



วิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส จากส่วนต่าง ๆ
ของชาบัวหลวงเทียบกับชาเขียว

THE COMPARISON OF ALPHA-GLUCOSIDASE INHIBITOR EFFECTS
BETWEEN PART OF LOTUS TEA AND GREEN TEA

ธัญญ์ ไล่เลิศ

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

สำนักวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2567

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

วิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส จากส่วนต่าง ๆ
ของชาบัวหลวงเทียบกับชาเขียว

THE COMPARISON OF ALPHA-GLUCOSIDASE INHIBITOR EFFECTS
BETWEEN PART OF LOTUS TEA AND GREEN TEA

ธัญญ์ ไล่เลิศ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

สำนักวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2567

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง



หน้าอนุมัติการค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

การค้นคว้าอิสระเรื่อง วิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

จากส่วนต่าง ๆ ของชาบัวหลวงเทียบกับชาเขียว

The Comparison of Alpha-glucosidase Inhibitor Effects

between Part of Lotus Tea and Green Tea

ผู้ประพันธ์ ธีชนันท์ ไฉ่เลิศ

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรวรรณ สติธิประภาพร

ประธานกรรมการ

อาจารย์ ดร.อาริญา สาริกะภูติ

กรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วงเดือน ปันดี

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.อาริญา สาริกะภูติ)

คณบดี

.....
(อาจารย์ ดร.กานต์ วงศ์สุกสวัสดิ์)

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ซึ่งมีความหมายอย่างยิ่งต่อผู้วิจัย ทั้งในด้านวิชาการและกำลังใจ ซึ่งผู้วิจัยขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ อาจารย์ ดร.อาริญา สาริกะภูติ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรวรรณ สิริธิประภาพร ประธานกรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร.วงเดือน ปันดี กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ผู้ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำอย่างรอบด้านด้วยความเอาใจใส่และเมตตาอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการวิจัย ทั้งยังให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง อันนำไปสู่การพัฒนางานค้นคว้าอิสระฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ สำนักวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนนักศึกษาร่วมหลักสูตรทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ด้วยความเต็มใจและจริงใจตลอดระยะเวลาของการศึกษาและการทำวิจัย

หากการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ก่อให้เกิดประโยชน์หรือคุณค่าใดประการหนึ่ง ผู้วิจัยขอน้อมอุทิศความสำเร็จทั้งหมดนี้แด่ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้เป็นแรงสนับสนุนและกำลังใจสำคัญในทุกช่วงของการดำเนินชีวิตและการศึกษา

ธัชัญญ์ ไล่เลิศ

ชื่อเรื่องการค้นคว้าอิสระ	วิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสจากส่วนต่าง ๆ ของชาบัวหลวงเทียบกับชาเขียว
ผู้ประพันธ์	ธัญญ์ ไส้เลิศ
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ)
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.อาริญา สาริกะภูติ

บทคัดย่อ

โรคเบาหวานเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญของโลก ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในกลุ่มเด็กและผู้ใหญ่ โรคเบาหวานเกี่ยวข้องกับความผิดปกติของกระบวนการเผาผลาญน้ำตาลในร่างกาย โดยเฉพาะการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มสูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสของผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรที่ทำจากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวง ได้แก่ กลีบดอก เกสร และดীবัว โดยเปรียบเทียบกับชาเขียว ซึ่งเป็นชาที่มีข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สนับสนุนว่ามีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธี p-nitrophenol colorimetric เพื่อวัดค่าร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase inhibition %) โดยเตรียมสารสกัดจากชาทั้ง 4 กลุ่ม คือ กลีบบัว เกสรบัว ดีบัว และชาเขียว แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร โดยใช้สารมาตรฐานอะคาร์โบสเพื่อเปรียบเทียบ จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์โดยใช้ One Way ANOVA

ผลการทดลองพบว่า ชากลีบบัวหลวงมีค่าการยับยั้งสูงที่สุด ร้อยละ 70.00 รองลงมาคือชาเขียว ร้อยละ 48.18 และชาเกสรบัว ร้อยละ 27.27 ตามลำดับ ในขณะที่ชาดীবัวไม่แสดงฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ และมีค่าการดูดกลืนแสงไม่แตกต่างจากสารควบคุม ส่วนอะคาร์โบสมีค่าการยับยั้งเพียงประมาณ 7.27%

คำสำคัญ: แอลฟา-กลูโคซิเดส, ชาบัวหลวง, กลีบบัว, ดีบัว, ชาเขียว, การควบคุมน้ำตาลในเลือด

Independent Study Title	The Comparison of Alpha-glucosidase Inhibitor Effects between Part of Lotus Tea and Green Tea
Author	Thatchanat Lailert
Degree	Master of Science (Anti-Aging and Regenerative Science)
Advisor	Ariya Sarikaphuti, Ph. D.

ABSTRACT

Diabetes mellitus is a critical global public health concern, with its prevalence steadily increasing across both pediatric and adult populations. The disease is fundamentally associated with dysregulation of glucose metabolism, particularly involving the enzymatic activity of alpha-glucosidase, which catalyzes the hydrolysis of complex carbohydrates into monosaccharides, consequently elevating postprandial blood glucose levels. The objective of this study was to evaluate the alpha-glucosidase inhibitory potential of herbal tea infusions derived from various parts of the *Nelumbo nucifera* (sacred lotus), including petals, stamens, and plumules, in comparison with green tea, which has been scientifically documented to contain bioactive compounds implicated in glycemic control.

This investigation was conducted through an in vitro experimental design utilizing the p-nitrophenol colorimetric assay to determine the percentage inhibition of alpha-glucosidase activity. Tea extracts from four sample groups—lotus petal, lotus stamen, lotus plumule (commonly referred to as "dee bua"), and green tea—were prepared. The absorbance of each sample was measured at a wavelength of 405 nanometers, with Acarbose employed as the positive control. The resulting data were subjected to statistical analysis using one-way analysis of variance (One-Way ANOVA).

The findings revealed that the lotus petal tea exhibited the highest inhibitory activity at 70.00%, followed by green tea at 48.18%, and lotus stamen tea at 27.27%, respectively. In contrast, the lotus plumule tea demonstrated no significant inhibitory

effect, with absorbance values comparable to the negative control. The standard compound Acarbose exhibited an inhibition rate of approximately 7.27%. These results suggest that specific parts of the lotus flower, particularly the petals, may serve as promising natural sources of alpha-glucosidase inhibitors.

Keywords: Alpha-Glucosidase, Sacred Lotus Tea, Lotus Petals, Lotus Plumule, Green Tea, Blood Sugar Control



สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
1.5 กรอบแนวคิด	3
1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	3
2 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus หรือ DM หรือ Diabetes)	5
2.2 การรักษาโรคเบาหวาน	5
2.3 เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase)	7
2.4 สารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase Inhibitors)	7
2.5 สารประกอบฟีนอล (Phenolic Compounds)	9
2.6 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)	11
2.7 ชาเขียว	12
2.8 บัวหลวง	13
3 วิธีดำเนินการวิจัย	15
3.1 รูปแบบของการวิจัย	15
3.2 วัตถุประสงค์	15
3.3 การเตรียมตัวอย่าง	15
3.4 เครื่องมือที่ใช้	15
3.5 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส	16
3.6 สถานที่ทำการทดลอง	18
3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ	18
4 ผลการศึกษา	19
4.1 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	19

สารบัญ

บทที่	หน้า
5 อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ	25
5.1 สรุปผลการวิจัย	25
5.2 อภิปรายผล	26
5.3 ข้อเสนอแนะ	27
รายการอ้างอิง	28

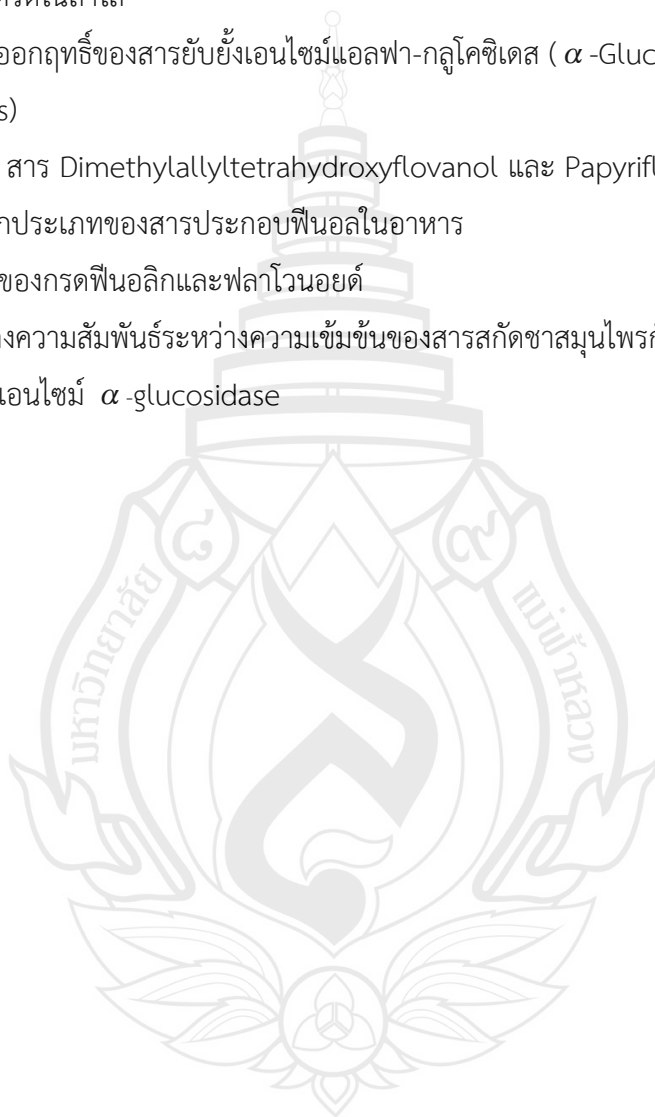


สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ค่าดูดกลืนแสงและร้อยละการยับยั้งของสารตัวอย่าง	19
4.2 ค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดชาและ Acarbose กับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase	21
4.3 ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ทำให้เอนไซม์ α -glucosidase (IC ₅₀)	21
4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ของค่า IC ₅₀ จากสารสกัดชาและ Acarbose ต่อการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase	22
4.5 ค่า IC ₅₀ (μ g/mL) ของสารสกัดชาแต่ละชนิดและ Acarbose ต่อการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase พร้อมการทดสอบทางสถิติ	22
4.6 การเปรียบเทียบค่า IC ₅₀ รายคู่ของสารสกัดชาสมุนไพรและ Acarbose โดยใช้ Tukey HSD	23

