรี เกิดช่องว่างเป็นจำนวนมากมีขนาดช่องว่างไม่สม่ำเสมอ ดังภาพที่ 5 ทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dittakit et al., (2023) [7] ถ่านชีวภาพมีลักษณะเป็นรูพรong รูพรongนี้เมื่ออยู่ในดินมีคุณสมบัติช่วยเก็บธาตุอาหารจากปุ๋ย และเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ ช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้นาน ผู้วิจัยจึงนำไบโอชาร์ จากกะลามะพร้าวไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีต่อไป



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 5 ภาพถ่ายพื้นผิวของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ก) กำลังขยาย 500 เท่า (ข) กำลังขยาย 2,500 เท่า และ (ค) กำลังขยาย 5,000 เท่า

4. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของถ่านไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว

ผลการศึกษาค่าคุณสมบัติของทางเคมีของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.10 และปริมาณอินทรีย์วัตถุของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว มีค่าเท่ากับ 62.10 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช และสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jien and Wang (2013) [8] ถ่านชีวภาพที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน มีคุณสมบัติเป็นต่าง และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ผู้วิจัยจึงได้นำไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวไปวิเคราะห์ศักยภาพของการใช้ไบโอชาร์กับการใช้ดินปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงต่อไป

5. ศักยภาพของการใช้ไบโอชาร์กับการใช้ดินปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง

การศึกษาศักยภาพของการใช้ไบโอชาร์กับการใช้ดินปลูก ต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง ซึ่งได้ทำการเพาะปลูกต้นมะเขือม่วงไว้ก่อนเป็นเวลา 1 เดือน ก่อนนำมาปลูกในกระถางทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 เซนติเมตร สูง 19 เซนติเมตร โดยทำการศึกษาศักยภาพของการใช้ไบโอชาร์ร่วมกับดินปลูก การทดลองแบ่งออกเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยมีอัตราส่วน คือ ดินปลูกต่อไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว เท่ากับ 2:0 1:1 0.5:1.5 0:2 และ 1.5:0.5 ซึ่งก่อนที่จะทดสอบ ศักยภาพของไบโอชาร์กับการใช้ดินปลูกในการปลูกต้นมะเขือม่วงนั้น ได้ทำการวิเคราะห์การอุ้มน้ำ การเปลี่ยนแปลงความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นในดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์การอุ้มน้ำ

การศึกษากการอุ้มน้ำของไบโอชาร์ ตามอัตราส่วนต่าง ๆ 4 อัตราส่วน (ทราย:ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว) คือ 50:0 50:25 50:50 50:75 ซึ่งในการทดลองจะใช้ทรายเป็นส่วนผสม ในการศึกษา โดยใช้ทรายที่ผ่านตะแกรงร่อน 3 ขนาด ได้แก่ ทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 25 ทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 50 และทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 100 และใช้ปริมาณน้ำ 50 มิลลิลิตร ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่อุ้มน้ำได้ดี คืออัตราส่วน 50:75 สามารถอุ้มน้ำได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3 ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวมีส่วนช่วยในการอุ้มน้ำในดิน ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ไบโอชาร์สามารถเก็บน้ำ และน้ำได้มาก ผู้วิจัยจึงได้นำไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อไป

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การอุ้มน้ำ ตามอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วน (ทราย:ไบโอชาร์จาก กะลามะพร้าว)	การอุ้มน้ำ (เปอร์เซ็นต์)		
	ทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 25	ทรายที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 50	ทรายที่ผ่านตะแกรงร่อน เบอร์ 100
50:0	40 ± 2	40 ± 1	32 ± 2
50:25	66 ± 3	60 ± 2	62 ± 1
50:50	88 ± 2	84 ± 3	84 ± 1
50:75	100 ± 4	100 ± 3	100 ± 2

Values are given as means ± SD from triplicate determinations.

5.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้น

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านไบโอชาร์จะใช้ชุดการทดลองต่อจากการอุ้มน้ำ และทำการตรวจวัดความชื้นเป็นเวลา 5 วัน โดยใช้เครื่อง Moisture meter ผลการศึกษา แสดงดังตารางที่ 4 - 6

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้น ตามอัตราส่วนต่าง ๆ ตะแกรงเบอร์ 25

อัตราส่วน (ทราย:ไบโอชาร์จาก กะลามะพร้าว)	ค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้น ทรายตะแกรงเบอร์ 25 (เปอร์เซ็นต์)					ความชื้น ที่เปลี่ยนไป
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	
50:0	64.37 ± 0.42	50.60 ± 2.15	25.30 ± 1.63	13.93 ± 2.58	11.83 ± 3.04	81.60 ± 2.15
50:25	99.90 ± 2.53	98.00 ± 4.12	90.77 ± 2.36	36.27 ± 1.36	18.00 ± 2.58	81.90 ± 2.49
50:50	99.90 ± 1.77	99.90 ± 1.79	99.90 ± 3.45	78.93 ± 2.34	49.73 ± 2.83	50.22 ± 1.52
50:75	99.90 ± 2.62	99.90 ± 1.56	99.90 ± 4.05	98.47 ± 2.85	93.33 ± 3.46	6.58 ± 2.69

Values are given as means ± SD from triplicate determinations.

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้น ตามอัตราส่วนต่าง ๆ ตะแกรงเบอร์ 50

อัตราส่วน (ทราย:ไบโอชาร์จาก กะลามะพร้าว)	ค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้น ทรายตะแกรงเบอร์ 50 (เปอร์เซ็นต์)					ความชื้น ที่เปลี่ยนไป
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	
50:0	71.80 ± 2.63	50.47 ± 3.15	35.93 ± 2.47	23.40 ± 2.64	12.23 ± 2.58	82.97 ± 4.25
50:25	99.40 ± 3.28	99.90 ± 3.52	99.90 ± 2.56	98.00 ± 2.89	93.00 ± 2.36	6.44 ± 3.13
50:50	99.70 ± 2.28	99.90 ± 3.56	99.90 ± 2.57	97.77 ± 4.23	98.60 ± 4.24	1.10 ± 3.24
50:75	99.90 ± 2.31	99.90 ± 2.39	99.90 ± 3.15	99.90 ± 2.99	99.40 ± 3.10	0.50 ± 0.19

Values are given as means ± SD from triplicate determinations.

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้น ตามอัตราส่วนต่าง ๆ ตะแกรงเบอร์ 100

อัตราส่วน (ทราย:ไบโอชาร์จาก กะลามะพร้าว)	ค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้น ทรายตะแกรงเบอร์ 100 (เปอร์เซ็นต์)					ความชื้น ที่เปลี่ยนไป
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	
50:0	85.17 ± 2.15	65.43 ± 2.15	45.13 ± 1.56	22.17 ± 2.69	10.73 ± 1.98	87.40 ± 1.99
50:25	98.80 ± 2.56	95.27 ± 2.45	81.80 ± 2.63	59.10 ± 2.13	30.20 ± 1.25	69.40 ± 2.55
50:50	99.90 ± 3.02	99.90 ± 2.15	97.63 ± 1.69	92.93 ± 2.63	56.5 ± 2.46	43.40 ± 2.61
50:75	99.90 ± 2.27	99.90 ± 2.85	99.90 ± 2.69	99.90 ± 2.52	96.90 ± 2.62	3.00 ± 1.58

Values are given as means ± SD from triplicate determinations.

ค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นเมื่อผสมเม็ดทราย ขนาดตะแกรงเบอร์ 25 อัตราส่วน ที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อยที่สุดคือ 50:75 รองลงมา 50:50 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.58 เปอร์เซ็นต์และ 50.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขนาดตะแกรงเบอร์ 50 อัตราส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อยที่สุดคือ 50:75 รองลงมา 50:50 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์และ 1.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และขนาดตะแกรงเบอร์ 100 อัตราส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อยที่สุดคือ 50:75 รองลงมา 50:50 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.00 เปอร์เซ็นต์ และ 43.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหากปริมาณไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถกักเก็บความชื้นได้ดี เมื่อเพิ่มปริมาณไบโอชาร์ก็จะทำให้สามารถกักเก็บความชื้นได้ดี ด้วยความสามารถกักเก็บความชื้นได้ดี จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ร่วมกับดิน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อพืช

5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นในดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุ

การศึกษาค่าความเป็นกรด - ด่าง ความชื้นในดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยมีอัตราส่วนที่ใช้ในการทดสอบคือ ดินปลูกต่อไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว ได้แก่ 2:0 1:1 0.5:1.5 0:2 และ 1.5:0.5 แสดงผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความชื้นในดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุของอัตราส่วนผสมดินที่ใช้ในการทดสอบการเจริญเติบโตของพืชตามอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วน (ดินปลูก:ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว)	ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ความชื้นในดิน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)
2:0	8.43 ± 0.11	17.57 ± 0.28	13.86 ± 0.39
1:1	8.50 ± 0.89	43.26 ± 0.85	62.33 ± 0.72

ตารางที่ 7 (ต่อ)

อัตราส่วน (ดินปลูก:ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว)	ค่าความเป็น กรด-ด่าง	ความชื้นในดิน (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)
0.5:1.5	8.08 ± 0.88	41.40 ± 0.48	61.10 ± 0.87
0:2	8.47 ± 1.06	35.56 ± 1.08	60.51 ± 1.05
1.5:0.5	8.30 ± 1.22	27.43 ± 1.25	47.16 ± 0.99

Values are given as means ± SD from triplicate determinations.

