

# องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดส ของสารสกัด วงตาล

## Chemical composition and inhibitory activities against $\alpha$ -Amylase and $\alpha$ -glucosidase of palmyra palm in *Borassus flabellifer* L. male flowers extracts

พรอริยา จิรินัง<sup>1\*</sup>, อิศรา วัฒนานapakasem<sup>2</sup>, เจิมรง ปรรารถนารักษ์<sup>3</sup>, จุติพร อินทะนิน<sup>3</sup> และ ศิริวรรณ ณะวงษ์<sup>4</sup>  
Pornariya Chirinang<sup>1\*</sup>, Isara Wattananapakasem<sup>2</sup>, Chermdhong Prattanaruk<sup>3</sup>,  
Jutiporn Intanin<sup>3</sup> and Siriwan Nawong<sup>4</sup>

Received: 9 September 2022 ; Revised: 17 October 2022 ; Accepted: 28 November 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดสของวงตาล สารสกัดหยาบน้ำและเอทานอลจากวงตาล โดยผลการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และเปรียบเทียบปริมาณธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS) พบว่า มีคาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ ออกซิเจน คลอรีน และโพแทสเซียม ตามลำดับ โดยมีขนาดอนุภาคของสารสกัดหยาบน้ำและเอทานอล เป็น 70.31 และ 78.96 ไมโครเมตร ตามลำดับ และมีขนาดอนุภาคค่อนข้างสม่ำเสมอ ผลการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในวงตาลและสารสกัดหยาบน้ำและเอทานอล พบว่ามีแทนนินในปริมาณสูงที่สุด เท่ากับ 712.88, 617.81 และ 588.04 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ กรดแกลลิก ไอโซควอเซทิน ควอเซทิน คาเทชิน รูทีน และอะพิเจนิน ตามลำดับ แสดงว่าวงตาลและสารสกัดวงตาลอุดมไปด้วยสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดส พบว่า สารสกัดหยาบน้ำและเอทานอลแสดงฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสได้สูงกว่าชุดควบคุมเชิงบวก แต่แสดงฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสได้ต่ำกว่าชุดควบคุมเชิงบวก นอกจากนี้ยังพบว่าการสกัดวงตาลด้วยน้ำจะให้ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ได้ดีกว่าการสกัดด้วยเอทานอล แสดงว่าวงตาลมีศักยภาพในการใช้บำบัดโรคเบาหวานได้

**คำสำคัญ:** วงตาล สารสกัด ฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลส ฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดส

### Abstract

The objectives of this research were to investigate chemical composition and  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase Inhibitory activities of water and ethanolic crude extracts of *Borassus flabellifer* L. male flowers. The size of residues was compared by Scanning Electron Microscopy (SEM) technique and elemental contents were compared by Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). The results showed that the main element was carbon (C) following by oxygen (O), chlorine (Cl) and potassium (K), respectively. The particle size of water and ethanolic crude extracts were 70.31 and 78.96  $\mu$ m, respectively, and the particle size was quite uniform. The determination of phenolic compounds in *Borassus flabellifer* L. male flowers and water and ethanolic crude extracts showed tannin had the highest content at 712.88, 617.81 and 588.04 mg/kg, respectively, followed by gallic acid, isoquercetin, quercetin, catechin, rutin and

<sup>1</sup> สาขาวิชาอาหารและโภชนาการประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย

<sup>2</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ วิทยาเขตแพร่ จังหวัดแพร่ ประเทศไทย

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ประเทศไทย

<sup>4</sup> สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) 111 ถนนมหาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย

<sup>1</sup> Department of Applied Food and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi, Thailand

<sup>2</sup> Department of Food Technology, MaeJo University Phrae campus, Phrae, Thailand

<sup>3</sup> Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi, Thailand

<sup>4</sup> Synchrotron Light Research Institute (Public Organization), 111 University Avenue, Muang District, Nakhon Ratchasima, Thailand

\* Corresponding author: e-mail: pomariya.chi@mail.pbru.ac.th

apigenin, respectively. These results demonstrated that *Borassus flabellifer* L. male flowers and crude extracts were good sources of antioxidants. The Inhibitory effect of crude extracts to inhibit  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase was investigated. Water and ethanolic crude extracts revealed better inhibitory effects for  $\alpha$ -glucosidase than the positive control, but the inhibition of  $\alpha$ -amylase was lower than the positive control. In addition, the inhibitory effect of water crude extract was better than that of ethanolic extract. Therefore, *Borassus flabellifer* L. male flowers have potential use in the treatment of diabetes.

**Keywords:** *Borassus flabellifer* L. male flowers, extracts,  $\alpha$ -amylase inhibitory activity,  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity