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 โครงสร้างของ Acrabose และ Vogibose ซึ่งเป็นยาที่ยับยั้งการดูดซึมอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตในลำไส้	6
2.2 กลไกการออกฤทธิ์ของสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase Inhibitors)	8
2.3 โครงสร้าง สาร Dimethylallyltetrahydroxyflavanol และ Papyriflavonol A	8
2.4 การจำแนกประเภทของสารประกอบฟีนอลในอาหาร	10
2.5 โครงสร้างของกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์	12
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดชาสมุนไพรกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase	20



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

โรคอ้วนเป็นปัญหาทางสาธารณสุขสำคัญของโลกและประเทศไทย โรคอ้วนในทางการแพทย์เรียกว่า Obesity หมายถึง ความผิดปกติของไขมันสะสมที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกเพศ ทุกวัย และทุกเชื้อชาติ โดยในปัจจุบันทั่วโลกมีประชากรจำนวนมากกว่า 4 ล้านคนเสียชีวิตจากการที่มีภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วน โดยพบว่าคนที่มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมีอัตราการตายสูงกว่าคนที่น้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ปกติหรือน้ำหนักต่ำกว่าเกณฑ์ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ รวมถึงประเทศไทย (กรมอนามัย, 2565; World Health Organization, 2021) และเป็นที่ทราบกันดีว่าโรคอ้วนเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญต่อการเกิดโรคเบาหวาน และโรคไม่ติดต่อเรื้อรังอีกหลายโรค

สถานการณ์โรคเบาหวานในปัจจุบันมีอุบัติการณ์เพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลสมาพันธ์เบาหวานโลก (International Diabetes Federation; IDF) ได้รายงานสถานการณ์ผู้เป็นโรคเบาหวานทั่วโลกแล้ว 285 ล้านคน และได้ประมาณการณ์ว่าจะมีจำนวนผู้เป็นเบาหวานทั่วโลกเพิ่มมากกว่า 439 ล้านคนในปี พ.ศ. 2573 หากไม่มีการดำเนินการในการป้องกันและควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ (International Diabetes Federation, 2019) ทำให้องค์การอนามัยโลก (WHO) ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว เนื่องจากผู้ป่วยเบาหวานจะเพิ่มปัจจัยเสี่ยงนำไปสู่ภาวะโรคแทรกซ้อนที่รุนแรงขึ้น เช่น โรคหัวใจ ภาวะไตวาย และเบาหวานขึ้นจอตา (World Health Organization, 2021) ส่งผลให้ประเทศไทยมีนโยบายให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาโรคเบาหวาน

โรคเบาหวาน และเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase) มีความเกี่ยวข้องกันในหลายแง่มุม ในบทบาทการเผาผลาญในร่างกาย แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase) เป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยคาร์โบไฮเดรต โดยการสลายคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนให้เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยว เช่น กลูโคส ในบุคคลที่เป็นโรคเบาหวาน หากการทำงานของแอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase) เกิดความผิดปกติอาจส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด รวมถึงหากมีการบริโภคอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตที่มีดัชนีน้ำตาลสูง (Glycemic Index: GI) มากเกินไป ก็จะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วได้เช่นกัน (Mukherjee et al., 2006)

ปัจจุบันมีการใช้ยาที่มีสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase inhibitors) เพื่อใช้ในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด อย่างไรก็ตาม หากมีการใช้ยาเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดผลข้างเคียงในระบบทางเดินอาหาร เช่น ท้องอืด ผายลม และท้องเสีย รวมถึงอาจจะส่งผลให้ร่างกายมีความทนทานต่อยา (ชนากรณ์ คำสุด และคณะ, 2563) ดังนั้นการศึกษาพืช หรือเครื่องดื่มที่ทำจากพืช เช่น ชา เป็นต้น หากมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase) นับว่ามีประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด เช่น ผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน รวมถึงบุคคลทั่วไปที่ต้องการดูแลสุขภาพ

ดอกบัว (Nelumbo) อุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยมีฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เช่น เควอซีติน (Quercetin), แคมเฟอรอล (Kaempferol) และไมริเซติน (Myricetin) ซึ่งมีส่วนช่วยในการต่อต้านอนุมูลอิสระและคุณสมบัติด้านการอักเสบ ทั้งยังมีสารประกอบอัลคาลอยด์ เช่น นูซิเฟอริน (Nuciferine) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Kumar & Pandey, 2013; Zhang et al., 2015; วิภาวรรณ สายเสนา และธีราพร กุลมัย, 2564)

ในฐานะผู้ทำวิจัยเป็นหนึ่งในบุคคลที่สนใจในเรื่องของสุขภาพ จึงสนใจศึกษาสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase inhibitors) ของชาจากบัวหลวง โดยเปรียบเทียบ % การยับยั้งเอนไซม์จากส่วนประกอบของบัวหลวง คือ กลีบ เกสร และดีบัว เพื่อเป็นประโยชน์ต่อประชาชนทั่วไปที่สนใจการดื่มชา รวมทั้งเป็นข้อมูลเพื่อประกอบการศึกษาในลำดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อตรวจวัด % การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase inhibitors) ในผลิตภัณฑ์ชา จากส่วนต่าง ๆ ของบัว 3 ส่วน ได้แก่ กลีบ เกสร ดีบัว และเปรียบเทียบกับชาเขียว

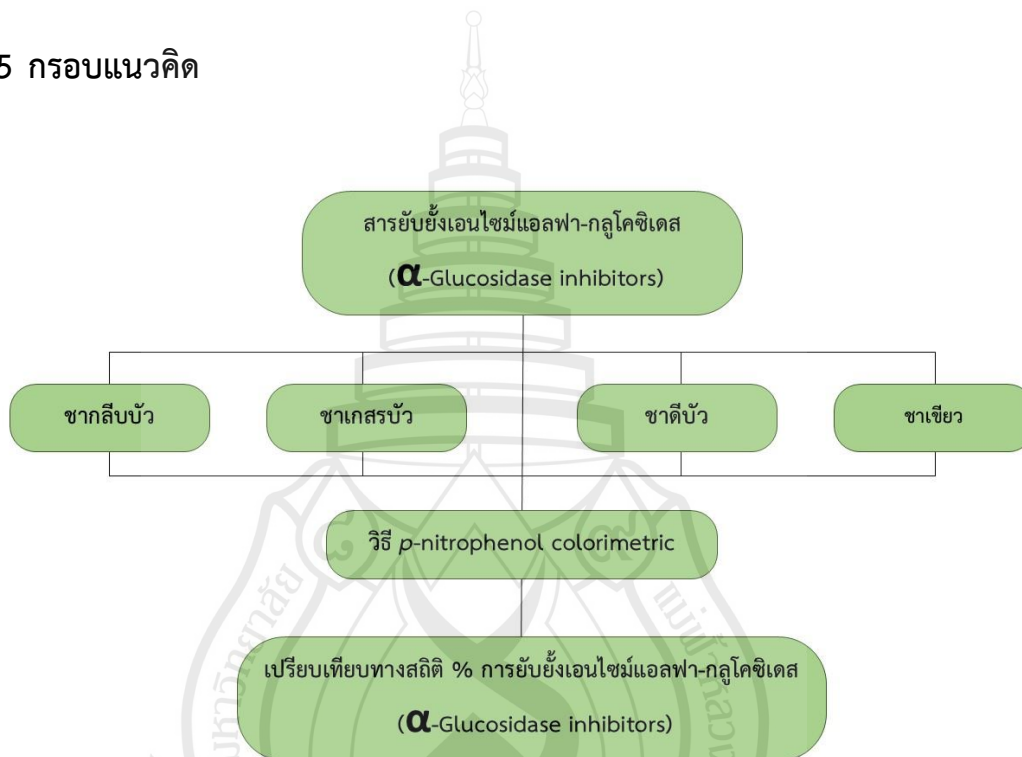
1.3 สมมติฐานงานวิจัย

% การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase inhibitors) ในผลิตภัณฑ์ชา จากส่วนต่าง ๆ ของบัว คือ กลีบดอก เกสร ดีบัว และชาเขียว แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ผู้วิจัยเลือกทำการตรวจวัด % การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase inhibitors) ในผลิตภัณฑ์ชา จากส่วนต่างๆของบั่วด้วยวิธี *p*-nitrophenol colorimetric