จากตารางที่ 7 พบว่า ทุกอัตราส่วนมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 8.08-8.50 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงที่สามารถทำการปลูกพืชได้ ดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ตั้งแต่ 5.50 ลงมา หรือตั้งแต่ 8.50 จัดให้เป็นดินที่มีปัญหา สำหรับค่าความชื้นในดิน พบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 17.57-43.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ในช่วง ควรเพิ่มความชื้นให้แก่ดิน โดยความชื้นที่ 50 - 69 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ดี

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ พบว่าทุกอัตราส่วน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 13.86 - 62.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jien and Wang (2013) [8] อินทรีย์วัตถุในดินควรมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่า ทุกอัตราส่วนเหมาะสมที่นำมาปลูกพืช แต่ต้องมีการเพิ่มความชื้นให้แก่ดิน ด้วยการรดน้ำ ผู้วิจัยจึงได้นำทุกอัตราส่วนมาทำการวิเคราะห์ศักยภาพของการใช้ไบโอชาร์กับการใช้ดินปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 จำนวนใบของต้นมะเขือม่วง

อัตราส่วน (ดินปลูก:ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว)	จำนวนใบของต้นมะเขือม่วง				
	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
2:0	4	5	6	7	7
1:1	4	5	6	7	6
0.5:1.5	4	5	6	6	7
0:2	4	5	6	7	6
1.5:0.5	4	5	5	5	4

จากตารางที่ 8 พบว่าจำนวนใบของต้นมะเขือม่วงในอัตราส่วน 2:0 มีจำนวนใบมากที่สุด และอัตราส่วน 1.5:0.5 มีจำนวนใบน้อยที่สุด ในสัปดาห์ที่ 4 อัตราส่วน 1:1 และ 0:2 มีจำนวนใบลดลงเนื่องจากเกิดฝนตก ทำให้จำนวนใบลดลง ซึ่งผู้วิจัยทำการศึกษาความสูงของต้นมะเขือม่วงร่วมด้วย แสดงผลดังตารางที่ 9 เพื่อศึกษาศักยภาพของการใช้ไบโอชาร์กับการใช้ดินปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง

ตารางที่ 9 ความสูงของต้นมะเขือม่วง เป็นเวลา 4 สัปดาห์

อัตราส่วน (ดินปลูก:ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว)	ความสูงของต้นมะเขือม่วง (เซนติเมตร)					การเจริญเติบโต (เปอร์เซ็นต์)
	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	
2:0	22.00	25.47	26.17	31.57	33.67	53.05
1:1	17.00	21.07	24.80	28.30	32.30	90.00

ตารางที่ 9 (ต่อ)

อัตราส่วน (ดินปลูก:ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว)	ความสูงของต้นมะเขือม่วง (เซนติเมตร)					การเจริญเติบโต (เปอร์เซ็นต์)
	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	
0.5:1.5	19.87	24.77	30.00	31.90	34.67	74.40
0:2	19.30	22.67	27.5	30.17	33.00	70.90
1.5:0.5	22.70	27.10	30.67	32.90	35.67	57.14

จากตารางที่ 9 พบว่าอัตราส่วนที่ 1:1 การเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงมากที่สุดเท่ากับ 90.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคืออัตราส่วน 0.5:1.5 มีการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงเท่ากับ 74.40 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนที่ 2:0 การเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงน้อยที่สุดเท่ากับ 53.03 เปอร์เซ็นต์ การศึกษาศักยภาพของการใช้ไบโอชาร์กับการใช้ดินปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง พบว่า อัตราส่วนที่มีไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวเพิ่มมากขึ้น มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง เนื่องจากไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวมีช่องว่างจำนวนมากทำให้อุ้มน้ำได้ดี สามารถกักเก็บความชื้นในดินได้เป็นเวลานาน และมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เพื่อเป็นประโยชน์ให้กับต้นมะเขือม่วงได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaichan et al., (2019) [9] ไบโอชาร์มีส่วนช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดี

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

การศึกษาวิจัยเรื่อง การผลิตไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว และศักยภาพในการส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเพาะปลูก โดยเลือกใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอชาร์ ซึ่งผลิตไบโอชาร์ในถัง 200 ลิตร โดยใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง และอุณหภูมิในการเผามากกว่า 300 องศาเซลเซียส สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

ผลการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว จากการศึกษาพบว่า ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นต่างอ่อน 8.10 ลักษณะพื้นผิวของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว มีลักษณะเป็นรูพรอง มีช่องว่างทั้งกลมหักรี เกิดช่องว่างจำนวนมาก และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง 62.10 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาศักยภาพของไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่ 1:1 มีการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงมากที่สุด 90.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคืออัตราส่วน 0.5:1.5 มีการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วงเท่ากับ 74.40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ 2:0 ชุดการทดลองที่ไม่ใส่ไบโอชาร์จากกะลามะพร้าว มีการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง 53.03 เปอร์เซ็นต์ เห็นได้ชัดว่าไบโอชาร์จากกะลามะพร้าวมีศักยภาพเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตของต้นมะเขือม่วง

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Ding, Y. L., Liu, J. & Wang, Y. Y. (2013). Effects of biochar on microbial ecology in agriculture soil: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24(11), 3311–3317.
- [2] Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: Science and technology*. Sterling, VA: Earthscan.
- [3] Ren, S., Lei, H., Wang, L., Bu, Q., Chen, S. & Wu, J. (2014). Hydrocarbon and hydrogen-rich syngas production by biomass catalytic pyrolysis and bio-oil upgrading over biochar catalysts. *RSC Advances*, 4(21), 10731–10737. <https://doi.org/10.1039/C4RA00122B>

- [4] Ayodele, A., Oguntunde, P., Joseph, A. & Junior, M. S. D. (2009). Numerical analysis of the impact of charcoal production on soil hydrological behavior, runoff response and erosion susceptibility. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(1), 137–145. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100015>
- [5] Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3), 436–442. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.012>
- [6] Bruun, E.W. (2011). *Application of fast pyrolysis biochar to a loamy soil- effects on carbon and nitrogen dynamics and potential for carbon sequestration* [Doctoral's thesis, Technical University of Denmark]. Technical University of Denmark Library.
- [7] Dittakit, P., Singkham, J., Viriyasuthee, W., & Sangmanee, K. (2023). Properties of biochar from coconut waste and application in agriculture. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 26(1), 52-58. <https://doi.org/10.55164/ajstr.v26i1.247574>
- [8] Jien, S.H. & Wang, C.S. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.06.021>
- [9] Chaichan, W., Chaichan, W. & Chooklin, C.S. (2019). *Production of biochar from agricultural waste for soil improvement*. (Research report). Trang : Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus.

การเพิ่มความแม่นยำต่อการวัดปริมาณการเป็นกรด-เบสด้วยเทคนิค
ประมวลผลภาพบนสมาร์ทโฟน
Increasing Accuracy of pH Measurements by Image Processing
Technique on Smartphones

ศุภลักษณ์ อำลอย^{1,2} และ ปกรณ์ ปรีชาบุรณะ^{1,2*}
Supaluck Amloy^{1,2} and Pakorn Preechaburana^{1,2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นบนกระดาษสำหรับวัดค่าความเป็นกรด-เบส โดยใช้สมาร์ทโฟน เพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความแม่นยำในการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจากการประเมินด้วยสายตาของผู้อ่านค่า ไปเป็นการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพบนสมาร์ทโฟนเพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรด-เบสที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน โดยมีหลักการเริ่มต้นจากการถ่ายภาพด้วยกล้องของสมาร์ทโฟน แล้วทำการแปลงค่าปริภูมิสี RGB ไปเป็นปริภูมิสีมาตรฐาน CIE 1931 ซึ่งเป็นปริภูมิสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายภาพ จากนั้นจึงวิเคราะห์หาสมการปรับเทียบมาตรฐานที่สามารถใช้ระบุค่าความเป็นกรด-เบสจากค่าความเข้มสีได้ ในการทดลองได้ทดสอบกับสารละลายบัฟเฟอร์จำนวน 6 ค่า และวิเคราะห์ค่าสีเพื่อระบุค่าความเป็นกรด-เบสจากสมการปรับเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้น จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสที่วัดได้จากสมาร์ทโฟนมีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐานไม่เกิน 8.7% และมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9841 และ 0.9901 สำหรับ HTC One และ Lenovo K900 ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มความแม่นยำให้กับการอ่านค่าความเป็นกรด-เบสโดยใช้สมาร์ทโฟนให้ใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องวัดมาตรฐานได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารที่สามารถใช้สมาร์ทโฟนหรือ อุปกรณ์ถ่ายภาพในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์ที่แม่นยำขึ้นได้จากการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

คำสำคัญ: ระบบพิกัดสี เทคนิคการตรวจวัดจากการเปลี่ยนแปลงสี การวัดค่าความเป็นกรด-เบส สมาร์ทโฟน

Abstract

This research demonstrates a technique for measuring acid-base (pH) values from the color changes occurring on pH paper using smartphones. The purpose of this research is to increase the accuracy of the pH measurement from the reader's visual evaluation to be close to the values obtained from the standard

¹ผศ. ดร. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

²หน่วยวิจัยด้านนวัตกรรมอุปกรณ์ทางแสงและวัสดุนาโนเพื่อการตรวจวัดทางเคมีและชีววิทยาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

¹Ast. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani, 12120, Thailand

²Thammasat University Research Unit in Innovation of Optical Devices and Nanomaterials for chemical and biological sensing, Thammasat University, Pathum Thani, 12120, Thailand

*Corresponding author: Tel.: 091-4089251. E-mail address: ppakorn@tu.ac.th

(Received: July 12, 2023; Revised: September 15, 2023; Accepted: September 25, 2023)

pH meter by using image processing technique on smartphones. The steps in the experiment are to take the images of pH papers with the smartphones' camera and then to convert the color space of the captured images from RGB to the device independent CIE 1931 standard color space. A calibration equation was constructed to determine the pH values from the color intensities. In the experiment, six buffer solutions were tested and the color values were analyzed to determine the pH values from the generated calibration equation. From the experimental results, it was found that the error of pH values measured by the smartphone was less than 8.7% from the standard pH meter and the correlation coefficients were 0.9841 and 0.9901 for the HTC One and the Lenovo K900, respectively. Thus, the proposed colorimetric technique can increase the accuracy of the pH measurement using smartphones to be close to the values from the standard pH meter. This will be useful in the food industry where smartphones or Imaging equipment are used to increase the accuracy of products' pH values by the image processing techniques.