## บทนำ

รูปแบบการดำเนินชีวิตของประชาชนในปัจจุบันมีความเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากความเร่งรีบจากการทำงาน ความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีต่างๆ ส่งผลให้พฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชาชนเปลี่ยนแปลงด้วย ซึ่งจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ยิ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน ประชาชนมีทางเลือกในการบริโภคมากขึ้นสามารถสั่งบริการขนส่งอาหารโดยไม่จำเป็นต้องทำรับประทานเองหรือออกไปรับประทานนอกบ้าน เทคโนโลยีด้านการติดต่อสื่อสารที่เข้าถึงได้ง่ายขึ้นในคนทุกกลุ่มโดยเฉพาะพฤติกรรมการติดโซเชียลมีเดีย ประกอบกับมีการออกกำลังกายน้อยลง รวมถึงพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ไม่ดีต่อสุขภาพ ได้แก่ อาหารประเภทเนื้อแดงหรือเนื้อที่ผ่านกระบวนการปรุงแต่ง (Processed meat) ไขมันพืชขัดสี และเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลสูง ทำให้ประชาชนเกิดปัญหาด้านสุขภาพตามมาโดยเฉพาะกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable diseases; NCDs) ซึ่งหนึ่งในโรคที่เป็นปัญหาสำคัญคือ โรคเบาหวาน (Diabetes mellitus) โรคเบาหวานเกิดจากความผิดปกติของกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนในร่างกาย ทำให้ร่างกายไม่สามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดได้ เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง หากเป็นโรคเบาหวานเรื้อรังจะสัมพันธ์กับการทำลายเซลล์หรืออวัยวะภายในร่างกาย เกิดความผิดปกติของอวัยวะบางอย่าง เช่น ตา ไต ระบบประสาท หัวใจ และหลอดเลือด ปัจจุบันพบว่าประชาชนทั่วไปมีความเสี่ยงที่จะเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ค่อนข้างสูง ซึ่งสาเหตุหลักมาจากวิถีชีวิตที่มีดั่งที่กล่าวข้างต้น จากการคาดการณ์ของ The International Diabetes Federation (IDF) ระบุว่า ในปี ค.ศ.2011 จะมีผู้ป่วยโรคเบาหวานประมาณ 366 ล้านคน และจะเพิ่มสูงถึง 552 ล้านคน ในปี ค.ศ.2030 (Alam *et al.*, 2014; Zheng *et al.*, 2018) ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก การรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในปัจจุบันมียาที่นิยมใช้ได้แก่ อะคาร์โบส (acarbose) ไมกลิทอล (miglitol) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการรับประทานยาดังกล่าวส่งผลข้างเคียงต่อผู้ป่วย เช่น เกิดอาการท้องอืด แน่นท้อง บางครั้งถ่ายเหลว ปวดท้อง/ไม่สบายท้อง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการไปไฮเดรต

ที่ไม่ถูกย่อยเคลื่อนจากลำไส้เล็กไปยังลำไส้ใหญ่และเกิดการหมักโดยแบคทีเรียได้ผลผลิตเป็นแก๊สที่ทำให้เกิดอาการดังกล่าวขึ้น (Rosak & Mertes, 2012) ดังนั้นหากมีพืชสมุนไพรในท้องถิ่นที่มีคุณสมบัติในการช่วยรักษาโรคเบาหวานได้ เพื่อลดการใช้จ่ายและนำสมุนไพรในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ

งวงตาล (*Borassus flabellifer* Linn male flowers) ถือเป็นสวนดอกของต้นตาลโตนด (Palmyra palm) เป็นส่วนที่ให้น้ำหวานหรือที่ทุกคนรู้จักกันดี คือ น้ำตาลสด แบ่งเป็นดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย โดยงวงตาลคือช่อดอกตัวผู้ งวงตาลมีสรรพคุณทางยา โดยงวงตาลที่ยังอ่อนนำมาผานต้มเป็นยาบำรุงหัวใจ ยาเจริญอาหาร รักษาโรคตาขโมยในเด็ก นำมาฝนทำยารักษาแผล แก้อ่อนใน ใช้เป็นยาขับปัสสาวะ ขับพยาธิ ใช้ต้มชูกำลัง แก้อ่อนเพลีย ทำให้ชุ่มชื้น แก้เสมหะเหนียว แก้นิวไนด์และถุงน้ำดี (สำนักงานการเกษตรจังหวัดสงขลา, 2542; สมเกียรติ ชันอ่อน, 2552) อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระประเภทฟลาโวนอยด์และไตรเทอพีนอยด์ เป็นองค์ประกอบ (Kavatagimath *et al.*, 2016) มีฤทธิ์ในการลดระดับน้ำตาลในเลือด (Goyal *et al.*, 2014; Goyal *et al.*, 2015; Kavatagimath *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ศึกษาในประเทศไทยยังมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดหยาบงวงตาลด้วยน้ำและเอทานอล ได้แก่ ปริมาณธาตุ สารประกอบฟีนอลิก น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ และศึกษาฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลโคซิเดสของสารสกัดงวงตาลในจังหวัดเพชรบุรี เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานนำไปต่อยอดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานต่อไป

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ คือ งวงตาลที่ปลูกภายในจังหวัดเพชรบุรี นำมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก ทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด บรรจุใส่ถุง ปิดผนึกแบบ

สูญญากาศ และเก็บรักษาจนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

## 2. การเตรียมสารสกัดจากงวงตาล

การสกัดดำเนินการโดยตัดแปลงจากวิธีของ Tsai *et al.*, (2007) นำผงงวงตาลแห้ง 10 กรัม เติมน้ำทำละลาย (น้ำปราศจากไอออนหรือ 95%เอทานอล) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเขย่าด้วยเครื่องบ่มเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (refrigerated shaking Incubator) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดทำการกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 โดยนำสารละลายที่ได้ทำการตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 8500 rpm เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสที่สกัดได้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำตะกอนที่เหลือมาสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง นำส่วนใสที่ได้มารวมกัน ทำให้แห้งด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ (vacuum evaporator) ที่อุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส และทำให้แห้งด้วยเทคนิคแช่เยือกแข็ง (freeze dry) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

## 3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบและสารสกัดจากงวงตาล

### 3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบพอลิฟีนอลที่สำคัญ (Polyphenolic compounds) ในงวงตาลและสารสกัดจากงวงตาล

สารประกอบพอลิฟีนอลที่สำคัญในผงงวงตาลแห้งและสารสกัดจากงวงตาล ทำการตรวจวิเคราะห์โดยส่งตรวจที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ ด้วยเทคนิค Liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) อ้างอิงจากวิธีวิเคราะห์ของ Peñarrieta *et al.*, (2007) โดยผลปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลรายงานในค่าของ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสารสกัดแห้ง

### 3.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุและขนาดอนุภาคของงวงตาลและสารสกัดจากงวงตาลด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)

ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุและขนาดอนุภาคของผงงวงตาลแห้งและสารสกัดจากงวงตาลด้วยวิธี Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานที่ใช้ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทำการเตรียมตัวอย่างงวงตาลและสารสกัดติดลงบน