1.5 กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิด

1.5.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ชากลีบบั่ว ชาเกสรบั่ว ชาดีบั่ว และชาเขียว

1.5.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ % การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase inhibitors) วัดโดยวิธี *p*-nitrophenol colorimetric

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase) คือ เอนไซม์ที่อยู่บริเวณผนังลำไส้เล็ก จะทำหน้าที่สลายออลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) ให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เพื่อให้

น้ำตาลถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดนำไปใช้เป็นกระบวนการเมตะบอลิซึมและสร้างพลังงานแก่ร่างกายต่อไป

1.6.2 % การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase inhibitors) นิยมแสดงค่าเป็นความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) เกิดจากคำนวณค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย คือค่าการดูดกลืนแสงมาก แสดงว่าเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าค่าการดูดกลืนแสงน้อย แสดงว่าเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสไม่สามารถทำงานได้

1.6.3 กลีบบัว คือ มีขนาดเล็กและสีขาวอมเขียวหรือเป็นสีเทาอมชมพู ร่วงได้ง่าย มีจำนวนมากและเรียงซ้อนกันอยู่หลายชั้น ลักษณะของกลีบดอกเป็นรูปไข่กว้างประมาณ 5-6 เซนติเมตรและยาวประมาณ 7-9 เซนติเมตร เมื่อดอกบานเต็มที่จะมีขนาดประมาณ 20-25 เซนติเมตร

1.6.4 เกสรบัว คือ เกสรตัวผู้ของดอกบัวหลวง มีอับเรณูสีเหลือง ก้านอับเรณูสีเหลือง เกสรเพศเมีย บานวันแรกสีเหลือง หลังจากนั้นจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองเขียว และเป็นสีเขียว เมื่อดอก ropy และกลีบดอกร่วงหมดแล้ว รังไข่ในฝักจะมีระหว่าง 25 – 30 รัง (เมล็ด) มีลักษณะเป็นเส้นบางๆ ตรงกลางเห็นเป็นร่องลึกลงไป ขนาดความยาว 0.6-2 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เซนติเมตร สีเหลืองอ่อน หรือสีน้ำตาลเหลือง ส่วนก้านชูเกสรตัวผู้ เป็นรูปทรงกระบอกยาว 1.5-1.8 เซนติเมตร สีม่วงอ่อนมีกลิ่นหอมเฉพาะ รสฝาด

1.6.5 ดิบัว คือ ส่วนของต้นอ่อนที่อยู่ในเมื่ดบัวหลวง ดิบัวมีลักษณะคล้ายสาก มีความยาวประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร มีใบอ่อน 2 ใบ ใบหนึ่งสั้น ส่วนอีกใบยาว ใบมีสีเขียวเข้มหรือสีเขียวอมเหลือง ปลายใบมีลักษณะมนเป็นรูปคล้ายลูกศร มีต้นอ่อนตรง ขนาดเล็กมากอยู่ระหว่างใบอ่อนทั้งสอง มีความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร โคนต้นมีสีเหลืองอ่อนหรือเป็นสีเหลืองอมเขียว ลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกยาวประมาณ 2-4 มิลลิเมตร เนื้อหนาเปราะ ร่อนหน้าตัดจะมีรูเล็ก ๆ จำนวนมาก ดิบัวมีรสขมจัด

1.6.6 ชาเขียว คือ ชาที่ได้มาจากต้นชา ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia sinensis* ที่ไม่ผ่านการหมัก เตรียมได้โดยการนำใบชาสดมาผ่านความร้อนเพื่อทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว ความร้อนจะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทำให้ไม่เกิดการสลายตัว ทำให้ได้ใบชาที่แห้งแต่ยังคงอยู่และยังมีสีที่ค่อนข้างเขียวจึงเรียกว่า ชาเขียว

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 โรคเบาหวาน (Diabetes Mellitus หรือ DM หรือ Diabetes)

คือ โรคเรื้อรังเป็นภาวะที่เกิดจากความผิดปกติของการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน ส่งผลให้ไม่สามารถนำน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่เซลล์ ทำให้เซลล์ไม่สามารถนำกลูโคสไปใช้เป็นแหล่งพลังงานรวมไปถึงการสังเคราะห์ไขมันและโปรตีนในร่างกายได้ ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูง ซึ่งสาเหตุเกิดจากตับอ่อนผลิตอินซูลินไม่เพียงพอหรือเซลล์ในร่างกายไม่ตอบสนองอย่างเหมาะสมต่ออินซูลินที่ผลิต หากอินซูลินมีปัญหา ก็จะส่งผลให้เซลล์ไม่สามารถดึงน้ำตาลไปใช้ได้ น้ำตาลจึงตกค้างในกระแสเลือดมากเกินไป จึงขับของเสียออกมาทางปัสสาวะ เป็นเหตุให้ปัสสาวะหวาน

โรคเบาหวานแบ่งได้เป็น 3 ชนิด หลัก ได้แก่ (ณัฐรุส สิบหมู่, 2552)

โรคเบาหวานชนิดที่ 1 (type 1 diabetes) หรือเรียกอีกชื่อว่าเบาหวานที่ต้องพึ่งพาอินซูลิน (insulin-dependent diabetes) ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานชนิดนี้มีประมาณ 10-20% และส่วนใหญ่อยู่ในวัยเด็กหรือวัยรุ่น เกิดจาก β -cell ของตับอ่อนถูกทำลายทำให้ขาดอินซูลิน (insulin) ซึ่งเป็นฮอร์โมนชนิดโปรตีน ส่งผลให้กลูโคสในกระแสเลือดสูง

โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (type 2 diabetes) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเบาหวานที่ไม่พึ่งพาอินซูลิน (non-insulin-dependent diabetes) ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานชนิดนี้มีประมาณ 80-90% และส่วนใหญ่มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป เกิดจากมีการดื้อต่ออินซูลินในเซลล์เป้าหมาย เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ เซลล์ตับ เซลล์ไขมัน เป็นต้น

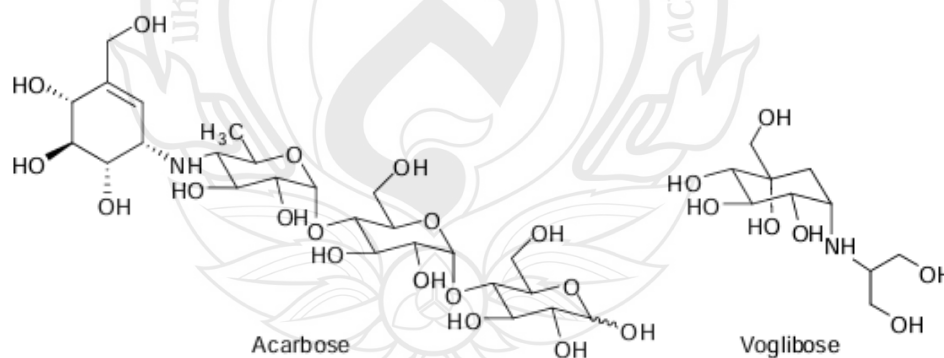
และโรคเบาหวานชนิดที่ 3 เป็นโรคเบาหวานที่เกิดกับหญิงมีครรภ์ซึ่งไม่เคยมีประวัติเบาหวานมาก่อน

2.2 การรักษาโรคเบาหวาน

ยาที่ใช้ในการรักษาโรคเบาหวานในปัจจุบัน มีหลายกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มยาเม็ดลดระดับน้ำตาลในเลือด (oral hypoglycemic agents) ตัวอย่างเช่น ยาซัลฟา (Sulfonylurea) ยากลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มซัลฟา (Rapid acting non-sulfonyl ureal insulin secretagogue) กลุ่มที่ 2 ได้แก่ ยาที่เพิ่ม

การออกฤทธิ์ของอินซูลิน (insulin sensitizer) ตัวอย่างเช่น Metformin Thiazolidinedione ซึ่งยาทั้งสองกลุ่มข้างต้นส่วนใหญ่จะมีผลข้างเคียง เช่น ยา chlorpropamide ซึ่งเป็นยาในกลุ่มยาซัลฟา เป็นยาที่ออกฤทธิ์ยาวทำให้เกิดผลข้างเคียง ได้แก่ SIADH ส่งผลให้เกิด hyponatremia รวมทั้งทำให้เกิด hypoglycemia ในผู้สูงอายุ ยา Metformin มีผลข้างเคียงที่พบบ่อย ได้แก่ เบื่ออาหาร ลื่นไม่รับรส คลื่นไส้ และควรหลีกเลี่ยงการใช้ยาชนิดนี้กับผู้ป่วยที่เสี่ยงต่อการเกิดภาวะ lactic acidosis เช่น โรคตับ โรคหัวใจล้มเหลว ยา Pioglitazone (Avandia) และ Pioglitazone (Actos) ซึ่งเป็นยาในกลุ่ม Thiazolidinedione มีผลเสียได้แก่ ทำให้ผู้ป่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นประมาณ 4-5 กิโลกรัม เนื่องจากการคั่งของน้ำและพบว่าทำให้ระดับ hemoglobin ลดลง และทำให้เกิดตับอักเสบได้ยาอีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วยโรคเบาหวาน

ยาอีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วยโรคเบาหวาน ได้แก่ ยาที่ยับยั้งการดูดซึมอาหารคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ (α -Glucosidase inhibitors) ยากลุ่มนี้เป็นยาที่ออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -Glucosidase ที่ผนังลำไส้ทำให้การดูดซึมกลูโคสลดลงและช้าลง มีผลในการลดระดับน้ำตาลหลังอาหาร (postprandial glucose) เป็นส่วนใหญ่ ยากลุ่มนี้ถูกดูดซึมเข้าร่างกายน้อยมากทำให้ไม่มี systemic side effects ผลข้างเคียงที่พบบ่อย ได้แก่ ท้องอืด ผายลมบ่อย ถ่ายเหลว ปวดท้อง โดยเฉพาะถ้าได้รับยาในระดับสูง การเริ่มใช้ยาในขนาดต่ำ ๆ และค่อย ๆ ปรับเพิ่มขึ้นจะช่วยลดการเกิดผลข้างเคียงได้ ยากลุ่มนี้ได้แก่ acarbose (Glucobay) และ voglibose (Basen) (จเร จรฺสจฺรญพงศ์ และอนันต์ อธิพรชัย, 2562)



ที่มา จเร จรฺสจฺรญพงศ์ และอนันต์ อธิพรชัย (2562)

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของ Acarbose และ Voglibose ซึ่งเป็นยาที่ยับยั้งการดูดซึมอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตในลำไส้

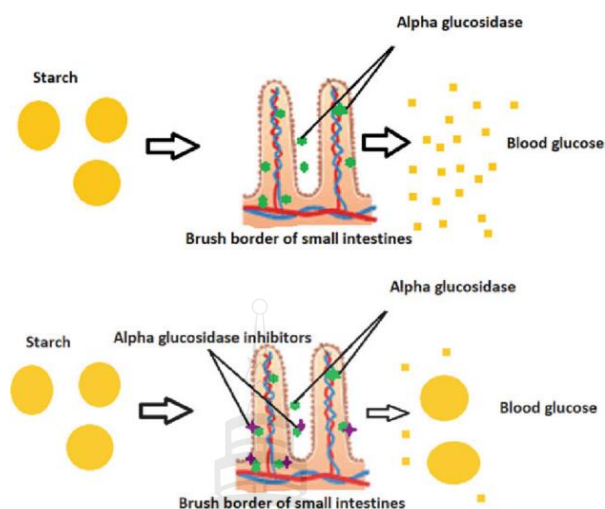
2.3 เอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase)

เป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่ง โดยพบในบริเวณลำไส้เล็กทำหน้าที่ในการย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส (glucose) ทำให้เกิดการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสจากลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือด มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดสูง ดังนั้น ถ้าสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสได้ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งในการชะลอหรือยับยั้งการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดจะลดลงทำให้ผู้ป่วยเบาหวานประเภทที่ 2 เกิดสภาวะการคั่งของน้ำตาลในเลือดลดลงด้วยเช่นกัน

2.4 สารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase Inhibitors)

สารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase inhibitor) มักใช้เป็นแนวทางในการรักษาในลำดับแรกเพื่อจัดการภาวะน้ำตาลในกระแสเลือดสูง การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสจะส่งผลให้การดูดซึมกลูโคสในลำไส้จากทางเดินอาหารเกิดขึ้นได้ช้าลง ออกฤทธิ์ยับยั้งการดูดซึมอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตในลำไส้ ทำให้ร่างกายลดการดูดซึมกลูโคส จึงสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลในเลือดที่เพิ่มสูงขึ้นหลังมื้ออาหาร ระดับน้ำตาลในเลือดที่ลดลงทำให้ oxidative stress ที่เกิดในผนังหลอดเลือดลดลงด้วย ทำให้ลดการเกิด vascular complication ในผู้ป่วยเบาหวานได้ และยังทำให้ตับอ่อนหลั่งอินซูลินเพื่อลดระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหารได้อีกด้วย

ปัจจุบันการรักษาโรคเบาหวานมีการใช้ยาในกลุ่มนี้หลายชนิด เช่น อะคาโบส (acarbose) วอกลิบอส (voglibose) และมิกลิทอล (miglitol) โดยจะมีผลในการลดระดับน้ำตาลหลังอาหาร (postprandial glucose) เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามการรักษาด้วยตัวยับยั้งแอลฟา-กลูโคซิเดสก็มีอาการข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์หลายอย่าง เช่น อาการท้องอืด แน่นท้อง ผายลมบ่อย ถ่ายเหลว ปวดท้อง (ธนกรณ์ คำสุต และคณะ, 2563)



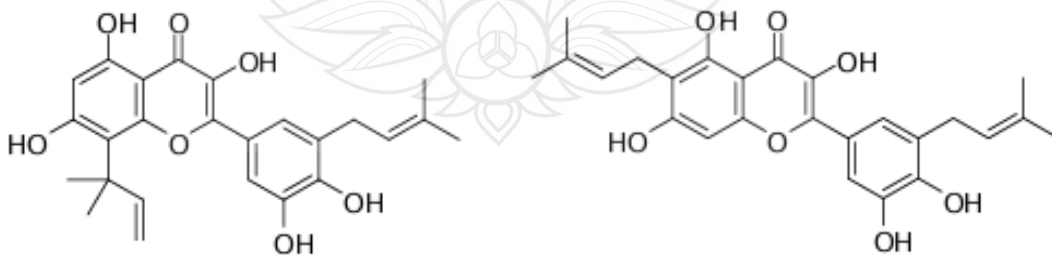
ที่มา Adinortey and N'guessan (2022)

ภาพที่ 2.2 กลไกการออกฤทธิ์ของสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase Inhibitors)

มีรายงานการค้นพบสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -Glucosidase ที่ผนังลำไส้หลายชนิดทั้งจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติและสารสังเคราะห์ (Ghani, 2015) ตัวอย่างแสดงได้ดังนี้

โครงสร้างจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ที่เคยมีรายงานแบ่งตามกลุ่มโครงสร้างได้ดังนี้

2.4.1 สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ในปี 2010 มีรายงานว่าสามารถแยกสารกลุ่ม polyphenol จำนวน 12 โครงสร้างได้จากต้นปอกระสา ซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Broussonetia papyrifera* โดยพบว่า สาร dimethylallyl tetra hydroxy flavonol และ papyriflavonol A มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase โดยพบว่าฤทธิ์ในการยับยั้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อโครงสร้างมีหมู่ prenyl เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.3 โครงสร้าง สาร Dimethylallyltetrahydroxyflavanol และ Papyriflavonol A

Tabopda (2008) รายงานว่า พืชที่อยู่ในจีนัส ดอร์ททีเนีย (*Dorstenia*) ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารกลุ่ม coumarin และ flavonoids โดยเฉพาะ flavonoid ที่มีหมู่แทนที่เป็นหมู่

prenyl หรือ geranyl โดยในประเทศแถบแอฟริกา อเมริกากลางและอเมริกาใต้ได้ใช้พืชกลุ่มนี้เป็นยาต้านพิษ ด้านการติดเชื้อ และรักษาโรคไขข้อ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสาร ซึ่งแยกได้จากพืช Cameroonian *Dorstenia psilurus* ซึ่งอยู่ในจีนัส *Dorstenia* มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase โดยมีค่า $IC_{50} = 4.13 \mu M$ และ $7.51 \mu m$ ตามลำดับ

2.4.2 สารกลุ่มแซนโทน (Xanthones) สารกลุ่ม Xanthone ที่แยกได้จาก *Cudrania tricuspidata* (*Cudrania tricuspidata*) ส่วนใหญ่มีฤทธิ์ด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันด้านการแข็งตัวของเส้นเลือดหัวใจและฤทธิ์ต้านอักเสบ ต่อมาในปี 2007 Seo et al. (2007) ได้รายงานว่ามีสาร *macluraxanthone B* *cudraxanthone L* 1,3,7-trihydroxy-4 (1,1-dimethyl-2-propenyl)-5,6-(2,2-dimethylchromeno)xanthone และ *cudratricusxanthone F* มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase

Xu et al. (2024) รายงานว่า สารสกัดจากพืช เช่น สารประกอบฟีนอลิก พอลิแซ็กคาไรด์ เทอร์พีนอยด์ และลิพิด นอกจากคุณค่าทางโภชนาการ ความปลอดภัยทางเภสัชวิทยา ยังพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase inhibitor)

2.5 สารประกอบฟีนอล (Phenolic Compounds)

สารประกอบฟีนอล เป็นกลุ่มสารทุติยภูมิที่พบได้ทั่วไปในผัก ผลไม้ ไขมัน ชา น้ำมันมะกอก และช็อคโกแลต เป็นต้น สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่จะพบในรูป อนุพันธ์และหรือไอโซเมอร์ของฟลาโวนอยด์ ไอโซฟลาโวน (isoflavone) สารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid) คาร์ทีซิน และกรดฟีนอลิก (phenolic acids) สารเหล่านี้มีฤทธิ์หลายอย่าง เช่น ด้านการเกิดสภาวะออกซิเดชัน

สารประกอบฟีนอล เป็นสารต้านออกซิเดชันที่พบมากในอาหาร ในธรรมชาติพบมากกว่า 8,000 ชนิด เป็นสารทุติยภูมิที่สร้างขึ้นโดยพืช โดยมีโครงสร้างประกอบด้วย หมู่ไฮดรอกซีเกาะอยู่กับวงแหวนเบนซีน สามารถจำแนก ชนิดของสารประกอบฟีนอลเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่