Keywords: Color Spaces, Colorimetric Technique, pH Measurement, Smartphone

บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันการวัดค่าความเป็นกรด-เบสมีความสำคัญอย่างมากสำหรับกระบวนการผลิตในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารที่ต้องวัดค่าความเป็นกรด-เบสเพื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่าง ๆ สำหรับการหมักอาหารหรือการถนอมอาหาร [1-3] ด้านการเกษตรที่มีการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช [4] ด้านสุขภาพที่ใช้สำหรับการตรวจวัดปริมาณกลูโคสในปัสสาวะ [5-7] และด้านสิ่งแวดล้อมที่ต้องตรวจสอบสารหนูในน้ำดื่ม [8] และการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย [9] จากค่าความเป็นกรด-เบส ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือและวิธีการในการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบสที่รวดเร็วและมีความแม่นยำ โดยวิธีการตรวจวัดที่เป็นมาตรฐานนั้นได้ใช้พีเอชมิเตอร์ (pH Meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลักการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นของขั้วอิเล็กโทรดในสารละลาย แล้วอาศัยความสัมพันธ์ในการระบุค่าความเป็นกรด-เบสได้ ส่วนอีกวิธีที่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถทำการตรวจวัดนอกห้องปฏิบัติการได้ง่ายกว่า นั่นคือการใช้เปลี่ยนสีของตัวอินดิเคเตอร์ทั้งในรูปแบบของสารละลายและกระดาษตรวจวัด ซึ่งใช้หลักการของการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้ผลลัพธ์ของสีที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถบอกความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่างได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการวิเคราะห์ค่าสี [10-12] ที่บ่งชี้ว่าการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์สามารถบ่งบอกค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่างในปฏิกิริยาเคมีได้ โดยอาศัยระบบพิกัดสีต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแหล่งอ้างอิงตามมาตรฐานสากล อย่างไรก็ตามด้วยวิธีการดังกล่าวเพื่อให้การวัดค่าความเป็นกรด-เบสโดยใช้กระดาษทดสอบค่าพีเอช (pH Paper) มีความแม่นยำมากกว่าการเทียบค่าสีของกระดาษกับชาร์ตอ้างอิงด้วยตาเปล่า งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบพิกัดสีมาช่วยเสริมประสิทธิภาพในการวัดซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในการเพิ่มความละเอียดและความแม่นยำในการวัดให้ดียิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำสมาร์ตโฟนมาช่วยในการเพิ่มความแม่นยำในการบอกค่าความเป็นกรด-เบสของกระดาษทดสอบค่าพีเอช ด้วยเทคนิคการตรวจวัดการเปลี่ยนสีของกระดาษที่ถ่ายด้วยกล้องของสมาร์ตโฟน และวิเคราะห์ผลด้วยกระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่าง ทำให้การตรวจวัดค่าสีมีความสะดวก แม่นยำ ง่ายต่อการพกพาและการใช้งานนอกห้องปฏิบัติการได้ รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยที่ต้องการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสี (Colorimetric Sensor) ชนิดอื่น ๆ ในอนาคตได้ [13]

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

1. วัสดุและอุปกรณ์

กระดาษทดสอบความเป็นกรด-เบส ยี่ห้อ Advantec สามารถตรวจวัดความเป็นกรด-เบสได้ในช่วง 0-14 และสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer Solution) ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน 4 7 และ 10 เพื่อใช้สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนสีของกระดาษทดสอบ ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบสจากสารละลายชนิดนี้เป็นค่ามาตรฐานและยังสามารถผสมสารละลายบัฟเฟอร์ด้วยอัตราส่วนที่ต่างกันได้ เพื่อสร้างสารละลายมาตรฐานที่มีค่าความเป็นกรด-เบสแตกต่างกันจำนวน 6 ค่า ได้แก่ 4.06 5.6 6.3 7.1 8.8 และ 9.79 และในงานวิจัยนี้ได้ใช้สมาร์ทโฟน 2 ยี่ห้อ คือ HTC รุ่น One และ Lenovo รุ่น K900 เป็นอุปกรณ์ในการถ่ายภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มสีต่อไป

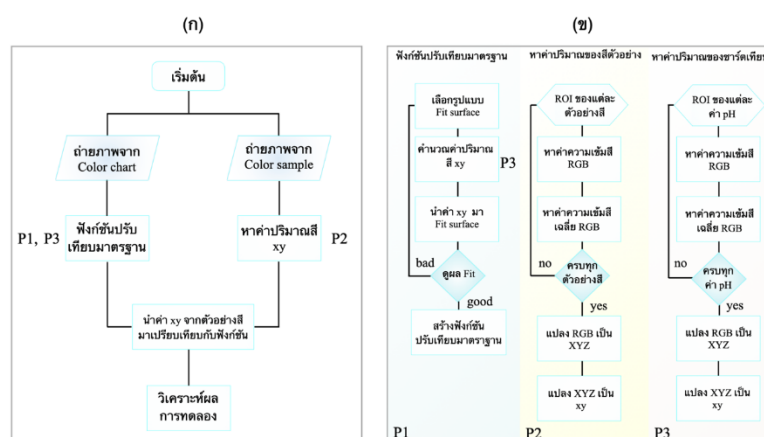
2. วิธีดำเนินการ

2.1 หลักการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองได้คำนึงถึงเงื่อนไขบังคับใน 3 เงื่อนไข คือ (1) การรับข้อมูลสีจากรูปภาพจำเป็นต้องใช้การถ่ายภาพจากสมาร์ทโฟนเท่านั้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ตัวตรวจวัดสีแบบพกพาต่อไปได้ (2) ภาพที่ได้จากการทดลองจะต้องไม่ผ่านการประมวลผลหรือการตกแต่งภาพเพิ่มเติม ในการนำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มสี (Color Intensity) เพื่อไม่ให้ข้อมูลสีจากรูปภาพมีการเปลี่ยนแปลง และ) (3) การควบคุมปัจจัยทั้งหมดที่อาจเข้ามามีผลกระทบในการเก็บข้อมูลสี ได้แก่ แสงในขณะถ่ายภาพ ฟังก์ชันการทำงานของกล้อง ขั้นตอนการเก็บข้อมูลสีของกล้อง และฟังก์ชันการทำงานของสมาร์ทโฟน

การทดลองทั้งหมดได้มีการเลือกใช้สมาร์ทโฟน 2 ยี่ห้อ คือ HTC รุ่น One และ Lenovo รุ่น K900 ซึ่งทั้งสองรุ่นเป็นสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และมีค่าความละเอียดของกล้องถ่ายภาพที่ต่างกันโดยมีค่าความละเอียด 4 MPixels และ 13 MPixels สำหรับ HTC รุ่น One และ Lenovo รุ่น K900 ตามลำดับ ทั้งนี้เหตุผลในการเลือกสมาร์ทโฟนทั้งสองรุ่นนั้นเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความละเอียดของกล้องถ่ายภาพที่อาจมีผลต่อการทดลองในการเพิ่มความแม่นยำของการวัดค่าความเป็นกรด-เบสด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยในขั้นตอนการทดลองได้มีการเลือกใช้แสงจากหลอดไฟในห้องแล็บเป็นแหล่งกำเนิดแสงแวดล้อม (Ambient Light) และควบคุมฟังก์ชันการทำงานของกล้องด้วยการควบคุมไม่ให้มีการปรับแสงสมดุลสีขาวโดยอัตโนมัติ (Auto White Balance หรือ AWB) และการควบคุมไม่ให้มีการปรับค่าความสว่างของภาพโดยอัตโนมัติ (Auto Exposure หรือ AE)

กระบวนการทำงานทั้งหมดในการหาค่าความเข้มสี จนถึงการใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มสีเพื่อหาค่าความเป็นกรด-เบสจากการทดลอง สามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานโดยรวมในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 (ก) แผนผังการทำงานรวมในการทดลอง และ (ข) แผนผังย่อยของการทำงานย่อยจากภาพ (ก)

2.2 การคำนวณหาค่าความเข้มสี

การหาค่าความเข้มสีจากภาพถ่ายด้วยกล้องของสมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 ทำได้โดยการหาค่าความเข้มเฉลี่ยจากช่องสีหลักทั้ง 3 สี คือ ช่องสีแดง (Red Channel หรือ R) ช่องสีเขียว (Green Channel หรือ G) และช่องน้ำเงิน (Blue Channel หรือ B) ของภาพถ่ายตัวอย่าง โดยค่าความเข้มสีหาได้จากการเลือกขอบเขตที่สนใจ (Region of Interest, ROI) ซึ่งจะได้เป็นข้อมูลเมตริกตามขนาดของขอบเขตที่สนใจ ซึ่งข้อมูลแต่ละค่าคือความเข้มสีเฉลี่ยในแต่ละพิกเซลของภาพ

2.3 การแปลงปริภูมิสี (Color Space Conversion)

การแปลงปริภูมิสี (Color Space Conversion) ตามมาตรฐาน CIE 1931 ซึ่งเป็นปริภูมิสีที่ครอบคลุมทุกสีที่สายตาสังเกตของมนุษย์จะมองเห็นได้ โดยในการทดลองได้เลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ x และ y ในการสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการหาค่าความเป็นกรด-เบส เนื่องจากค่าความเข้มสีในปริภูมิสี RGB จะมีค่าขึ้นกับผู้ผลิตสมาร์ทโฟนแต่ละยี่ห้อต่างจากปริภูมิสี CIE 1931 ที่เป็นการแสดงค่าสีมาตรฐานที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามชนิดของอุปกรณ์ ดังนั้นเมื่อถ่ายภาพโดยใช้สมาร์ทโฟนแล้ว จึงต้องหาค่าเฉลี่ยความเข้มของสีจากปริภูมิสี RGB ก่อนแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวแปลงเป็นค่า x และ y ในปริภูมิสีมาตรฐาน CIE 1931 เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้สำหรับการหาความสัมพันธ์ของความเข้มสีกับค่าความเป็นกรด-เบสเพื่อสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานต่อไป

เนื่องจากภาพถ่ายที่ได้จากสมาร์ทโฟนเป็นภาพสีในปริภูมิสี sRGB ซึ่งค่าความเข้มสีมีค่าไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นในขั้นตอนแรกจึงต้องแปลงเป็นค่าความเข้มสีที่เป็นเชิงเส้นก่อน [14] โดยใช้สมการที่ (1)

$$C_{\text{linear}} = \left(\frac{C_{\text{sRGB}} + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ } C_{\text{linear}} = \begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} \text{ และ } C_{\text{sRGB}} = \begin{bmatrix} R_{\text{sRGB}} \\ G_{\text{sRGB}} \\ B_{\text{sRGB}} \end{bmatrix}$$

หลังจากได้ค่าความเข้มสี RGB ที่เป็นเชิงเส้นแล้ว จึงแปลงเป็นค่า X Y และ Z ซึ่งเป็นค่าไตรสติมุลัส (Tristimulus Values) ของปริภูมิสี CIE 1931 [14] ดังสมการที่ (2)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