คาร์บอนแท็บ (carbon tab) ที่อยู่บนอะลูมิเนียมมาตรฐาน (Aluminum Stub) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 มิลลิเมตร จากนั้นตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและตรวจวัดชนิดของธาตุ (SEM-EDS: FEI QUANTA 450, Oxford EDS XMax, England) โดยก่อนการวิเคราะห์ไม่จำเป็นต้องทำการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยคาร์บอนหรือทองคำ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะแสดงในรูปแบบเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) โดยทำการศึกษาปริมาณธาตุในเชิงคุณภาพและปริมาณ รายงานผลเป็นร้อยละของธาตุที่วิเคราะห์ที่มีอยู่

### 3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ในผงงวงตาลแห้ง และสารสกัดจากงวงตาล ดำเนินการส่งตรวจที่บริษัท เอแอลเอส แลบอราทอรี กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด โดยการวิเคราะห์อ้างอิงตามวิธีของ AOAC (1992)

## 4. การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ( $\alpha$ -glucosidase)

การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส ทำการตรวจวิเคราะห์โดยส่งตรวจที่ศูนย์นวัตกรรมสมุนไพรบวจร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง โดยตัดแปลงจากวิธีของ Phukhatmuen *et al.*, (2020) ซึ่งกระบวนการทดสอบต้องพิสูจน์ว่าสามารถดำเนินได้อย่างถูกต้องหรือไม่จึงจำเป็นต้องทดสอบฤทธิ์การต้านการยับยั้งของสารควบคุมเชิงบวก (อะคาร์โบส) ก่อน การเตรียมสารละลายอะคาร์โบส ทำได้โดยละลายอะคาร์โบสด้วย 5% Dimethyl sulfoxide (DMSO) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.8) จากนั้นเริ่มการทดสอบโดยปิเปตสารละลายอะคาร์โบสที่แต่ละความเข้มข้น ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ผสมกับเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส (0.35 ยูนิตต่อมิลลิลิตร) (Sigma-Aldrich, USA) ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ในไมโครทิวป์ (microtube) บ่มเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ปิเปตสารละลายไนโตรฟีนิล-แอลฟา-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ (p-nitrophenyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside, p-NPG) ความเข้มข้น 1.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 100 ไมโครลิตร ลงไปในหลอด บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อีกครั้งเป็นเวลา 20 นาที เมื่อครบระยะเวลาทำการหยุดปฏิกิริยาด้วยการปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 1000 ไมโครลิตร ลงไปในแต่ละไมโครทิวป์ จากนั้นทำการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร และคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งจากสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง} = \frac{(A-B)-(C-D)}{A-B} \times 100$$

โดย

A = ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายตัวควบคุมเชิงลบที่ประกอบด้วย 5% DMSO ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์และเอนไซม์

B = ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายที่ประกอบด้วย 5% DMSO ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์

C = ค่าดูดกลืนแสงของการเกิดปฏิกิริยาในตัวอย่างที่ประกอบด้วยตัวอย่างและเอนไซม์

D = ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายตัวควบคุมของตัวอย่างที่ประกอบด้วยสารละลายตัวอย่าง

คำนวณหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่ทำให้เกิดการยับยั้งเอนไซม์ที่ 50% ( $IC_{50}$ ) จากกราฟและสมการเส้นตรงระหว่างเปอร์เซ็นต์การยับยั้งและความเข้มข้นของตัวอย่าง

การทดสอบสารตัวอย่างดำเนินการหลังจากการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ของสารควบคุมเชิงบวกหรืออะคาร์โบสเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยเริ่มจากการเตรียมสารละลายตัวอย่างให้ได้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 10-1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยสารละลาย 5% DMSO ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.8) สำหรับการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งนั้นสามารถดำเนินการได้โดยใช้ขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการทดสอบสารละลายอะคาร์โบสข้างต้น โดยเปลี่ยนจากสารละลายอะคาร์โบสเป็นสารละลายตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้น โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

### 5. การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา อะไมเลส ( $\alpha$ -amylase)

การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ทำการตรวจวิเคราะห์โดยส่งตรวจที่ศูนย์นวัตกรรมสมุนไพรครบวงจร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kusano *et al.*, (2011) เริ่มจากการเตรียมสารละลายตั้งต้น โดยละลายแป้ง (starch) จำนวน 500 มิลลิกรัม ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ ปริมาณ 25 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันและต้มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นทำให้สารละลายเย็นตัวลงโดยการแช่ภาชนะบรรจุสารละลายไว้ในอ่างน้ำแข็ง เมื่อสารละลายเย็นตัวลง นำสารละลายมาปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ จนได้ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน เพื่อเตรียมใช้สำหรับการทดสอบฤทธิ์การยับยั้ง

ในเบื้องต้นเพื่อพิสูจน์ว่ากระบวนการดังกล่าวสามารถดำเนินไปอย่างถูกต้องหรือไม่ จำเป็นต้องทำการทดสอบฤทธิ์การต้านการยับยั้งของสารควบคุมเชิงบวกโดยใช้อะคาร์โบสก่อน โดยละลายตัวอย่างอะคาร์โบสด้วยสารละลายอะซีเตทบัฟเฟอร์ (acetate buffer, pH 6.5) จากนั้นเริ่มทำการทดสอบฤทธิ์โดยปิเปตสารตั้งต้น 120 ไมโครลิตร สารละลายอะคาร์โบส 60 ไมโครลิตร ผสมในไมโครทิวป์แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ปิเปตสารละลายเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (28 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) (Sigma-Aldrich, USA) แล้วบ่มอีกครั้งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบระยะเวลาทำการหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยปิเปตสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 240 ไมโครลิตร และสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาณ 300 ไมโครลิตร ลงไปในแต่ละไมโครทิวป์ จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร และคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งจากสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง} = \frac{1-(A2-A1)}{A3-A4} \times 100$$