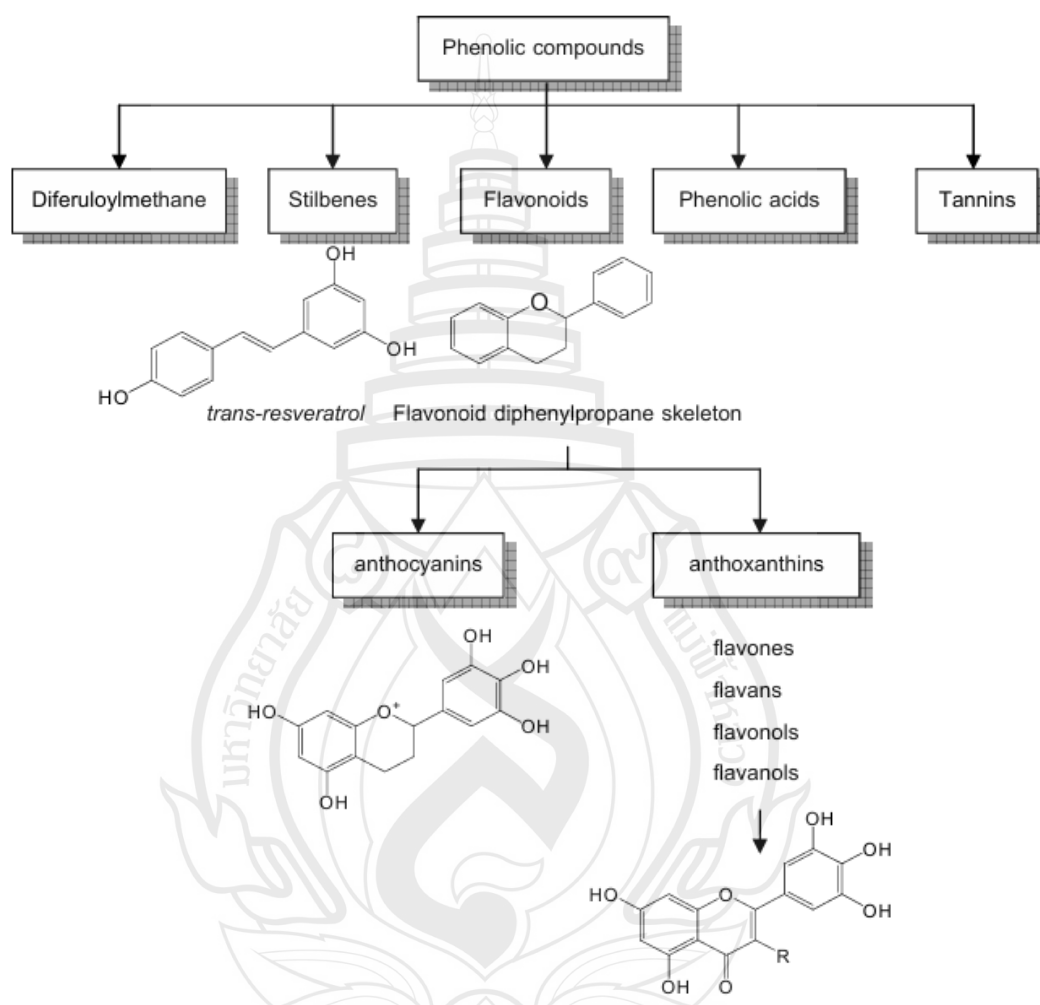
2.5.1 กลุ่มกรดฟีนอลิก (phenolic acids) ที่มาจาก hydroxybenzoic acids ได้แก่ gallic acid และกรดฟีนอลิก ที่มาจาก hydroxycinnamic acid ได้แก่ caffeic, ferulic และ coumaric acid

2.5.2 กลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นกลุ่มใหญ่ ประกอบด้วยกลุ่ม ฟลาโวนส์ ไอโซฟลาโวนส์ ฟลาโวนอลส์ แอนโธไซยานินส์ และฟลาวานอลส์

2.5.3 กลุ่มสตีลบีน (stilbenes)

2.5.4 กลุ่มลิกนินส์และโพลีเมอร์ของลิกนินส์

สารประกอบฟีนอล พบมากในผลไม้ ผัก และเครื่องดื่ม ร่างกายได้รับกรดฟีนอลิกประมาณ 1 ใน 3 และ 2 ใน 3 จะเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ ที่พบมากในอาหารจะอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอลส์ เช่น คาเทชิน (catechin) และ โปรแอนโธไซยานินส์ และกลุ่มแอนโธแซนทินส์ (anthoxanthins) (ลือชัย บุตุคป, 2554)



ภาพที่ 2.4 การจำแนกประเภทของสารประกอบฟีนอลในอาหาร

กรดฟีนอลิก เป็นกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มหนึ่งที่ถูก สร้างขึ้นโดยพืช สามารถแบ่งกรดฟีนอลิกได้ 2 ชนิด ได้แก่

2.5.4.1 กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acids) เป็นกรดฟีนอลิกกลุ่มใหญ่ ที่สุดพบทั่วไปในพืช ที่พบมาก ได้แก่ p-coumaric, caffeic, ferulic และ sinapic acids ฤทธิ์ทางชีวภาพของกรดชนิดนี้คือ สามารถต้านการออกซิเดชันของ low-density lipoprotein (LDL) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) พบในผลไม้ ผัก เครื่องเทศ และเครื่องดื่ม กรดคาเฟอิกฟีนิลเอสเทอร์

(caffeic acid phenethyl ester, CAPE) ใช้ประโยชน์ทางยา โดยเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านสารก่อมะเร็ง ด้านภาวะการอักเสบ และมีคุณสมบัติในการช่วยปรับระบบภูมิคุ้มกัน จากการศึกษาพบว่า กรดคาเฟอิกสามารถต้านออกซิเดชัน สามารถกำจัดอนุมูลอิสระและโครงสร้างมีความเสถียร สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และ Low-density lipoprotein (LDL) ป้องกันเนื้อเยื่อและดีเอ็นเอจากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.5.4.2 กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acids) เช่น กรดซาลิไซลิก (2-hydroxybenzoate) มักถูกพบบริเวณผนังเซลล์พืช กรดเอลลาจิก (ellagic acid) พบในไวน์แดง และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ ทับทิม เกาลัดบางชนิด กรดนี้มักพบในรูปแบบ ellagitannin มีประสิทธิภาพเป็นสารต้านออกซิเดชัน สามารถต้านไวรัส และกำจัดอนุมูลอิสระ กรดแกลลิก (gallic acid) พบมากใน พืชหลายชนิด พืชที่มีกรดนี้สูง ได้แก่ สมอ องุ่น ชา ฮอบ และเปลือกต้นโอ๊ก กรดแกลลิกมีคุณสมบัติที่น่าสนใจหลาย อย่าง เช่น คุณสมบัติในการต้านเชื้อราและต้านเชื้อไวรัส นอกจากนี้ยังสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันไม่ให้ เซลล์ถูกทำลาย

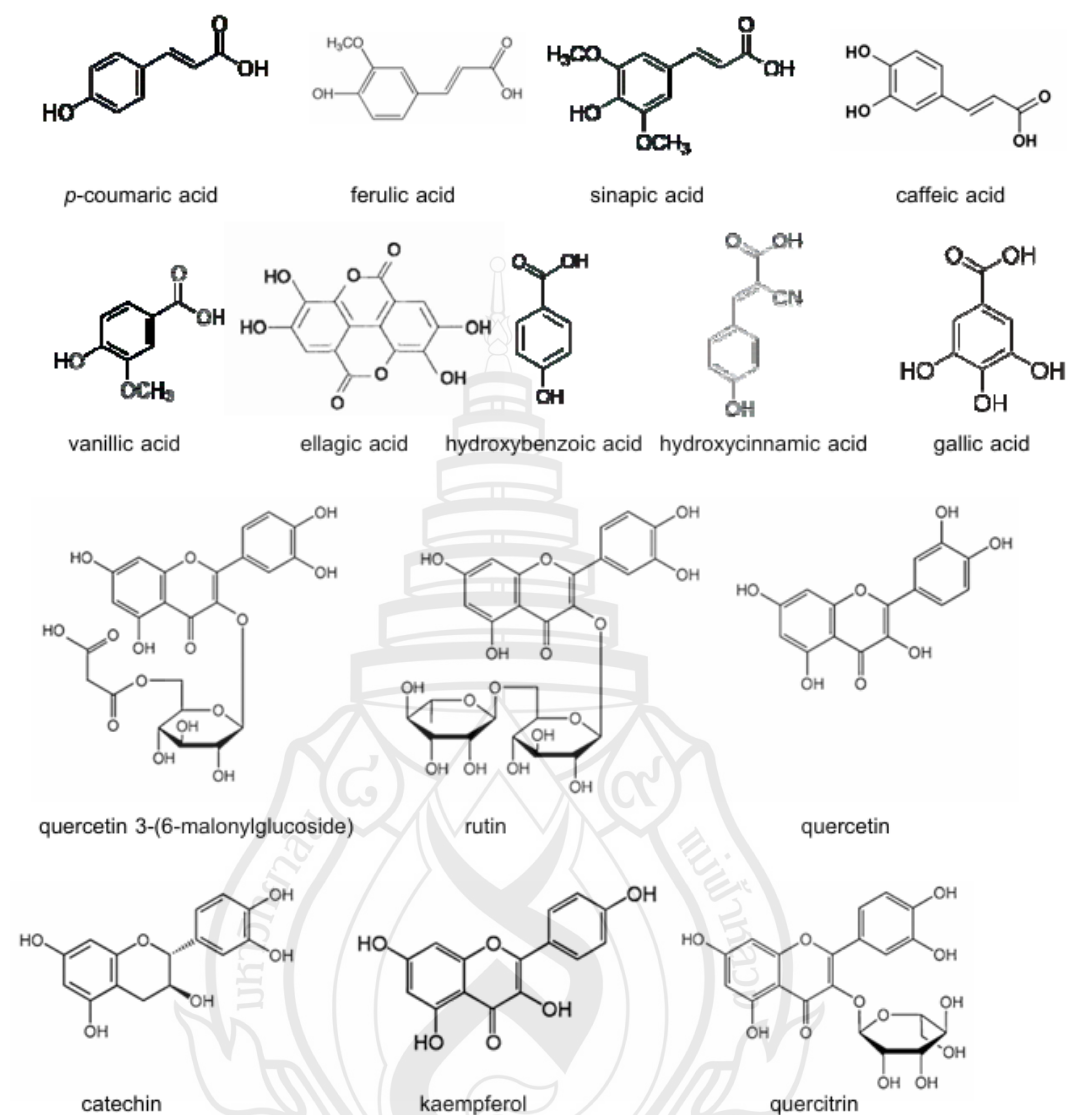
2.6 ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)

เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบมากที่สุด พบได้ทั่วไปในอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืช เช่น ผัก และผลไม้

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม หลักๆ คือ

2.6.1 แอนโธไซยานินส์ (anthocyanins) ซึ่งจะพบ ในรูปของอนุพันธ์ต่าง ๆ พบมากในสีของดอกไม้ ผัก และ ผลไม้

2.6.2 แอนโธแซนทีนส์ (anthoxanthins) เป็นกลุ่มสาร ที่ไม่มีสีประกอบด้วยกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ กลุ่มฟลาโวนส์ ฟ ลาวานส์ ไอโซฟลาโวนส์ ฟลาโวนอลส์ ฟลาวานอลส์ และ อนุพันธ์ที่อยู่ในรูปไกลโคไซด์ ชนิดของฟลาโวนอยด์ที่พบส่วนใหญ่ คือ ไมริเซติน (myricetin) ฟิเซติน (fisetin) เคอซี ติน (quercetin) และเคมเฟอรอล (kaempferol) คาเทชิน (catechin) เป็นสารฟลาโวนอยด์ กลุ่มฟลาวานอลส์ พบมากในชาเขียวซึ่งมี 4 ชนิด ได้แก่ epicatechin (EC), (-)-epicatechin-3-gallate (ECG), (-)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) (ลือชัย บุตุคุป, 2554)



ที่มา ลือชัย บุตุคุป (2554)

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์

2.7 ชาเขียว

คือ ใบชา (*Camellia sinensis*) ที่ไม่ผ่านการหมัก เตรียมได้โดยการนำใบชาสดมาผ่านความร้อนเพื่อให้แห้งอย่างรวดเร็ว ความร้อนจะช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทำให้ไม่เกิดการสลายตัว ทำให้ได้ใบชาที่แห้งแต่ยังสดอยู่และยังมีสีที่ค่อนข้างเขียวจึงเรียกว่า ชาเขียว สารสำคัญที่พบได้ในชาเขียวได้แก่ กรดอะมิโน วิตามิน B, C, E สารในกลุ่มแซนทีนอัลคาลอยด์ (xanthine

alkaloids) คือ คาเฟอีน (caffeine) และธีโอฟิลลีน (theophylline) ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางส่งผลให้ร่างกายรู้สึกกระปรี้กระเปร่า และสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ที่เรียกว่า แคททีชิน (catechins) แคททีชินที่พบมากที่สุดในชาเขียวคือ สารอีพิกัลโลคาเทชินกัลเลต (epigallocatechin gallate) ซึ่งมีความสำคัญในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (จิตรรัตน์ จันทร์ดอน (n.d.)

Teixeira Oliveira et al. (2023) รายงานว่า สารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในเครื่องดื่มชาเขียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาเทชิน เช่น คาเทชินแกลเลต, gallocatechin gallate, epicatechin gallate และ epigallocatechin gallate มีความสามารถในการยับยั้ง เอนไซม์ α -glucosidase ที่ 78.17% ซึ่งเป็นไปตาม ตามที่ Xiao และคณะ (2013) พบว่า สารประกอบฟีนอลิกมีศักยภาพในการยับยั้ง เอนไซม์ α -glucosidase สูง และในบรรดาสารประกอบที่มีศักยภาพมากที่สุดคือ catechins (Jayabalana et al., 2007)

2.8 บัวหลวง

บัวหลวง หรือ บัวหลวงอินเดีย (อังกฤษ: Indian Lotus, Sacred Lotus, Bean of India) เป็นพืชน้ำในสกุลบัวหลวง (Nelumbo) วงศ์บัว (NELUMBONACEAE) บัวหลวงพันธุ์ดอกสีชมพู (บัวแหลมชมพู) มีชื่อว่า ปทุม ปัทมา โกกระนต หรือโกกนุด ดอกขนาดใหญ่ ดอกตูมเป็นรูปไข่ ปลายเรียวสีชมพู กลีบดอกชั้นนอกมี 4-5 กลีบ รูปไข่มีขนาดเล็ดเรียงตัวกัน 2 ชั้น ส่วนกลางของกลีบมีรูปร่างโค้งป่อง ตรงกลางสีชมพูอมเขียว ส่วนกลีบดอกชั้นกลางและชั้นในสีชมพูเข้ม โคนกลีบดอกสีขาวนวล มีประมาณ 13-14 กลีบ เรียงตัวเป็นชั้น ประมาณ 3 ชั้น อยู่โดยรอบฐานดอก กลีบชั้นนอกและชั้นในมีสีและรูปร่างคล้ายชั้นกลางแต่เล็กกว่ากลีบในชั้นกลาง

บัวมีคุณสมบัติทางชีวภาพหลายประการ เนื่องจากมีสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีคุณสมบัติในการ การต่อต้านริ้วรอย ลดน้ำตาลในเลือด ปรับระบบทางเดินอาหาร ด้านการอักเสบ ด้านไวรัส และคุณสมบัติควบคุมภูมิคุ้มกัน (Punia Bangar et al., 2022)

2.8.1 สารประกอบในเมล็ดบัว Xu et al. (2024) รายงานว่า จากการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดจากเปลือกของเมล็ดบัวโดยใช้วิธี UPLC-MS สารประกอบหลักที่พบ คือ คาเทชิน, กรดโปรโตคาเทชอิก และ ไดคัตชิน คิดรวมเป็น 75.92% ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยมีรายงานว่า พบสารอื่น ๆ ได้แก่ ไอโซฟลาโวน, โปรไซยานิดิน, ฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ Xu et al. (2024) ยังพบว่า สารสกัดจากเมล็ดบัวช่วย เพิ่มการทำงานของ α -glucosidase ในหนูที่เป็นเบาหวาน โดยยับยั้งเอนไซม์ ได้ 13.4%-39.4% ซึ่งผลการยับยั้งเอนไซม์ยังต่ำกว่าอะคาร์โบส ซึ่งลด

การทำงานของ α -glucosidase ลง 74.9% การศึกษาสรุปว่าสารสกัดจากเมล็ดบัวอาจส่งผลต่อการเผาผลาญกลูโคสในหนูที่เป็นเบาหวานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับ Deng et al. (2024) ที่มีการวิเคราะห์สารฟีนอลของผงเปลือกเมล็ดบัวโดยใช้ HPLC-PAD พบฟีนอลิกจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ 5 ชนิด และกรดฟีนอลิก 3 ชนิด โดยสารฟลาโวนอยด์ที่โดดเด่น ได้แก่ คาเทชิน เอพิกาทะชิน รูติน ฟลอริซิน และเคอซีติน คิดเป็นร้อยละ 23.89, 11.33%, 9.68%, 4.00% และ 0.08% ของฟีนอลทั้งหมด ตามลำดับ กรดฟีนอลิกส่วนใหญ่เป็นกรดแกลลิก กรดเฟรุลิก และกรดคาเฟอิก โดยมีอัตราส่วน 6.93% 0.16% และ 0.05% ตามลำดับ ซึ่งฟลาโวนอยด์ที่ถูพบ เป็นฟีนอลพื้นฐานที่พบได้ในเมล็ดบัว และศึกษาแสดงให้เห็นว่ากรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในผงเปลือกเมล็ดบัวในระดับสูงอาจออกฤทธิ์เสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในอาหารได้