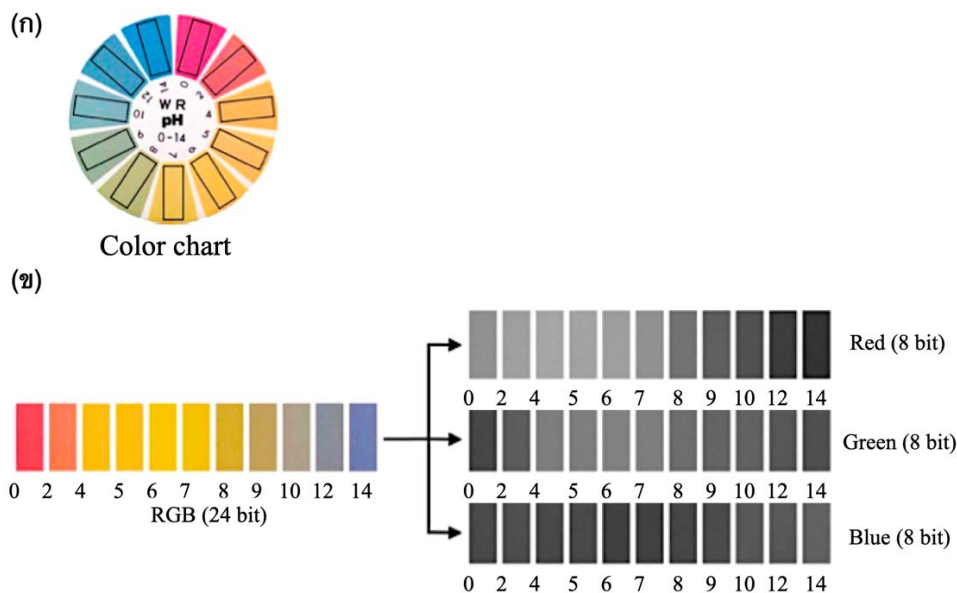
และในขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการหาพารามิเตอร์ x และ y ดังสมการ (3)

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \end{aligned} \quad (3)$$

ผลการวิจัย (Results)

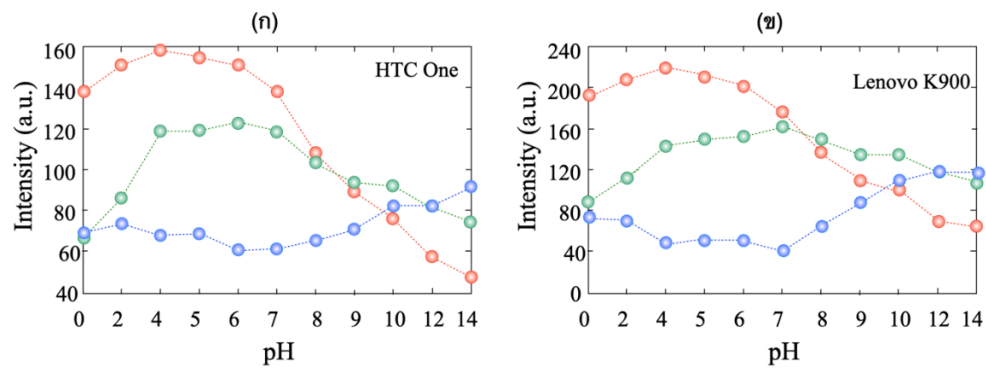
1. การหาสมการเปรียบเทียบมาตรฐาน

ภาพถ่ายที่ได้จากการใช้กล้องของสมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 สำหรับหาความเข้มสีในปริภูมิสี RGB ซึ่งโดยปกติกล้องจะทำงานโดยการคำนวณค่าสีโดยอาศัยการกรองแสงที่สะท้อนกับวัตถุผ่านฟิลเตอร์แต่ละตัว หลังจากนั้นจึงนำค่าความเข้มสีที่ได้มาผสมกันเกิดเป็นสีใน 1 พิกเซล ซึ่งในแต่ละพิกเซลของภาพจะมีค่าความเข้ม RGB ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ในอัตราส่วนต่าง ๆ ผสมกันทำให้เห็นสี ดังนั้นสำหรับการคำนวณค่าความเข้มสีจะต้องหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลในบริเวณที่เราสนใจ โดยในการทดลองได้ถ่ายภาพตารางสี (Color Chart) จากบรรจุภัณฑ์ของผู้ผลิตกระดาษพีเอชสำหรับใช้ในการอ่านค่าความเป็นกรด-เบสจากการเปลี่ยนแปลงสีของกระดาษดังภาพที่ 2 (ก) จากนั้นจึงหาค่าความเข้มเฉลี่ยของสีหลัก RGB จากในบริเวณขอบเขตที่สนใจ (กรอบสี่เหลี่ยมสีดำในภาพที่ 2(ก)) ได้ผลการทดลองเป็นค่าความเข้มสีเฉลี่ยซึ่งถูกแยกออกเป็นค่าความเข้มสีในช่องสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามค่าความเป็นกรด-เบสตามที่ได้ทำการเปรียบเทียบไว้ตั้งแต่ 0-14 ดังผลการทดลองในภาพที่ 2(ข)

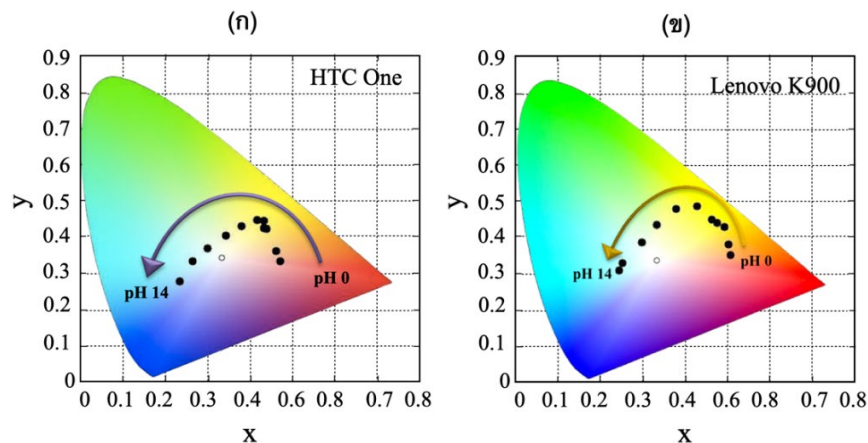


ภาพที่ 2 (ก) ตารางสีสำหรับค่าความเป็นกรด-เบสอ้างอิง โดยสร้างกรอบสี่เหลี่ยมสีดำสำหรับบริเวณที่สนใจนำข้อมูลไปคำนวณค่าความเข้มสีเฉลี่ยของแต่ละค่าความเป็นกรด-เบสตั้งแต่ 0-14 (ข) ภาพแสดงการแยกความเข้มของสีสำหรับช่องสีแดง เขียว และ น้ำเงิน

จากผลการหาค่าเฉลี่ยความเข้มสีในแต่ละค่าความเป็นกรด-เบสของชาร์ตสีอ้างอิง สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสกับความเข้มสีโดยใช้สมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 ได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าผลของค่าความเข้มสีในแต่ละช่องสีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียว มีความแตกต่างกันระหว่างสมาร์ทโฟนทั้งสองเครื่องทั้งที่ได้มีการควบคุมค่าความสว่างของแสงพื้นหลังในขณะที่ถ่ายภาพ และมีการควบคุมไม่ให้มีการปรับแสงสมดุลสีขาวโดยอัตโนมัติ (Auto White Balance Lock) หรือ AWB-L และการควบคุมไม่ให้มีการปรับค่าความสว่างของภาพโดยอัตโนมัติ (Auto Exposure Lock) หรือ AE-L ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแปลงค่าความเข้มสีไปเป็นปริภูมิสี CIE 1931 ที่เป็นมาตรฐานไม่เปลี่ยนแปลงตามอุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ในการทดลอง

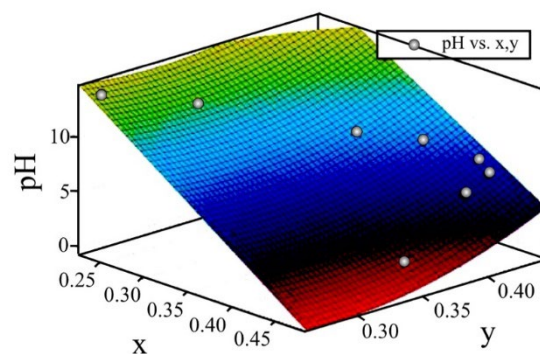


ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบส (pH) กับค่าความเข้มของสีของแต่ละช่องสี ซึ่งถ่ายด้วยของสมาร์ทโฟนยี่ห้อ (ก) HTC One และ (ข) Lenovo K900



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ x และ y ในปริภูมิสี CIE 1931 และค่าความเป็นกรด-เบส ซึ่งถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟน (ก) HTC One และ (ข) Lenovo K900

ในขั้นตอนการสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐาน (Standard Calibration Equation) สำหรับการหาค่าความเป็นกรด-เบส จากการอ่านค่าความเข้มสีซึ่งได้แปลงปริภูมิสีจากปริภูมิสี RGB ไปเป็นปริภูมิสี CIE 1931 (พารามิเตอร์ x และ y) ได้ผลการทดลองจากการใช้สมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 ดังภาพที่ 4 จากนั้นจึงสร้างกราฟ 3 มิติ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ x และ y กับค่าความเป็นกรด-เบส แล้วจึงทำการฟิต (Fit) ข้อมูลโดยใช้การฟิตแบบพื้นผิว (Surface Fit) ดังแสดงในภาพที่ 5 เนื่องจากการกำหนดพื้นที่ของฟังก์ชันในการเทียบข้อมูลด้วยตัวแปรที่ได้จากชาร์ตอ้างอิงสีเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะหาค่าความเป็นกรด-เบสได้ เพราะค่าที่ได้จากการทดลองอาจมีค่าที่เกินขอบเขตของพื้นที่ที่ได้จากตัวแปรของชาร์ตอ้างอิงสี จึงจำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันของพื้นที่กราฟแทนตัวแปรจากชาร์ตอ้างอิงดังกล่าว



ภาพที่ 5 กราฟ 3 มิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ x และ y และค่าความเป็นกรด-เบส และแสดงการฟิตแบบพื้นผิวเพื่อสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการหาค่าความเป็นกรด-เบส

จากผลการฟิตกราฟพื้นที่เพื่อสร้างสมการเปรียบเทียบมาตรฐานในการหาค่าความเป็นกรด-เบสจากการถ่ายภาพด้วย
สมาร์โฟนดังภาพที่ 5 ได้สมการเปรียบเทียบมาตรฐานดังสมการที่ (4)

$$pH = p_{00} + p_{10} * x + p_{01} * y + p_{11} * x * y + p_{02} * y^2 \quad (4)$$