โดยที่

A1 คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายที่ประกอบด้วยตัวอย่าง สารละลายแป้ง และเอนไซม์

A2 คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายที่ประกอบด้วยตัวอย่างและสารละลายแป้ง

A3 คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายที่ประกอบด้วยสารละลายแป้งและเอนไซม์

A4 คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายที่ประกอบด้วยสารละลายแป้ง

จากนั้นคำนวณหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่ทำให้เกิดการยับยั้งเอนไซม์ที่ 50% ( $IC_{50}$ ) จากกราฟและสมการเส้นตรงระหว่างเปอร์เซ็นต์การยับยั้งและความเข้มข้นของตัวอย่าง

การทดสอบกับสารตัวอย่าง ทำได้โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายอยู่ในช่วง 1-10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วยสารละลายอะซีเตทบัฟเฟอร์ (pH 6.5) การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งสามารถดำเนินการได้โดยใช้ขั้นตอนเช่นเดียวกับการทดสอบสารละลายอะคาร์โบสข้างต้น โดยเปลี่ยนเป็นสารละลายตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้น โดยแต่ละตัวอย่างทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

## ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 1. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในวงตาลและสารสกัดจากวงตาล

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในวงตาลแห้งและสารสกัดหยาบเอทานอลและน้ำจากวงตาล แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า สารประกอบฟีนอลิกที่พบโดยมีปริมาณเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ แทนนิน กรดแกลลิก ไอโซควอเซทิน ควอเซทิน คาเทชิน รูทีน และอะพิจินีตามลำดับ โดยจะพบว่า สารสกัดหยาบเอทานอลมีปริมาณกรดแกลลิก อะพิจินี ควอเซทิน และรูทีน (302.15, 25.11, 170.44 และ 72.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) สูงกว่าวงตาล (212.61, 22.14, 111.38 และ 59.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ในขณะที่สารสกัดหยาบน้ำมีปริมาณอะพิจินี ควอเซทิน และรูทีน (27.27, 140.69 และ 72.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) สูงกว่าวงตาล การสกัดด้วยเอทานอลจะให้ปริมาณกรดแกลลิกและควอเซทินสูงกว่า แต่ให้ปริมาณแทนนิน ไอโซควอเซทิน และคาเทชินต่ำกว่า

การสกัดด้วยน้ำ การสกัดอะพิจินีและรูทีนไม่ขึ้นกับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด แสดงว่ากระบวนการสกัดทำให้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น Terao (1999) ระบุว่าสารฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชผลไม้โดยทั่วไปคือสารควอซีทินไกลโคไซด์ (Quercetin glycosides) แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ รูทีน (Rutin) ควอเซทิน (Quercetin) และควอซีมิริทริน (Quercimeritrin) สามารถแบ่งฟลาโวนอยด์เป็น 2 ประเภท คือ สารฟลาโวนอยด์ชนิดที่ชอบน้ำ สามารถละลายน้ำได้ดี ได้แก่ รูทีน และไอโซควอเซทิน และฟลาโวนอยด์ชนิดที่ไม่ชอบน้ำ ละลายน้ำไม่ดี ได้แก่ ควอเซทิน แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอื่นๆ เช่น เอทานอล ทำให้พบรูทีนและควอเซทินในสารสกัดหยาบเอทานอลและน้ำในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวัตถุดิบนั้นเอง ในขณะที่หลังการสกัดแทนนินและคาเทชินจะมีปริมาณลดลงเมื่อผ่านกระบวนการสกัด แต่ยังคงมีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงซึ่งแสดงว่าวงตาลและสารสกัดวงตาลมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

**Table 1** Polyphenolic compound (mg/kg) of *Borassus flabellifer* L. male flowers and extracts.

Polyphenolic compound	Content (mg/kg)		
	<i>Borassus flabellifer</i> L. male flowers	Water crude extract	Ethanol crude extract
Gallic acid	212.61	138.55	302.15
Eriodictyol	ND	ND	ND
Apigenin	22.14	27.27	25.11
Isoquercetin	120.76	89.37	59.27
Kaempferol	ND	ND	ND
Quercetin	111.38	140.69	170.44
Hydroquinin	ND	ND	ND
Rutin	59.79	72.63	72.82
Catechin	100.32	88.95	66.97
Tannic acid	712.88	617.81	588.04

ND = Not Detected

สารประกอบฟีนอลิกพบได้ในพืชที่มีในธรรมชาติมากมายหลายชนิด โดยพบในผักผลไม้ชนิดต่างๆ มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่านั้น มีความสามารถละลายน้ำได้ มักจะรวมอยู่ในโมเลกุลของน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ (Glycosides) และพบได้ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ (Cell vacuole) การที่มีสูตรทางเคมีแตกต่างกันโดยมีจำนวนคาร์บอนและหมู่ที่เข้ามาแทนที่ในตำแหน่งต่างๆ ทำให้จำแนกสารประกอบฟีนอลิกได้มากกว่า 8,000 ชนิด

โดยจำแนกเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ กรดฟีนอลิก (Phenolic acids) ลิกนิน (Lignin) กรด ไฮดรอกซินนามิก และอนุพันธ์ (Hydroxycinnamic acid and derivatives) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นต้น (นิธิยา รัตนพานนท์, 2546) ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารพิษเคมีที่พบได้ทั่วไปในพืชหลากหลายชนิดพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช ไม่ว่าจะเป็นใบ เมล็ด เปลือก และดอก ในปัจจุบันพบว่ามีย้อมมากกว่า 4,000 ชนิด คุณสมบัติหลักของฟลาโวนอยด์คือ ต่อด้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังให้ฤทธิ์อื่นๆ เช่น ฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ก่อโรค ฤทธิ์