เมื่อ pH คือ ค่าความเป็นกรด-เบส

p_{00} p_{10} p_{01} p_{11} และ p_{02} คือ พารามิเตอร์ที่ได้จากการฟิตแบบพื้นที่

x และ y คือ พารามิเตอร์ของปริภูมิสี CIE 1931

2. ผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของสารบัฟเฟอร์มาตรฐาน

เมื่อได้สมการเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับการหาค่าความเป็นกรด-เบส ดังสมการที่ (4) แล้วจึงทำการทดลองหาค่า
ความเป็นกรด-เบสของสารบัฟเฟอร์มาตรฐานจำนวน 6 ค่า โดยใช้การถ่ายภาพด้วยสมาร์โฟน HTC One และ Lenovo
K900 จากนั้นทำการแปลงปริภูมิสี RGB ไปเป็น CIE 1931 ตามสมการ (1) ถึงสมการที่ (3) จนได้พารามิเตอร์ x และ y ของแต่ละ
สารบัฟเฟอร์ แล้วนำค่า x และ y ที่ได้แทนลงในสมการเปรียบเทียบมาตรฐาน (สมการที่ (4)) จึงทราบค่าความเป็นกรด-เบส
ซึ่งได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองกับเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน (Denvor Instrument) ดังแสดงในตารางที่ 1
และตารางที่ 2 สำหรับสมาร์โฟน HTC One และ Lenovo K900 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจากการถ่ายภาพด้วยสมาร์โฟน HTC One เทียบกับค่ามาตรฐาน

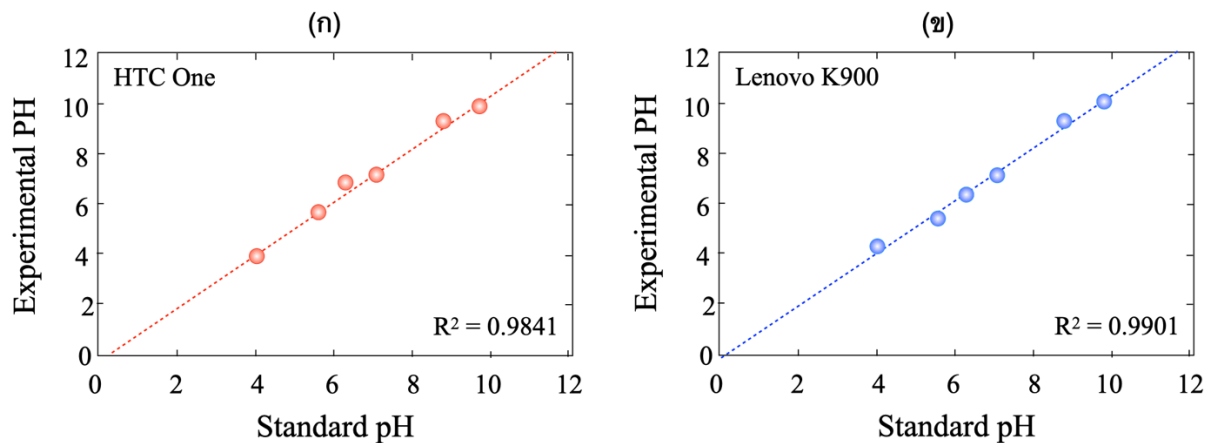
ค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน	ค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้จากการทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
4.06	3.82	5.9
5.60	5.63	0.5
6.30	6.85	8.7
7.10	7.15	0.7
8.80	9.28	5.5
9.79	9.80	0.1

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจากการถ่ายภาพด้วยสมาร์โฟน Lenovo K900 เทียบกับค่ามาตรฐาน

ค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน	ค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้จากการทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
4.06	4.34	6.9
5.60	5.39	3.8
6.30	6.31	0.2
7.10	7.14	0.6
8.80	9.28	5.5
9.79	10.04	2.6

นอกจากนี้ได้แสดงผลการทดลองโดยสร้างกราฟสหสัมพันธ์ (Correlation Graph) ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสที่
ได้จากสมาร์โฟนและเครื่องวัดมาตรฐานดังภาพที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจาก
การถ่ายภาพด้วยสมาร์โฟนกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าระหว่างสมาร์โฟน HTC One

และ Lenovo K900 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9841 และ 0.9901 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นผลจากการใช้ชิป CMOS ในการถ่ายภาพที่ต่างกันระหว่างสองสมาร์ทโฟน รวมถึงการตั้งค่าความเข้มสี RGB พื้นฐานในการถ่ายภาพที่แตกต่างกันในแต่ละผู้ผลิตด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบมาตรฐานใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนสมาร์ทโฟน ทั้งนี้ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 8.7% สำหรับสมาร์ทโฟน HTC One และ 6.9% เปอร์เซ็นต์สำหรับสมาร์ทโฟน Lenovo K900 โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสมาร์ทโฟน Lenovo K900 มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าและมีค่าสหสัมพันธ์ที่ดีกว่าสมาร์ทโฟน HTC One ซึ่งคาดว่ามาจากประสิทธิภาพของกล้องถ่ายภาพของ Lenovo K900 ที่ดีกว่าโดยมีค่าความละเอียดของกล้องมากกว่าถึง 3 เท่า



ภาพที่ 6 กราฟสหสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสที่ใช้การถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟน (ก) HTC One และ (ข) Lenovo K900 เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน



ภาพที่ 7 ภาพถ่ายชาร์ตอ้างอิงที่ถ่ายด้วยสมาร์ทโฟน (ก) HTC One ที่เปิดใช้ฟังก์ชัน AWB-L และ AE-L (ข) Lenovo K900 ที่เปิดใช้เฉพาะฟังก์ชัน AE-L

การอภิปรายผล (Discussion)

ในขั้นตอนการถ่ายภาพจำเป็นต้องมีการควบคุมการปรับค่าแสงสมดุลสีขาวโดยอัตโนมัติและควบคุมการปรับค่าความสว่างของภาพโดยอัตโนมัติด้วย เพื่อให้ค่าความเข้มสีของชาร์ตอ้างอิงที่ถ่ายจากสมาร์ทโฟนตรงกับชาร์ตอ้างอิง หรือกล่าวได้ว่าเพื่อไม่ให้ค่าสีที่ได้เกิดการเพี้ยนจากสีจริงของชาร์ตอ้างอิงดังที่แสดงได้ในภาพที่ 7 จากภาพจะเห็นได้ว่าภาพที่ถ่ายจากกล้อง HTC One โดยการเปิดใช้ฟังก์ชัน AWB-L และ AE-L กับภาพที่ถ่ายจาก Lenovo K900 ที่เปิดใช้ฟังก์ชัน AE-L เพียงอย่างเดียว มีความแตกต่างกันของการแสดงค่าสี ซึ่งจะส่งผลต่อการคำนวณหาค่าโครมาติซิตี x และ y แล้วทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนขึ้นในผลการทดลอง นอกจากนี้สามารถเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบสโดยอาศัยการสร้างชาร์ตอ้างอิงสีจากกระดาษพีเอชด้วยการถ่ายภาพจากการเปลี่ยนสีของกระดาษที่จุ่มลงในสารละลายมาตรฐานแทนการใช้ชาร์ตอ้างอิงจากบรรจุภัณฑ์ที่มาจากผู้ผลิต โดยอาจจะช่วยลดค่าการเพี้ยนของสีจากขั้นตอนการพิมพ์ลงบนบรรจุภัณฑ์ได้

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่างโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าสีจากภาพถ่ายด้วยสมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 และอาศัยการแปลงปริภูมิสี RGB ไปเป็นปริภูมิสี CIE 1931 ที่เป็นมาตรฐานไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ ในการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจำเป็นต้องสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานเพื่อระบุค่าความเป็นกรด-เบสจากค่าสีที่ถ่ายได้จากกระดาษทดสอบ จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสที่วิเคราะห์จากสารตัวอย่างมาตรฐานจำนวน 6 ค่า ที่ใช้ สมาร์ทโฟน HTC One ในการถ่ายภาพมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 8.7\%$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการเปรียบเทียบ เทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.9841 ส่วนการทดลองของสมาร์ทโฟน Lenovo K900 ได้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 6.9\%$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9901 จากผลการทดลองโดยใช้สมาร์ทโฟนทั้งสองเครื่องพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน แสดงว่ากระบวนการใช้ปริภูมิสี CIE 1931 สำหรับการสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบส สามารถให้สมการที่เหมาะสมกับการใช้งานในสมาร์ทโฟนต่างผู้ผลิตได้ แต่ขั้นตอนการทดลองต้องควบคุมไม่ให้มีการปรับค่าแสงสมดุลสีขาวโดยอัตโนมัติ และควบคุมไม่ให้มีการปรับค่าความสว่างของภาพโดยอัตโนมัติด้วย รวมถึงควบคุมความสว่างของสิ่งแวดล้อมขณะที่ทำการทดลองด้วย ดังนั้นในการนำวิธีการนี้ไปใช้นอกห้องปฏิบัติการเพื่อทำการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบสในสถานการณ์จริง จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบอุปกรณ์เสริมที่เป็นกล่องควบคุมความสว่างของแสงในกล่องให้คงที่ทุกการถ่ายภาพ เพื่อตัดผลกระทบของความสว่างของภาพที่แตกต่างกันซึ่งจะส่งผลต่อค่าความเข้มสีที่เปลี่ยนแปลงในแต่สิ่งแวดล้อมขณะที่ทำการทดลอง

นอกจากนี้จากหลักการวิเคราะห์ค่าสีสำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้นำเสนอในรายงานวิจัยนี้ สามารถประยุกต์ไปใช้ในการตรวจสอบค่าอื่นได้ เช่น ค่าระดับน้ำตาลกลูโคส ค่าคีโตน และค่าโปรตีนในปัสสาวะ โดยใช้การอ่านค่าสีจากกระดาษทดสอบได้ โดยการสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานใหม่สำหรับพารามิเตอร์อื่นที่ต้องการตรวจวัด หรือจะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายจากการตรวจวัดค่าสีที่เปลี่ยนแปลง ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดทางเคมี เครื่องมือตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์ และเครื่องมือตรวจวิเคราะห์ทางการเกษตรและทางด้านสิ่งแวดล้อมที่อาศัยการตรวจวัดการเปลี่ยนสีบนสมาร์ทโฟนได้

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Kuswandi, B., Jayus, Larasati, T.S., Absullah, A. & Heng, L.Y., (2012). Real-time monitoring of shrimp spoilage using on-packaging sticker sensor-based on natural dye of curcumin. *Food Analytical Methods*. 5(4), 881-889. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9326-x>
- [2] Kiryukhin, M.V., Lau, H.H., Gob, S.H., Teh, C., Korzh, V. & Sadovoy, A. (2018). A membrane film sensor with encapsulated fluorescent dyes towards express freshness monitoring of packaged food. *Talanta*. 182, 187-192. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.01.085>
- [3] Ahmad, N.A., Heng, L.Y., Salam, F., Zaid, M.H.M. & Hanifar, H.A., (2019). A colorimetric pH sensor based on *Clitoria* sp and *Brassica* sp for monitoring of food spoilage using chromametry. *Sensors*. 19(21), 4813. <https://doi.org/10.3390/s19214813>
- [4] Rudolph, N., Voss, S., Moradi, A.B., Nagl, S. & Oswald, S.E., (2013). Spatio-temporal mapping of local soil pH changes induced by roots of lupin and soft-rush. *Plant and Soil*. 369, 669-680. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1775-0>

- [5] Zhu, Y., Zhang, J., Song, J., Yang, J., Du, Z., Zhao, W., Guo, H., Wen, C., Li, Q., Sui, X. & Zhang, L. (2020). A multifunctional pro-healing zwitterionic hydrogel for simultaneous optical monitoring of pH and glucose in diabetic wound treatment. *Advanced Functional Materials*. 30(6), 1905493. <https://doi.org/10.1002/adfm.201905493>
- [6] Ngo, Y.L.T., Nguyen, P.L., Jana, J., Choi, W.M., Chung, J.S. & Hur, S.H., (2021) Simple paper-based colorimetric and fluorescent glucose using N-doped carbon dots and metal oxide hybrid structures. *Analytica Chimica Acta*. 1147, 187-198. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.11.023>.
- [7] Zhao, W., Zhang, G., Du, Y., Shen, S., Fu, Y., Xu, F., Xiao, X., Jiang, W. & Ji, Q., (2021). Sensitive colorimetric glucose sensor by iron-based nanzymes with controllable Fe valence. *Journal of Material Chemistry B*. 9, 4726-4734. <https://doi.org/10.1039/D1TB00370D>
- [8] de Mora, K., Joshi, N., Balint, B.L., Ward, F.B., Elfick, A. & French, C.E. (2011). A pH-based biosensor for detection of arsenic in drinking water. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 400(4), 1031-1039. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-4815-8>
- [9] Courbat, J., Briand, D., Damon-Lacoste, J., Wollenstein, J. & de Rooij, N.F. (2009). Evaluation of pH indicator-based colorimetric films for ammonia detection using optical waveguides. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 143(1), 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.08.049>
- [10] Martinez, A.W., Phillips, S.T., Butte, M.J. & Whitesides, G.M. (2007). Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays. *Angewandte Chemie*. 46(8), 1318-1320. <https://doi.org/10.1002/anie.200603817>
- [11] Bruzewicz, D.A., Reches, M. & Whitesides, G.M. (2008). Low-cost printing of poly (dimethylsiloxane) barriers to define microchannels in paper. *Analytical Chemistry*. 80(9), 3387-3392. <https://doi.org/10.1021/ac702605a>
- [12] Lee, D.-S., Jeon, B.G., Ihm, C., Park, J.-K. & Jung M.Y. (2011). A simple and smart telemedicine device for developing regions: a pocket-sized colorimetric reader, *Lab on a Chip*. 11(1), 120-126. <https://doi.org/10.1039/c0lc00209g>
- [13] Shen, L., Hagen, J.A. & Papautsky, I. (2012). Point-of-care colorimetric detection with a smartphone. *Lab on a Chip*. 12(21), 4240-4243. <https://doi.org/10.1039/c2lc40741h>
- [14] Nassau, K. (1998). *Color for science, art, and technology*. (Vol. 1). North-Holland. <https://scis.uohyd.ac.in/~chakcs/cipclass/lects/ColourForTechnology.pdf>

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

หน้า

กนกวรรณ ลิ้มเจริญ	Kanocwan Limchareon	21
กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์	Kattinat Sagulsawasdipan	42
เกียรติศักดิ์ รัตนติลก ณ ภูเก็ต	Kiattisak Rattanadilok Na Phuket	33
จรีรัตน์ มงคลศิริวัฒนา	Chareerat Mongkolsirawatana	21
จุฑามาส พรหมใจมั่น	Juthama Promchaiman	8
ฉานิกา แซ่แซ่ ชูกลิ้น	Chanika Saenge Chooklin	42
ทศนี ศรีมาชัย	Tussanee Srimachai	33
ธันนยา นิหารเจริญ	Thananya Nicharoen	1
นฤทธิ์ กล่อมพงศ์	Narit Klompong	42
ปกรณ์ ปรีชาบุรณะ	Pakorn Preechaburana	53
ปรียา มณีประเสริฐ	Pariya Maneeprasert	21
พนิตา กังซุ่น	Panita Kongsune	1
ภารดร แก้วสุวรรณ	Paradon Kaewsuwan	1
ภาวินี ตกจินตอง	Pawinee Tokjeentong	42
รัชรัฐ บุญสุขขัง	Rutcharat Bunsukkhang	1
วรางคณา เพ็ชรแก้ว	Warankana Pechkaw	42
วสินี พูลสวัสดิ์	Wasinee Poonsawat	21
ศศิวิมล พรหมศิริ	Sasiwimon Promkere	42
ศุภลักษณ์ อำลอย	Supaluck Amloy	53

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
กระท่อม	1
กากน้ำตาล	33
การจัดการตนเอง	8
การเจริญเติบโต	42
การผลิตก๊าซชีวภาพ	33
การย่อยสลายแบบไร้อากาศ	33
การวัดค่าความเป็นกรด-เบส	53
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	22
เทคนิคการตรวจวัดจากการเปลี่ยนแปลงสี	53
น้ำกากส่า	33
เบาหวาน	1
ไบโอชาร์	42
ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2	8
ยีน OsPLR3	22
ระบบพิกัดสี	53
ลิคแนน	22
วัสดุปรับปรุงดิน	42
สมาร์ทโฟน	53
สารสกัดหยาบ	1
ออกกำลังกายชนิดต้านยางยืด	8
อะคาร์โบส	1
เอนไซม์ Pinoresinol-lariciresinol Reductase (PLR)	22
แอลฟากลูโคซิเดส	1
ฮีโมโกลบินเอวันซี	8

Keywords Index	Page
Acarbose	2
Anaerobic Co-digestion	34
Biochar	43
Biogas Production	34
Color Spaces	54
Colorimetric Technique	54
Crude Extract	2
Diabetes Mellitus	2
Distillery Wastewater	34
Growth	43
Hemoglobin A1C	9
Lignan	22
Mitragyna speciosa	2
Molasses	34
OsPLR3 Gene	22
Patient with Type 2 Diabetes	9
pH Measurement	54
Pinoresinol - lariciresinol Reductase (PLR) Enzyme	22
Resistance Band Exercise	9
Riceberry	22
Self-management	9
Smartphone	54
Soil Amendment	43
α -glucosidase	2

ข้อมูลทั่วไปของวารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรม

ลักษณะของวารสาร

วารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรม เป็นวารสารที่รวบรวมและเผยแพร่ผลงานวิจัย/และผลงานวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งครอบคลุมศาสตร์ทางเกษตรศาสตร์และวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Agricultural and Biological Science) เคมี (Chemistry) ฟิสิกส์และดาราศาสตร์ (Physics and Astronomy) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) หรือสหสาขาวิชา (Multidisciplinary) ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของบุคลากร นักวิจัยในมหาวิทยาลัยทักษิณและหน่วยงานต่าง ๆ

ข้อแนะนำทั่วไป

1. เรื่องที่รับพิมพ์ในวารสารวิจัยนี้ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสาร รายงานหรือสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน
2. ผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนี้อาจจะเป็นหรือไม่ต้องเป็นสมาชิกของวารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรมก็ได้
3. ต้นฉบับจะเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และต้องมีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น
4. เนื้อหา บทความ หรือข้อคิดเห็นที่พิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย
5. ต้นฉบับจะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์ อย่างน้อย 3 ท่านต่อบทความ

ประเภทของผลงานที่จะรับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Articles)
2. บทความวิชาการ (Academic Articles)
3. จดหมายถึงบรรณาธิการ (Letter to Editor) เพื่อแสดงความคิดเห็นสนับสนุนหรือโต้แย้งความเห็นของนักวิจัย
4. อื่น ๆ ตลอดจนการเผยแพร่ความรู้และประสบการณ์ที่น่าสนใจ

รูปแบบการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์บนกระดาษขาว ขนาด A4 พิมพ์หน้าเดียว ใส่เลขหน้ากำกับหน้าทุกหน้า โดยใช้แบบอักษร TH SarabunPSK ขนาดตัวอักษร 14 ความยาวของเนื้อหา รวมภาพและตาราง ไม่ควรเกิน 9 - 10 หน้า
2. การตั้งค่าหน้ากระดาษ
 - ระยะขอบบน (Top margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
 - ระยะขอบล่าง (Bottom margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
 - ระยะขอบซ้าย (Left margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
 - ระยะขอบขวา (Right margin) ขนาด 1" หรือ 2.54 เซนติเมตร
3. การส่งต้นฉบับ ดังนี้ ส่งทางระบบวารสารออนไลน์ Thai Journals Online (ThaiJO2) สามารถเข้าไปได้ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JGRDI>

4. การชำระค่าลงตีพิมพ์บทความมีรายละเอียดและขั้นตอนดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 บุคคลทั่วไป ที่ไม่ประสงค์ส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ สามารถสมัครเป็นสมาชิกของวารสารได้เลย แบ่งสมาชิกออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

ประเภทบุคคล จำนวน 200 บาทต่อปี

ประเภทสถาบัน/หน่วยงาน จำนวน 500 บาทต่อปี

กรณีที่ 2 บุคคลที่ต้องการส่งบทความเพื่อขอรับการพิจารณาบทความลงตีพิมพ์ในวารสาร เมื่อบทความได้รับการพิจารณาให้ลงตีพิมพ์แล้ว จะต้องจ่ายค่าลงตีพิมพ์บทความ จำนวน 2,000 บาท ต่อบทความ

หากประสงค์จะสมัครสมาชิกด้วยต้องจ่ายเพิ่มอีก จำนวน 200 บาทต่อปีผ่านบัญชีออมทรัพย์ เลขที่บัญชี 691-236609-3 ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยทักษิณ ธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด

สาขาสงขลา พร้อมแนบหลักฐานการโอนเงินมายังกองบรรณาธิการวารสารบัณฑิตวิทย์ พัฒนาและนวัตกรรมทางระบบออนไลน์ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JGRDI> หรือติดต่อกองจัดการวารสารบัณฑิตวิทย์ พัฒนาและนวัตกรรม สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 140 หมู่ 4 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 อาคาร 50 ปี วศ. มทว. มทช. ชั้น 3 โทรศัพท์ 074-317655 โทรสาร 074-317656 E-mail: jgrdijournal@gmail.com