ต้านมะเร็ง ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านอาการแพ้ และป้องกันโรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น (ชิตากานต์ รัตนบรรณางกูร, 2554; Heim *et al.*, 2002)

จากผลข้างต้นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากที่สุดคือ กรดแทนนิกหรือแทนนิน แทนนินซึ่งเป็นฟีนอลิกที่มีรสฝาดในพืชบางชนิดเป็นพิเศษ สามารถยับยั้งการเกิดเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหารในกระเพาะอาหารพวกสัตว์ มีโมเลกุลขนาดใหญ่และโครงสร้างซับซ้อน มีความเป็นกรดอ่อนๆ รสค่อนข้างฝาด แทนนินที่พบในพืชมี 2 ชนิด คือ คอนแดนส์แทนนินหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โปรแอนโทไซยานิน (proanthocyanin) มักพบในเปลือกและแก่นของต้นไม้ และอีกชนิดหนึ่งคือสารไฮโดรไลซ์แทนนิน มักพบมากในส่วนของผัก ใบ และส่วนที่ปูดออกมาเมื่อต้นไม้ได้รับอันตราย คุณสมบัติของแทนนินมีมากมาย เช่น คุณสมบัติตกตะกอนโปรตีน มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อราได้ ใช้เป็นยาแก้ท้องร่วง แก้บิด สมานแผล (เสาวนีย์ ชัยเพชร และคณะ, 2559; พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2565) ในขณะที่กรดแกลลิกเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นกลุ่มไฮดรอกซิล ภายในโมเลกุลสามารถให้อิเล็กตรอนกับโมเลกุลอื่นได้ดี ด้วยกลไกนี้สารนี้จึงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี นิยมใช้เตรียมเป็นสารมาตรฐานในการวัดความสามารถต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดี (กิตติพัฒน์ ไสภิตธรรมคุณ และปานทิพย์ รัตนศิลป์กัลชาญ, 2560) นอกจากนี้ Wafaa *et al.*, (2010) ระบุว่า สารประกอบที่มีอยู่ในธรรมชาติโดยเฉพาะในพืชสมุนไพรต่างๆ เช่น แอลคาลอยด์ กรดแกลลิก และฟลาโวนอยด์ มีฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสได้

**2. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุและขนาดอนุภาคของวงตาลและสารสกัดจากวงตาลด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)**

การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุของวงตาลและสารสกัดเป็นการศึกษาเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นว่ามีธาตุใดเป็นองค์ประกอบ และกระบวนการสกัดส่งผลต่อปริมาณธาตุของสารสกัดอย่างไร เพราะแร่ธาตุแต่ละชนิดส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคแตกต่างกันไป เทคนิค Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานที่ใช้ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งมีบทบาทสำคัญในปัจจุบันในการวิเคราะห์ธาตุทั้งทางด้านวัสดุศาสตร์ ชีวภาพ กายภาพ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีชิ้นส่วนขนาดเล็ก (ตลฤดี โตเย็น, 2565) ข้อดีของการใช้เทคนิค EDS ในการวิเคราะห์ คือ เป็นการตรวจวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพซึ่งสามารถตรวจสอบตัวอย่างได้ครั้งละหลายๆ ธาตุพร้อมกันและใช้เวลาค่อนข้างสั้นในการตรวจวิเคราะห์ นอกจากนี้สภาพของตัวอย่างจะไม่ถูกทำลายหรือเสียสภาพเดิม และสามารถตรวจสอบวัตถุตัวอย่างในสภาพของแข็งได้อีกด้วย ดังนั้นเมื่อใช้เทคนิค EDS ร่วมกับการใช้กล้องจุลทรรศน์ SEM (SEM - EDS) จะทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบและการมีอยู่ของธาตุบนพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างได้ละเอียดและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น (พิชิตพล ราชคม และพัชราสินลอมยา, 2564)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในวงตาลและสารสกัดหายจากวงตาลแสดงดัง Table 2 พบว่า ธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักในวงตาลและสารสกัดหายน้ำและเอทานอล โดยมีปริมาณร้อยละ 63.94, 49.99 และ 64.69 ตามลำดับ รองลงมาคือ ออกซิเจน คลอรีน และโพแทสเซียมตามลำดับ โดยสารสกัดหายน้ำมีปริมาณคลอรีน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส เพิ่มขึ้นหลังการสกัดอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกับสารสกัดหายเอทานอล นอกจากนี้สารสกัดหายน้ำและเอทานอลไม่พบธาตุกำมะถันเมื่อผ่านกระบวนการสกัด

**Table 2** Element content (%) of *Borassus flabellifer* L. male flowers and extracts by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) technique.

Element	Content (%)		
	<i>Borassus flabellifer</i> L. male flowers	Water crude extract	Ethanolic crude extract
C	63.94 ± 4.0	49.99 ± 7.69	64.69 ± 2.07
O	30.91 ± 4.56	23.64 ± 6.06	27.42 ± 5.08
Na	0.41 ± 0.18	0.98 ± 0.28	0.32 ± 0.08
Mg	0.32 ± 0.17	1.14 ± 0.31	0.06 ± 0.02
Al	0.32 ± 0.04	0.42 ± 0.13	0.52 ± 0.34
Si	0.44 ± 0.53	0.10 ± 0.02	0.14 ± 0.04

**Table 2** Element content (%) of *Borassus flabellifer* L. male flowers and extracts by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) technique (cont.)