5. การยกเลิกบทความ หรือ การถอนบทความ มีรายละเอียดดังนี้

การยกเลิกบทความ คือ การเพิกถอนบทความก่อนที่จะมีการตีพิมพ์เผยแพร่

การถอนบทความ คือ การถอนบทความที่ดำเนินการตีพิมพ์และเผยแพร่เรียบร้อยแล้ว

ในกรณี การยกเลิกหรือการถอนบทความ สามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มได้ใน <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JGRDI> และหากมีการส่งบทความที่มีการยกเลิกและถอนบทความให้

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความแล้วเจ้าของบทความต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าตอบแทน
ผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความดังกล่าวนี้

รายละเอียดการเตรียมต้นฉบับ

บทความวิจัยให้เรียงลำดับตามองค์ประกอบดังนี้

1. **ชื่อเรื่อง (Title)** ต้องมีทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษ และจัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ชื่อภาษาอังกฤษ อักษรตัวแรกของทุกคำให้พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และให้ใช้แบบอักษร THSarabunPSK ขนาดตัวอักษร 20 ตัวหนา (Bold)

2. **ชื่อผู้เขียน (Authors)** ครบทุกคน และให้ใช้แบบอักษร THSarabunPSK ขนาดตัวอักษร 14 ตัวปกติ และให้จัดอยู่กึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้กำกับหมายเลขยกกำลังไว้ต่อท้ายด้วย สำหรับชื่อตำแหน่งหรือตำแหน่งวิชาการและหน่วยงานให้พิมพ์ไว้ในส่วนของเชิงอรรถ (หน้าที่ 1) โดยพิมพ์ชื่อหน่วยงานต้นสังกัดระดับภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย หรือจากงานย่อยถึงระดับสูงให้ตรงกับตัวเลขยกกำลังที่กำกับไว้ในหน้าเดียวกันทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

3. **บทคัดย่อ และ Abstract** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกิน 200 คำ และให้ใช้แบบอักษร THSarabunPSK ขนาดตัวอักษร 14 ตัวปกติ

4. **คำสำคัญ (Keywords)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้เลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความไม่เกิน 5 คำ โดยพิมพ์ต่อจากส่วนเนื้อหาของบทคัดย่อ และ Abstract ให้ใช้แบบอักษร THSarabunPSK ขนาดตัวอักษร 14 ตัวปกติ และให้จัดชิดซ้ายของหน้ากระดาษ Keywords ให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ

5. เนื้อเรื่อง (Main Body) ประกอบด้วยหัวข้อดังนี้

- 1) บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยและอาจริรวมการสำรวจเอกสาร (Review of Related Literatures)
- 2) วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)
- 3) ผลการวิจัย (Results)
- 4) อภิปรายผล (Discussion)
- 5) สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

* 4) และ 5) อาจเขียนรวมกันได้

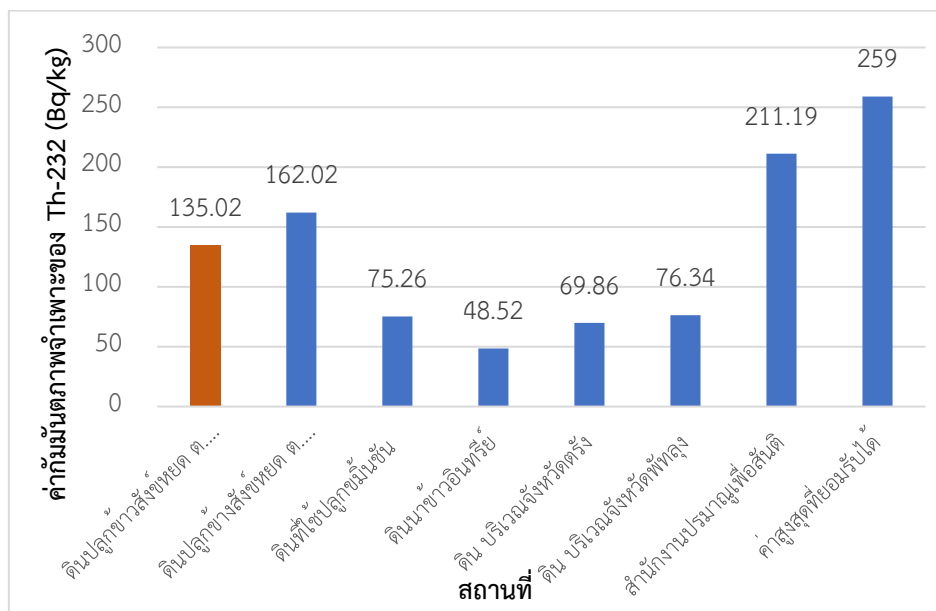
- 6) เอกสารอ้างอิง (References) ใช้การอ้างอิงแบบ APA 7th Edition และต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น

6. **แบบเอกสาร** แสดงการได้รับอนุญาตให้ทดลองที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางชีวภาพ จรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลอง หรือจริยธรรมของการทดลองในมนุษย์มาพร้อมกับบทความวิจัย

7. **การใช้คำย่อ สัญลักษณ์** คำย่อที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำเต็มเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นสามารถใช้คำย่อเหล่านั้นได้ตามปกติ ควรใช้ให้เหมาะสม หลีกเลี่ยงการใช้คำย่อที่ชื่อเรื่องและในบทคัดย่อ ไม่แนะนำให้ใช้คำย่อที่ใช้ไม่เกิน 4 ครั้ง ใน 1 บทความ สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทความจะต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบายเมื่อปรากฏเป็นครั้งแรกในบทความ หลังจากนั้นไม่จำเป็นต้องมีคำจำกัดความหรือคำอธิบาย

8. **รูปภาพ** จัดกึ่งกลาง คำบรรยายรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพใช้แบบอักษร THSarabunPSK ขนาดตัวอักษร 14 ตัวปกติ ควรเป็นภาพถ่ายขาว-ดำที่ชัดเจน นอกจากจำเป็นจึงควรใช้ภาพสี คำบรรยายใต้ภาพใช้คำว่า **ภาพที่** เป็นตัวหนา และคำบรรยายเป็นตัวอักษรปกติ และจัดกลางหน้ากระดาษ พร้อมแนบไฟล์รูปภาพด้วย ถ้ามีภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาว โดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

ตัวอย่างเช่น



ภาพที่ 1 การเปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ ^{232}Th ในตัวอย่างดินที่ใช้ปลูกข้าวสังข์หยดอินทรีย์ที่เก็บจากบริเวณตำบลนาปะขอ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุงกับข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ

9. ตาราง ถ้ามีตารางควรจัดให้เต็มหน้ากระดาษหรือจัดให้อยู่ตรงกลางของหน้ากระดาษ ใช้คำบรรยายบนตารางคำว่า ตารางที่ เป็นตัวหนา และจัดชิดขอบซ้าย จัดข้อความในตารางให้อยู่กึ่งกลางของคอลัมน์ ข้อความในหัวตารางของแต่ละคอลัมน์ ใช้แบบอักษร THSarabunPSK ขนาดอักษร 14 ตัวหนา และข้อมูลในตารางอื่นๆ ใช้แบบอักษร THSarabunPSK ขนาดตัวอักษร 14 ตัวปกติ ส่วนเส้นตารางปรับให้มีแต่เฉพาะเส้นแนวนอนบริเวณหัวตารางและท้ายตารางเท่านั้น

ตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในซากพืชส่วนใบที่เหลือจากการย่อยสลายในระยะต่างๆ

สัปดาห์ที่	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)
0	0.81 ± 0.15	0.12 ± 0.08	0.44 ± 0.14
1	1.00 ± 0.05	0.09 ± 0.05	0.24 ± 0.12
2	0.89 ± 0.15	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
3	0.83 ± 0.14	0.17 ± 0.08	0.08 ± 0.02
4	0.78 ± 0.15	0.24 ± 0.24	0.09 ± 0.01
6	0.87 ± 0.11	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
8	0.84 ± 0.04	0.20 ± 0.13	0.09 ± 0.02
10	0.84 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.08 ± 0.02
12	0.80 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.07 ± 0.02

ถ้าเป็นภาพวาดลายเส้นให้วาดบนกระดาษขาวโดยใช้หมึกดำให้สะอาดและลายเส้นคมชัด

การอ้างอิง (References) แบบตัวเลข (Numeric) ต้องใช้ภาษาอังกฤษเท่านั้น

การอ้างอิงแบบตัวเลข ใช้วิธีการดังนี้

1. ใส่ตัวเลขกำกับไว้ในเครื่องหมาย [] ท้ายข้อความหรือชื่อบุคคลที่อ้างอิง โดยให้ตัวเลขอยู่ในระดับบรรทัดเดียวกับกับเนื้อหา เช่น [1]

2. ให้ใส่ตัวเลขอ้างอิงเรียงลำดับตั้งแต่เลข 1 เป็นต้นไป ต่อเนื่องกัน และในกรณีที่มี การอ้างอิงซ้ำให้ใช้ตัวเลขเดิมที่เคยใช้อ้างมาก่อนแล้ว

3. แหล่งที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดในบทความจะไปปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิง (References) ท้ายบทความ โดยการเรียงลำดับตามหมายเลข และพิมพ์หมายเลขอยู่ในเครื่องหมาย []

4. กรณีที่อ้างอิงเอกสารหลายรายการในคราวเดียวกัน

4.1 อ้างอิงไม่เกิน 2 รายการให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น เช่น [1, 5]

4.2 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการที่ต่อเนื่องกันให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่น เช่น [1-3] หรือ [1-5]

4.3 อ้างอิงเกิน 2 รายการและเป็นรายการทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ให้ใส่หมายเลขของเอกสารที่อ้างเรียงลำดับโดยใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นในกรณีไม่ต่อเนื่อง และเครื่องหมายยัติภังค์ (-) คั่นในกรณีต่อเนื่อง เช่น [1, 4-5]

การอ้างอิงในเนื้อเรื่องแบบตัวเลข (Numeric)

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ใช้ระบบตัวเลขอยู่ในวงเล็บ “[]” หลังข้อความที่อ้างถึง โดยตัวเลขดังกล่าวเรียงตามลำดับการอ้างอิง

ตัวอย่าง

1. การใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยเชิงเดี่ยวบางชนิดนานและมากเกินไปผลทำให้ธาตุอาหารพืชบางชนิดขาดแคลน [1]...
2. Scherer [2] รายงานว่า...
3. และยังทำให้สมดุลของธาตุอาหารพืชในดินเสียไปด้วย [3-4]...

การอ้างอิงในท้ายเรื่องเอกสารอ้างอิงใช้แบบ APA 7th Edition

ภาษาต่างประเทศ คนแรกให้ขึ้นด้วยนามสกุล, ตามด้วยอักษรย่อของชื่อหน้า ชื่อกลาง (ถ้ามี) คนถัดไปจะเขียนระบบเดียวกับคนแรก และต้องเหมือนกันทุกรายการ เช่น

ประสงค์ เกษราธิคุณ นิคม ชูศิริ และฤทัยรัตน์ บุญครองชีพ
Kessaratikoon, P., Choosiri, N., & Boonkrongcheep, R.

1) หนังสือ

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีพิมพ์)/**ชื่อหนังสือ**/(พิมพ์ครั้งที่)/สำนักพิมพ์./URL (ถ้ามี)

ตัวอย่าง

- [1] Satirajinda, M. (2000). *Iron & steel heat treatment engineering* (7th ed.). The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage.
- [2] Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. Pearson Education, Inc.,

2) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีเลข DOI

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีพิมพ์)/**ชื่อหนังสือ**/(พิมพ์ครั้งที่)/สำนักพิมพ์./https://doi.org/เลข DOI

ตัวอย่าง

- [3] Jackson, L. M. (2019). *The psychology of prejudice: From attitudes to social action* (2nd ed.). American Psychological Association. https://doi.org/10.1037/0000168-000

3) บทความในวารสารแบบรูปเล่ม/อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มีเลข DOI

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีพิมพ์)/**ชื่อบทความ**./**ชื่อวารสาร**./**เลขของปีที่**(เลขของฉบับที่)/เลขหน้า.

ตัวอย่าง

- [1] Ukonmaanaho, L., Merila, P., Nojd, P., & Nieminen, T. M. (2008). Litter fall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Boreal Environment Research*, 13, 67-91.

4) บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์ที่มีเลข DOI

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีพิมพ์)/ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(เลขของฉบับที่),/เลขหน้า./ / / / /
https://doi.org/เลข DOI

ตัวอย่าง

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

5) บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหมายเลขบทความ หรือ eLocator

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีพิมพ์)/ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(เลขของฉบับที่), Article/ / / / /
/ / เลขที่บทความ./URL (ถ้ามี)

ตัวอย่าง

[3] Burin, D., Kiltner, K., Rabuffetti, M., & Pia, L. (2019). Body ownership increases the interference between observed and executed movements. *PLOS ONE, 14*(1), Article e0209899. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209899

6) บทความในวารสารแบบรูปเล่ม/อิเล็กทรอนิกส์ตอนพิเศษหรือฉบับพิเศษ

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีพิมพ์)/ชื่อบทความ./[Special section]./ชื่อวารสาร./[Special issue],/เลข/ / / / /
/ / ของปีที่(เลขของฉบับที่),/เลขหน้า./URL (ถ้ามี)

ตัวอย่าง

[1] Lilienfeld, S. O. (Ed.). (2018). Heterodox issues in psychology [Special section]. *Archives of Scientific Psychology, 6*(1), 51–104.

7) บทความในวารสารแบบรูปเล่ม/อิเล็กทรอนิกส์ตอนพิเศษหรือฉบับพิเศษ

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีพิมพ์)/ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(Suppl.)/เลขของฉบับที่,เลข/ / / / /
/ / หน้า./URL (ถ้ามี)

ตัวอย่าง

[6] Oandasan, I., & Reeves, S. (2013). Key elements for interprofessional education. Part 1: The learner, the educator and the learning context. *Journal of Interprofessional Care, 19* (Suppl. 1), 21–38. https://doi.org/10.1080/135 61820500083550

8) หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปี,เดือน/วัน)./ชื่อคอลัมน์./ชื่อหนังสือพิมพ์,/เลขหน้า./URL (ถ้ามี)

ตัวอย่าง

[7] Brody, J. E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. https://www.nytimes.com

9) วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต

9.1) วิทยานิพนธ์ปริญญาคุุณภีบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตที่ไม่ได้ตีพิมพ์

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีที่เผยแพร่)/**ชื่อวิทยานิพนธ์**/[Unpublished doctoral/dissertation หรือ/ / / / / /Unpublished master's thesis]/ชื่อมหาวิทยาลัย.

ตัวอย่าง

[11] Jung, M.S. (2014). *A structural equation model on core competence of nursing students* [Unpublished doctoral dissertation]. Choong-Ang University.

9.2) วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตจากเว็บไซต์ (ไม่อยู่ในฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์)

สกุล,อักษรย่อชื่อ/(ปีที่เผยแพร่)/**ชื่อวิทยานิพนธ์**/[Doctoral dissertation หรือ Master's // // // // // //
thesis, ชื่อมหาวิทยาลัย]/ชื่อเว็บไซต์./URL

ตัวอย่าง

[5] Ata, A. (2015). *Factor effecting teacher-child communication skill & self-efficacy beliefs: An investigation on preschool teachers* [Master's thesis, Middle East Technical University]. Middle East Technical University Library. <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12619101/index.pdf>

9.3) วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตจากฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์

สกุล/อักษรย่อชื่อ/(ปีที่เผยแพร่)/**ชีววิทยานพนธ์**/หมายเลข UMI หรือเลขลำดับอื่น ๆ) / / / / / / / / / /
[Doctoral dissertation หรือ Master's thesis,ชื่อมหาวิทยาลัย]/ชื่องานข้อมูล.

ตัวอย่าง

[7] McNiel, D. S. (2006). *Meaning through narrative: A personal narrative discussing growing up with an alcoholic mother* (UMI No. 1434728) [Master's thesis, California State University–Long Beach]. ProQuest Dissertations and Theses database.

10) รายงาน

10.1) รายงานที่จัดทำโดยหน่วยงานของรัฐหรือองค์กรอื่น

ชื่อหน่วยงาน./ปีที่เผยแพร่)/[ชื่อเรื่อง](#)./สำนักพิมพ์./URL (ถ้ามี)

ตัวอย่าง

[14] National Cancer Institute. (2019). *Taking time: Support for people with cancer* (NIH Publication No. 18-2059). U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health. <https://www.cancer.gov/publications/patient-education/takingtime.pdf>

10.2) รายงานที่จัดทำโดยผู้เขียนรายบุคคลสังกัดหน่วยงานรัฐหรือองค์กรอื่น

สกุล,/อักษรย่อชื่อ./ (ปีที่เผยแพร่)./ชื่อเรื่อง./สำนักพิมพ์./URL(ถ้ามี)

ตัวอย่าง

[3] Lipsey, M. W., Farran, D. C., & Hofer, K. G. (2015). *A randomized control trial of a statewide voluntary prekindergarten program on children's skills and behaviors through third grade*. Vanderbilt University, Peabody Research Institute.

10.3) รายงานการวิจัย

สกุล,/อักษรย่อชื่อ./ (ปีที่เผยแพร่)./ชื่อเรื่อง(รายงานการวิจัย)/สำนักพิมพ์./URL(ถ้ามี)

ตัวอย่าง

[5] Khongpakdee, S. (2014). *A development on physical model of Venus phenomena* (Research report). Songkhla: Thaksin University.

11) บทความในที่ประชุมวิชาการ

11.1) บทความในที่ประชุมวิชาการที่ไม่มี proceeding (Symposium)

สกุล,/อักษรย่อชื่อ./ (ปี, /เดือน, /วันที่)./ชื่อเรื่องที่นำเสนอ./In/อักษรชื่อย่อ./สกุล/(Chair), // // // // // ชื่อหัวข้อการประชุม/[Symposium]./ชื่อการประชุม./สถานที่ประชุม

ตัวอย่าง

[21] De Boer, D., & LaFavor, T. (2018, April 26–29). The art and significance of successfully identifying resilient individuals: A person-focused approach. In A. M. Schmidt & A. Kryvanos (Chairs), *Perspectives on resilience: Conceptualization, measurement, and enhancement* [Symposium]. Western Psychological Association 98th Annual Convention, Portland, OR, United States.

11.2) บทความในที่ประชุมวิชาการที่มี proceeding

สามารถเขียนได้ 2 รูปแบบคือ

11.2.1) เขียนในแบบรูปเล่มของหนังสือ

สกุล,/อักษรย่อชื่อ./ (ปี)./ชื่อเรื่อง./In/ชื่อบรรณาธิการ/(Ed. หรือ Eds.), ชื่อหัวข้อการประชุม.// // // // // ชื่อการประชุม/(pp./เลขหน้า)./ฐานข้อมูล.

* กรณีมีเลข DOI หรือ URL ให้เติมต่อท้ายจากฐานข้อมูล ตัวอย่าง ชื่อฐานข้อมูล./https:// doi.org/xxxx

ตัวอย่าง

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

1.1.2.2) เขียนในรูปแบบของวารสาร

สกุล,/อักษรย่อชื่อ./ (ปี)./ชื่อเรื่อง:/ชื่อเรื่องย่อ./*ชื่อวารสาร*,/เลขของปีที่(เลขของฉบับที่),/เลข/ / / / / / /
หน้า./URL

ตัวอย่าง

[34] Chaudhuri, S., & Biswas, A. (2017). External terms-of-trade and labor market imperfections in developing countries: Theory and evidence. *Proceedings of the Academy of Economics and Economic Education*, 20(1), 11–16. https://search-proquestcom.elibrary.jcu.edu.au/docview/19_28612180accountid=16285

หมายเหตุ นอกเหนือจากรูปแบบการเขียนอ้างอิงดังกล่าวข้างต้นนี้แล้ว ผู้เขียนบทความวิจัยและวิชาการสามารถสืบค้นข้อมูลการเขียนเอกสารอ้างอิงเพิ่มเติมได้จากเอกสารเผยแพร่ เรื่อง **การอ้างอิงสารสนเทศตาม Publication Manual of the American Psychological Association (7th Edition)** ของศูนย์นวัตกรรมทางการศึกษา สื่อสิ่งพิมพ์ และสื่อออนไลน์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



วารสารบัณฑิตวิจัย พัฒนาและนวัตกรรม

JOURNAL OF GRADUATE RESEARCH
DEVELOPMENT AND INNOVATION

JGRDI



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ
เลขที่ 140 ถ.กาญจนวนิช ม.4 ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000
โทรศัพท์ : 074-317655 ต่อ 7556
email : jgrdijournal@gmail.com