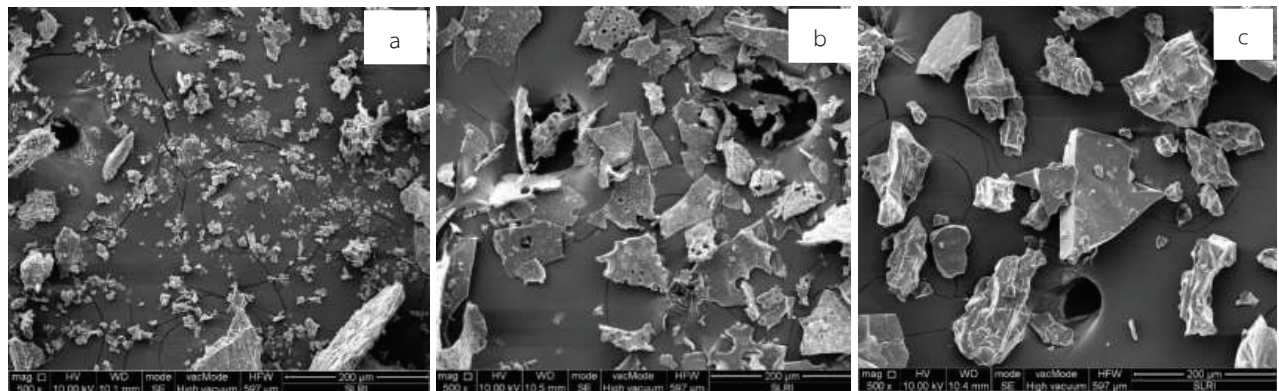
Element	Content (%)		
	<i>Borassus flabellifer</i> L. male flowers	Water crude extract	Ethanollic crude extract
P	0.28 ± 0.29	0.73 ± 0.23	-
S	0.39 ± 0	-	-
Cl	1.73 ± 1.11	11.44 ± 5.54	3.80 ± 1.94
K	1.74 ± 1.26	11.55 ± 6.22	2.68 ± 1.94
Ca	0.30 ± 0.11	0.43 ± 0.11	-
Cu	0.27 ± 0.10	-	0.67 ± 0.63

เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะอนุภาคของวงตาลแห้งและสารสกัดจากวงตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า (Figure 1) พบว่าสารสกัดจากวงตาลจะมีลักษณะของอนุภาคที่ใกล้เคียงกันและมีขนาดอนุภาคค่อนข้างสม่ำเสมอ ขณะที่วงตาลแห้งจะมีลักษณะของขนาดอนุภาคไม่สม่ำเสมอแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสารสกัดมีแนวโน้มที่จะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายน้ำได้ดีกว่าหากพิจารณาในการนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่อไปในอนาคตโดยเฉพาะการบริโภคในรูปแบบเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เมื่อทำการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคของสารสกัด พบว่า ทั้งสองชนิดมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีค่าขนาดอนุภาคของสารสกัดหยาดน้ำและเอทานอล เป็น 70.31 และ 78.96 ไมโครเมตร ตามลำดับ

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ในวงตาลและสารสกัดจากวงตาล

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ในวงตาลและสารสกัดจากวงตาลแสดงดัง Table 3 พบเพียงน้ำตาลฟรักโทสในวงตาลและสารสกัด

หยาดเอทานอล และน้ำตาลซูโครสในสารสกัดหยาดจากเอทานอล ในขณะที่สารสกัดหยาดจากน้ำไม่พบน้ำตาลเลย อาจกล่าวได้ว่าการบริโภคสารสกัดจากวงตาลเหมาะสำหรับผู้ที่ เป็นโรคเบาหวาน โดยจากการสำรวจในเบื้องต้นมีคนในชุมชนของจังหวัดเพชรบุรีนิยมนำวงตาลมาบริโภคในรูปแบบน้ำชาเพื่อประโยชน์ในด้านการดูแลสุขภาพโดยเฉพาะคุณสมบัติการต้านโรคเบาหวาน ซึ่งวงตาลถือว่าเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับการผลิตน้ำตาลสด จากงานวิจัยของรพีพร เอี่ยมสอาด และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาคูสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำตาลโตนด พบว่า น้ำตาลโตนดสดมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 14.30 น้ำตาลรีตีวซ์เท่ากับร้อยละ 1.85 ประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส ซูโครส และมอลโทสร้อยละ 0.87, 0.95, 12.50 และ 0.51 ตามลำดับ จะพบว่าในน้ำตาลสดพบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ในขณะที่ในวงตาลและสารสกัดจากวงตาลพบเพียงไม่กี่ชนิด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากปัจจัยในระหว่างกระบวนการบิบนวดวงตาลก่อนที่จะเก็บกักเป็นน้ำตาลสด อย่างไรก็ตามในประเด็นนี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาต่อไปในอนาคตถึงความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากการทดลองนี้



**Figure 1** Particle characteristics of (a) *Borassus flabellifer* L. male flowers powder (b) water crude extract (c) ethanollic crude extract by Scanning Electron Microscope (SEM) at 500X

**Table 3** Type and content of monosaccharides and disaccharides (g/100 g) in *Borassus flabellifer* L. male flowers and extracts

Monosaccharides & disaccharides	Content (g/100 g)		
	<i>Borassus flabellifer</i> L. male flowers	Water crude extract	Ethanollic crude extract
Fructose	0.74	ND	0.91
Glucose	ND	ND	ND
Lactose	ND	ND	ND
Maltose	ND	ND	ND
Sucrose	ND	ND	0.77
Total sugars	0.74	ND	1.68

ND = Not detected

**4. การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) และแอลฟาไกลูโคซิเดส ( $\alpha$ -glucosidase)**

เบาหวานเป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของการเผาผลาญสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เนื่องมาจากร่างกายผลิตอินซูลินไม่เพียงพอหรือมีภาวะดื้อต่ออินซูลิน ส่งผลให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง ซึ่งแนวทางในการรักษาโรคเบาหวาน คือ การพยายามที่จะลดระดับน้ำตาลในเลือดโดยการยับยั้งเอนไซม์ที่ย่อยอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งชนิดที่สำคัญ ได้แก่ แอลฟาไกลูโคซิเดส ( $\alpha$ -glucosidase) และแอลฟา อะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ปัจจุบันมียาที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของแอลฟาไกลูโคซิเดส ( $\alpha$ -glucosidase inhibitors) หลายชนิด ได้แก่ อะคาร์โบส (acarbose), ไมกลิทอล (miglitol) และวอกลีโบส (voglibose) (กานต์ศศิณี เต้ยอรุณ, 2559) ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงใช้อะคาร์โบสเป็นสารควบคุมเชิงบวก ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดส (Table 4) พบว่า ตัวอย่างวงตาล สารสกัดหยาบเอทานอล และสารสกัดหยาบน้ำ มีค่าความเข้มข้นของสารสกัดพืชตัวอย่างที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ได้ร้อยละ 50 ( $IC_{50}$ ) ที่ 7.76, 14.87 และ 2.25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่สารควบคุมเชิงบวก (อะคาร์โบส) มีค่า  $IC_{50}$  ที่ 46.03 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงว่า สารสกัดหยาบน้ำ สารสกัดหยาบเอทานอล และวงตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นแสดงฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดี โดยเฉพาะสารสกัดหยาบน้ำ

มีค่า  $IC_{50}$  ต่ำกว่าสารควบคุมเชิงบวก ซึ่งแสดงว่าสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำมีแนวโน้มในการเกิดคุณสมบัติการต้านโรคเบาหวานได้ดีกว่าการสกัดด้วยเอทานอล

ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลส (Table 4) พบว่า ตัวอย่างวงตาล สารสกัดหยาบเอทานอล และสารสกัดหยาบน้ำ มีค่า  $IC_{50}$  ที่ 519.30, 958.74 และ 177.16 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่สารควบคุมเชิงบวกอะคาร์โบส มีค่า  $IC_{50}$  ที่ 66.75 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงว่า วงตาลและสารสกัดจากวงตาลทั้งสองชนิดแสดงฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับสารควบคุมเชิงบวก แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้สารสกัดหยาบน้ำแสดงฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสได้ดีกว่าการสกัดด้วยเอทานอล ผลการศึกษาในวงตาลนี้เป็นไปในแนวทางเดียวกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาศมุนไพรพื้นบ้านไทยชนิดอื่นๆ ที่มีฤทธิ์ยับยั้งแอลฟา อะไมเลส โดยพรชนก ซิลปกรณีย์ และพงศธร กล่อมสกุล (2560) ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟา อะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดสของสารสกัดฝาง ม้ากระทืบโรง และปลาไหลเผือก ผลการทดลองพบว่า สารสกัดฝางสามารถยับยั้งแอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ม้ากระทืบโรงและปลาไหลเผือก ตามลำดับ นอกจากนี้ วิชา ไตรบุญ (2558) ศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสจากสารสกัดเหง้าว่านนางคำพบว่า สารสกัดมีฤทธิ์ในการยับยั้งได้ดี ซึ่งดีกว่าอะคาร์โบสที่เป็นสารมาตรฐานถึง 12.6 เท่า

**Table 4**  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase Inhibitory activities of *Borassus flabellifer* L. male flowers and extracts.

Sample	$\alpha$ -glucosidase Inhibitory activity, $IC_{50}$ ( $\mu$ g/mL)	$\alpha$ -amylase Inhibitory activity, $IC_{50}$ ( $\mu$ g/mL)
<i>B. flabellifer</i> L. male flowers	7.76 $\pm$ 0.05	519.30 $\pm$ 4.97
Ethanollic crude extract	14.87 $\pm$ 0.05	958.74 $\pm$ 3.23
Water crude extract	2.25 $\pm$ 0.00	177.16 $\pm$ 3.96
Acarbose	46.03 $\pm$ 0.19	66.75 $\pm$ 0.89



## สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก พบว่า สารประกอบฟีนอลิกที่มีปริมาณสูงที่สุดในวงตาลและสารสกัด หยาดน้ำและเอทานอล คือ แทนนิน รองลงมาได้แก่ กรดแกลลิก ไอโซควอเซทิน ควอเซทิน คาเทชิน รูทีน และอะพิเจนิน ตามลำดับ การวิเคราะห์ธาตุด้วย สเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์ แบบกระจายพลังงานที่ใช้ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด พบว่า มีคาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ ออกซิเจน คลอรีน และโพแทสเซียม ตามลำดับ และมีขนาดอนุภาคค่อนข้างสม่ำเสมอ การทดสอบฤทธิ์ในการ ยับยั้งแอลฟาอะไมเลส และแอลฟาไกลูโคซิเดส พบว่า สารสกัด หยาดน้ำและเอทานอลแสดงฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดี แต่แสดงฤทธิ์ยับยั้งแอลฟาอะไมเลสได้ไม่ดี โดยพบว่าสารสกัด หยาดน้ำจะให้ผลยับยั้งเอนไซม์ทั้งสองชนิดได้ดีกว่าสารสกัด หยาดเอทานอล แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากวงตาลอุดม ไปด้วยสารประกอบ ฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และยังช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดโดยการยับยั้งเอนไซม์ แอลฟาไกลูโคซิเดสได้ดีจึงเหมาะต่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ สำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีต้องขอ ขอบพระคุณ กองทุนวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2564 ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การ มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และร่วมทำการวิจัยใน ครั้งนี้ ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบุรีที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำ วิจัย

## เอกสารอ้างอิง

กานต์ศศิณ เตียรอุ้น. (2559). การศึกษาฤทธิ์ลดระดับน้ำตาล ในเลือดของสารสกัดชั้นน้ำของใบตาลสุกในหนูขาวที่ถูก เหนี่ยวนาให้เป็นโรคเบาหวานด้วยสเตรบิโตไซโตซิน [วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, สาขาวิชาเภสัชวิทยา]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.  
กิตติพัฒน์ ไสภิตธรรมคุณ และปานทิพย์ รัตนศิลป์ กัลชาญ. (2560). การสกัดและวิธีวัดความสามารถต้านอนุมูล อิสระในพืชสมุนไพร. *วารสารวิทย์.เทคโนโลยี หัวเฉียว เฉลิมพระเกียรติ*, 3(1), 86-94.  
ดลฤดี โตเย็น. (2565). การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วย เทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). <http://www3.rdi.ku.ac.th/knowledge/EDS>.

ธิดากานต์ รัตนบรรณางกูร. (2554). วิตามินบีเบิล. สำนักพิมพ์ อมรินทร์สุขภาพ.  
นิธิยา รัตนปานนท์. (2546). *สารประกอบฟีนอลิก*. สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์.  
พรชนก ซิลปกรณ และพงศธร กล่อมสกุล. (2560). ฤทธิ์ในการยับยั้งแอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดสของ สารสกัดฝาง ม้ากระทืบโรง และปลาไหลเผือก. *วารสาร วิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 12(1), 63-73.  
พิชิตพล ราชคม และพัชรา สีนลอยมา. (2564). การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและปริมาณเขม่าดินปืน บนผ้าภายหลังการยิงด้วยเทคนิค SEM/EDX. *บัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยสวนดุสิต*, 17(13), 113-128.  
พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2565). Tannin/แทนนิน. <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2376/tannin-แทนนิน>.  
รพีพร เอี่ยมสะอาด, เบญจวรรณ ธรรมชนารักษ์, รัฐกรณธ์ จำนงค์ผล และสุภาภรณ์ เลขวัตร. (2557). คุณสมบัติทาง เคมีกายภาพและการต้านอนุมูลอิสระของน้ำตาลโดนด. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(2), 657-660.  
วิชา ไตรบุญ. (2558). การศึกษาโครงสร้างและฤทธิ์ในการ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส จาก องค์ประกอบทางเคมีของเหง้าว่านนางคำ [วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี]. มหาวิทยาลัยศิลปากร.  
สมเกียรติ ชันอ่อน. (2552). การพัฒนาและการผลิตสารสกัด จากไม้พะยอมในรูปแบบผงเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต น้ำตาลสด [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขา วิทยาศาสตร์ศึกษา]. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.  
สำนักงานการเกษตรจังหวัดสงขลา. (2542). *ตาลโดนดสงขลา*. สำนักงานการเกษตรจังหวัดสงขลา.  
เสาวนีย์ ชัยเพชร, อภิญา วณิชพันธ์ และสมคิด ชัยเพชร. (2559). ผลของการทำแห้ง การสกัด และการ วิเคราะห์เชิงปริมาณของสารออกฤทธิ์จากพืชวงศ์ *Dipterocarpaceae* สู่ทิศทางด้านอาหาร. รายงานการ วิจัยทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัยที่สนับสนุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2557-2558.  
Alam, U., Asghar, O., Azmi, S., & Malik, R. A. (2014). Chapter 15-General aspects of diabetes mellitus. *Handbook of Clinical Neurology*, 126, 211-222.  
AOAC. (1992). Official methods of analysis. *Association of Officiating Analytical Chemists*, 75(3), 443-464.

- Heim, K. E., Tagliaferro, A. R., & Bobilya, D. J. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 13, 572-584.
- Kavatagimath, S. A., Jalalpure, S. S., & Hiremath, R. D. (2016). Screening of ethanolic extract of *Borassus flabellifer* flowers for its antidiabetic and antioxidant potential. *Journal of Natural Remedies*, 16, 22-32.
- Kusano, R., Ogawa S., Matsuo Y., Tanaka T., Yazaki Y., & Kouno I. (2011).  $\alpha$ -Amylase and lipase inhibitory activity and structural characterization of Acacia bark proanthocyanidins. *Journal of Natural Product*, 74, 119-128.
- Goyal, P., Agarwal, A. K., Lakashminarasimhaiah, & Singh, G. K. (2014). Hypoglycemic activity of inflorescence of *Borassus flabellifer* extracts on blood glucose levels of streptozocin-induced diabetic rats. *Journal of Pharmacy Research*, 8(11), 1738-1742.
- Goyal, P., Agarwal, A. K., Lakashminarasimhaiah, & Singh, G. K. (2015). Antidiabetic and antihyperlipidemic effect of *Borassus flabellifer* in streptozotocin (STZ) induced diabetic rats. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science*, 4(1), 1172-1184.
- Peñarrieta, J. M., M., Alvarado J. A., Akesson, B. & Bergenstahl, B. (2007). Separation of phenolic compounds from foods by reversed-phase high performance liquid chromatography. *Revista Boliviana de Química*, 24(1), 1-4.
- Phukhatmuen P., Raksat A., Laphookhieo S., Charoensup R., Duangyod T., & Maneerat W. (2020). Bioassay-guided isolation and identification of antidiabetic compounds from *Garcinia cowa* leaf extract. *Heliyon*, 6, 1-8.
- Rosak, C., & Mertes, G. (2012). Critical evaluation of the role of acarbose in the treatment of diabetes: patient considerations. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 5, 357-367.
- Terao, J. (1999). Dietary flavonoids as antioxidants in vivo: conjugated metabolites of (-)-epicatechin and quercetin participate in antioxidative defense in blood plasma. *Journal of Medical Investigation*, 46(3/4), 159-168.
- Tsai, S.Y., Tsai, H.L., & Mau J.L. (2007). Antioxidant properties of *Agaricus blazei*, *Agrocybe cylindracea*, and *Boletus edulis*. *LWT Food Science and Technology*, 40, 1392-402.
- Wafaa, B., Said, B., & Mohamed, B. (2010). Antidiabetic medicinal plants as a source of alpha glucosidase inhibitors. *Current Diabetes Reviews*, 6(4), 247-254.
- Zheng, Y., Ley, S. H., & Hu, F. B. (2018). Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications. *Nature Reviews Endocrinology*, 14, 88-98.