2.8.2 สารประกอบในดอกบัว Lu et al. (2023) รายงานว่า ทุกส่วนของบัวมีสารฟลาโวนอยด์ แต่ส่วนที่มีมากที่สุดคือ ดอก บัวจัดเป็นพืชที่มีสารเคมีที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ ฟลาโวนอยด์ และอัลคาลอยด์ ซึ่งมีหน้าที่ในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและทางยา ในบรรดาฟลาโวนอลอะไกลโคไซด์ที่พบในธรรมชาติ ได้แก่ ไมริเซติน แคปเฟอร์อล ไอโซแฮมเนติน และเคอซีติน สารพฤษเคมีแตกต่างกันไปตามแหล่งพันธุกรรมและส่วนต่างๆ ของพืช ส่งผลให้เกิดกิจกรรมทางชีวภาพที่แตกต่างกัน โดยสารฟลาโวนอล อนุพันธ์ของแคมป์เฟอร์อล อนุพันธ์ของไมริเซติน และอนุพันธ์ของเคอร์ซีติน มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase inhibitors) ซึ่งสอดคล้องกับ (Liu et al., 2023) ที่รายงานไว้ว่า ฟลาโวนอยด์มีอยู่ทุกส่วนของดอกบัว โคนส่วนใหญ่พบในดอก สารฟลาโวนอล คิดเป็นประมาณ 85% ของฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในดอก ซึ่งพบมากกว่า 10 ชนิด โดยในจำนวนนั้น เคอร์ซีติน ไมริเซติน แคมเฟอร์อล และไอโซแฮมเนติน ที่เป็นสารประกอบที่พบได้บ่อยที่สุด อย่างไรก็ตาม สารพฤษเคมี หรือไฟโตนิวเทรียนท์ (Phytochemicals) จะแตกต่างกันไปตามแหล่งพันธุกรรมพืชและส่วนต่าง ๆ ของพืช ส่งผลให้มีกิจกรรมทางชีวภาพที่หลากหลาย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบของการวิจัย

รูปแบบการศึกษาค้นคว้าอิสระในครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงห้องปฏิบัติการ (Laboratory Study) โดยการตรวจวัดและเปรียบเทียบ % การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -Glucosidase inhibitors) ในผลิตภัณฑ์ชา จากส่วนต่าง ๆ ของบัว

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1 กลีบดอกบัวหลวงแห้ง ผลิตภัณฑ์ชุมชนตำบลทับบกฤช

3.2.2 เกสรบัวหลวงแห้ง ผลิตภัณฑ์ชุมชนตำบลทับบกฤช

3.2.3 ดิบัวแห้ง ผลิตภัณฑ์ชุมชนตำบลทับบกฤช

อายุของบัวที่นำมาเป็นตัวอย่าง อยู่ระหว่าง 3-5 เดือน ปลูกที่ ตำบล ทับบกฤช อำเภอ ชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์

3.2.4 ชาเขียว ผลิตภัณฑ์ โครงการหลวง แหล่งปลูก ห้วยน้ำขุ่น ตำบลแม่ฟ้าหลวง อำเภอ แม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำกลีบบัวแห้ง เกสรบัวแห้ง ดิบัวแห้ง และชาเขียว ปริมาณอย่างละ 10 กรัม เติมน้ำร้อน (80-85 องศาเซลเซียส) ปริมาณน้ำร้อน 100 มล. แช่ไว้ 2 นาที

3.4 เครื่องมือที่ใช้

3.4.1 ปีกเกอร์ beaker

3.4.2 ไมโครปิเปต (Micropipettes) หรือ ออโต้ปิเปต (Autopipettes)

- 3.4.3 นาฬิกาจับเวลา
- 3.4.4 แท่งแก้ว
- 3.4.5 ตะแกรงกรอง
- 3.4.6 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 3.4.7 เทอโมมิเตอร์
- 3.4.8 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล
- 3.4.9 หลอดทดลองแบบ Microtube (Eppendorf tube)
- 3.4.10 เครื่องเขย่าสาร (Vortex Mixer Genie 2)
- 3.4.11 คิวเวทท์ (Cuvette)
- 3.4.12 เครื่อง Ultra violet -Visible Spectrophotometer (UV-VIS)

3.5 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส ด้วยวิธี p-nitrophenol colorimetric โดยใช้คาร์โบส (acarbose) เป็นสารมาตรฐาน ในการทดลองจะใช้ p-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (PNP-G) เป็นสารละลายใสไม่มีสีทำหน้าที่เป็นสับสเตรทในปฏิกิริยา โดยเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส จะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับ PNP-G ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส และ p-nitrophenol ซึ่งเป็นสารละลายสีเหลืองและทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร คำนวณหาค่าร้อยละของการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (% α -glucosidase inhibition) (Sombuthphoothorn, 2020)

3.5.1 การเตรียมสารละลาย

- 2.5.1.1 เตรียม 0.1 M potassium phosphate buffer pH 6.8
- 2.5.1.2 เตรียมเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส 1 unit/mL ใน 0.1 M potassium phosphate buffer pH 6.8
- 2.5.1.3 เตรียม p-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (PNP-G substate) ความเข้มข้น 2 mM ใน 0.1 M potassium phosphate buffer pH 6.8
- 2.5.1.4 เตรียม Na_2CO_3 ความเข้มข้น 1 mM ใน 0.1 M potassium phosphate buffer pH 6.8

2.5.1.5 เตรียมสารมาตรฐาน Acarbose ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใน 0.1 M potassium phosphate buffer (pH 6.8) และปรับระดับความเข้มข้นเป็น 7 ความเข้มข้น ได้แก่ 20, 40, 60, 80, 100, 120 และ 140 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (0.02–0.14 mg/mL)

3.5.2 วิธีทำการทดลอง (Saithong Sombutphoothorn, 2020)

2.5.2.1 นำสารตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน acarbose ปริมาตร 120 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองแบบ microtube (Eppendorf) ขนาด 1.5 mL

2.5.2.2 เติมสารละลายเอนไซม์ α -glucosidase ความเข้มข้น 1 unit/mL ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลอด

2.5.2.3 ปิดฝาหลอด และ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 5 วินาที เพื่อผสมสารละลายให้เข้ากันอย่างทั่วถึง

2.5.2.4 บ่มสารผสมที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

2.5.2.5 3.5.2.5 เติมสารละลาย p-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside (PNP-G) ความเข้มข้น 2 mM ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลอด

2.5.2.6 ปิดฝา และ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร อีกครั้งเป็นเวลา 5 วินาที

2.5.2.7 บ่มสารผสมที่อุณหภูมิ 37°C ต่ออีก 20 นาที โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

2.5.2.8 เติมสารละลาย sodium carbonate (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 1 mM ปริมาตร 320 ไมโครลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา

2.5.2.9 เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารอีกครั้งเป็นเวลา 5 วินาที เพื่อผสมให้ทั่วถึง

2.5.2.10 ย้ายสารละลายทั้งหมดไปยัง คิวเวท (Cuvette) สำหรับวัดการดูดกลืนแสง

2.5.2.11 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 nm ด้วย เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

2.5.2.12 ทำซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง

2.5.2.13 นำค่าที่วัดได้ มาคำนวณหาการยับยั้ง (% inhibition) ซึ่ง คำนวณได้จาก

$$\% \text{ inhibition} = 100 \times (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}$$

A control คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่มีสารตัวอย่าง

A sample คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

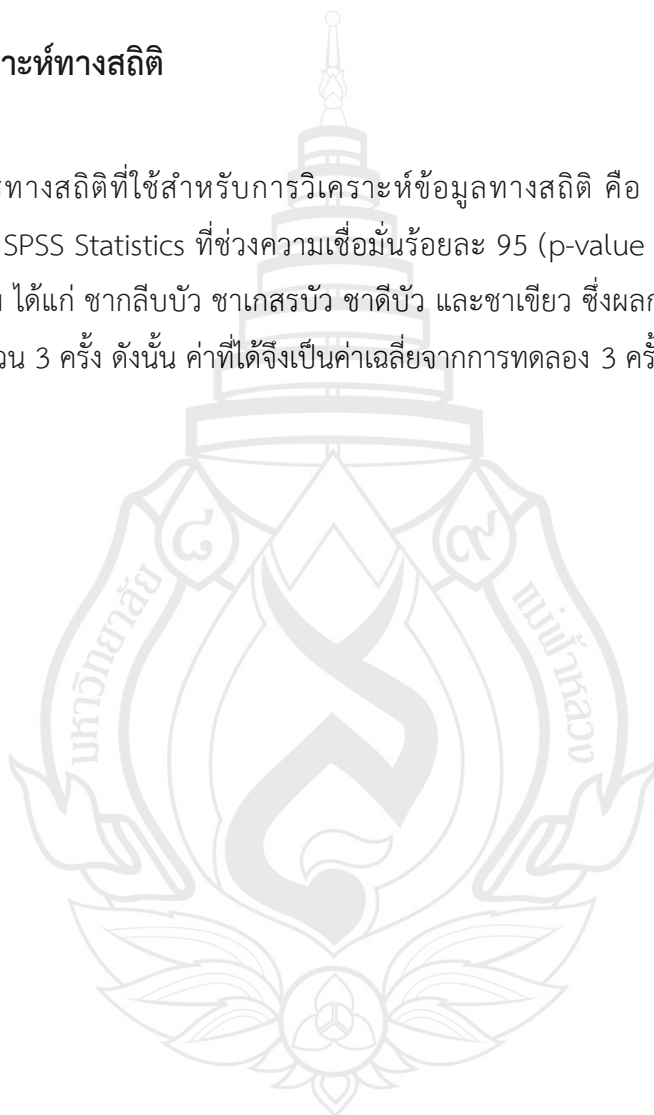
2.5.2.14 รายงานเป็นค่า IC_{50} เทียบกับสารมาตรฐาน acarbose

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลองในครั้งนี้ ใช้ห้องปฏิบัติการศูนย์นวัตกรรมสมุนไพรครบวงจร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิธีการทางสถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ คือ One-Way ANOVA ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\text{-value} < 0.05$) โดยเปรียบเทียบระหว่าง 4 กลุ่ม ได้แก่ ชากลีบบัว ชาเกสรบัว ชาดื่บัว และชาเขียว ซึ่งผลการทดลองจะเป็นผลการทดลองซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง ดังนั้น ค่าที่ได้จึงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง



บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่างชาสมุนไพรจากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัว ได้แก่ ชากลีบดอกบัวหลวง ชาเกสรบัวหลวง ชาดื่บบัวหลวง รวมถึงชาเขียว และใช้ Acarbose เป็นกลุ่มควบคุม เพื่อทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลาย คาร์โบไฮเดรตและควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การทดลองดำเนินการในห้องปฏิบัติการศูนย์ นวัตกรรมสมุนไพรครบวงจร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางชีวเคมี แบบ p-nitrophenol colorimetric assay ที่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเอนไซม์ได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้

ตารางที่ 4.1 ค่าดูดกลืนแสงและร้อยละการยับยั้งของสารตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง	n	A (Control + Enzyme)	B (Blank)	A-B	C (Sample + Enzyme)	D (Sample + Buffer)	C-D	% Inhibition
ชากลีบดอกบัวหลวง	3	1.200	0.100	1.100	0.450	0.120	0.330	70.00
ชาเขียว	3	1.200	0.100	1.100	0.700	0.130	0.570	48.18
ชาเกสรบัวหลวง	3	1.200	0.100	1.100	0.950	0.150	0.800	27.27
Acarbose (มาตรฐาน)	3	1.200	0.100	1.100	1.020	0.140	0.880	20.00
ชาดื่บบัวหลวง	3	1.200	0.100	1.100	1.150	0.160	0.990	10.00

หมายเหตุ ค่าทั้งหมดในตารางนี้เป็นการจัดเรียงตามหลักสูตรการคำนวณจากสูตร

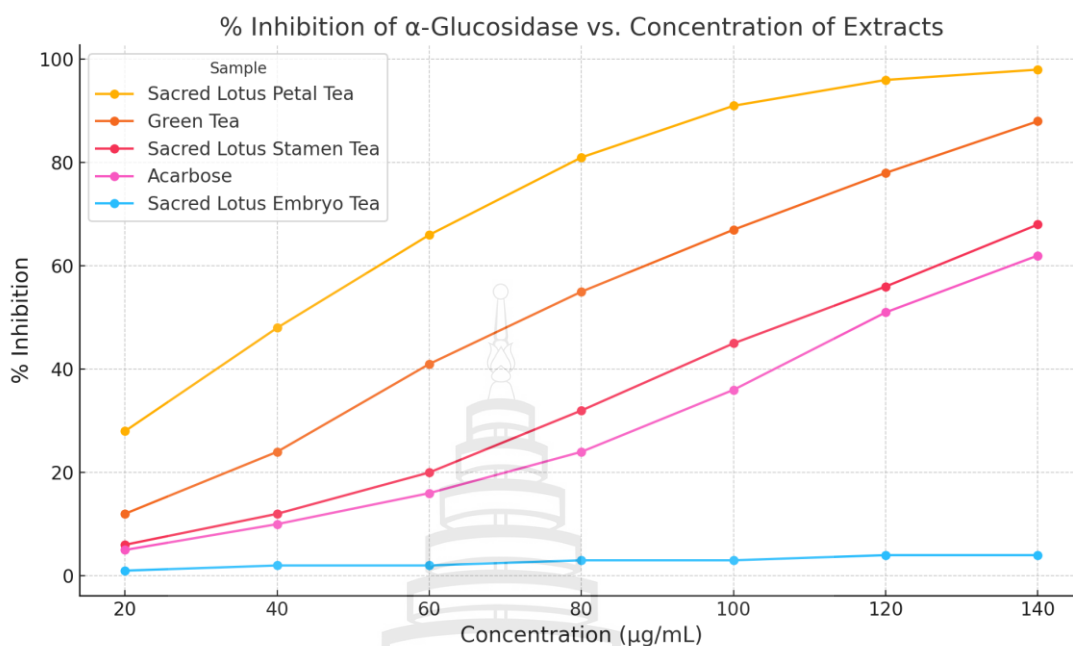
$$\% \text{ การยับยั้ง} = [(A - B) - (C - D)] / (A - B) \times 100$$

A คือ ค่าดูดกลืนของกลุ่มควบคุมที่มีเอนไซม์และสารตั้งต้น

B คือ กลุ่มควบคุมที่ไม่มีเอนไซม์

C คือ ค่าดูดกลืนของสารสกัดกับเอนไซม์

D คือ ค่าดูดกลืนของสารสกัดกับบัฟเฟอร์



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดชาสมุนไพรกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase

จากกราฟเส้นในภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า เปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดในทุกกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งสะท้อนให้เห็นลักษณะของปฏิกิริยาเชิงปริมาณระหว่างสารสกัดกับเอนไซม์ กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณของสารออกฤทธิ์ที่มีโอกาสเข้าไปจับกับเอนไซม์ก็เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การยับยั้งมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

กลุ่มชากลีบดอกบัวหลวง (Sacred Lotus Petal Tea) แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงสุดในทุกระดับความเข้มข้น โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ $25.66 \pm 0.43 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นที่ใช้ในการยับยั้งเอนไซม์ได้ 50% ส่วนกลุ่มชาเขียว (Green Tea) มีค่า % inhibition ร่องลงมา โดยสังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

กลุ่มชาเกสรบัวหลวง (Sacred Lotus Stamen Tea) และกลุ่มควบคุม Acarbose ให้ค่าการยับยั้งที่ต่ำกว่ากลุ่มข้างต้น โดยแม้ว่า Acarbose จะเป็นสารสังเคราะห์ที่ใช้เป็นตัวควบคุมมาตรฐาน แต่ผลการยับยั้งยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าชากลีบดอกบัวหลวงในช่วงความเข้มข้นที่ทดสอบ ส่วนกลุ่มชาดอบัวหลวง (Sacred Lotus Embryo Tea) แสดงค่าการยับยั้งที่ต่ำตลอดช่วงความเข้มข้น โดยไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

การทดลองนี้ใช้เทคนิค p-nitrophenol colorimetric assay ในการตรวจวัดผลการยับยั้งเอนไซม์ โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อเอนไซม์ α -glucosidase ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น จะปล่อย p-

nitrophenol ออกมา ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ หากมีสารยับยั้งอยู่ ปริมาณ p-nitrophenol ที่ผลิตได้จะลดลง ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของสารในการยับยั้งเอนไซม์

จากผลการทดลองสามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพการยับยั้งจากมากไปน้อย ได้แก่ ชากลิบดอกบัวหลวง > ชาเขียว > ชาเกสรบัวหลวง > Acarbose โดยชาดิบบัวหลวงไม่แสดงฤทธิ์การยับยั้งอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ

ตารางที่ 4.2 ค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดชาและ Acarbose กับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าความชัน (Slope, m)
ชาเขียว	0.68
ชากลิบดอกบัวหลวง	0.57
Acarbose (ยามาตรฐาน)	0.48
ชาเกสรบัวหลวง	0.47
ชาดิบบัวหลวง	0.03

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความชัน (slope) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดชาแต่ละชนิดและ Acarbose กับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase โดยใช้ข้อมูลจากกราฟในรูปที่ 4.2 ค่าความชันในที่นี้แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น ค่าดังกล่าวได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการเชิงเส้นตรงในรูปแบบ $y = mx + b$ ซึ่ง m แทนค่าความชัน ตารางนี้นำเสนอค่าดังกล่าวในรูปของตัวเลข และจัดลำดับแนวโน้มการตอบสนองต่อความเข้มข้นตามลำดับค่าความชันจากมากไปน้อย

ตารางที่ 4.3 ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ทำให้เอนไซม์ α -glucosidase (IC_{50})

ตัวอย่าง	n	IC_{50} ($\mu g/mL \pm SD$)
ชากลิบดอกบัว	3	25.66 ± 0.43
ชาเขียว	3	60.93 ± 0.95
ชาเกสร	3	134.01 ± 8.87
Acarbose (มาตรฐาน)	3	139.13 ± 3.08
ชาดิบบัวหลวง	3	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่า IC_{50} ของชากลีบดอกบัวหลวงอยู่ที่ $25.66 \pm 0.43 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดอื่น ๆ และสารควบคุมมาตรฐาน Acarbose แสดงถึงความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ที่สูงกว่ากลุ่มตัวอย่างอื่น ๆ ในขณะที่ชาดิบหลวงไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ในช่วงความเข้มข้นที่ทดสอบ

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ของค่า IC_{50} จากสารสกัดชาและ Acarbose ต่อการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase

แหล่งที่มาของความแปรปรวน	องศาอิสระ (df)	Mean Square	ค่าสถิติ F	p-value
ระหว่างกลุ่ม (Between Groups)	3	231.55	185.24	3.60×10^{-17}
ภายในกลุ่ม (Within Groups)	16	1.25	–	–
รวม (Total)	19	–	–	–

จากตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ของค่า IC_{50} แสดงให้เห็นว่าค่า IC_{50} ของกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายใต้ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า $F(3,16)$ เท่ากับ 185.24 และค่า p-value เท่ากับ 3.60×10^{-17} ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ($\alpha = 0.05$)

นอกจากนี้ ผลการทดสอบ Post-hoc ด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (Tukey's HSD) ชี้ให้เห็นว่าค่า IC_{50} ของชากลีบดอกบัวหลวงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากชาเขียว ชาเกสรบัวหลวง และ Acarbose ซึ่งแสดงว่ากลุ่มชากลีบดอกบัวหลวงมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ที่แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.5 ค่า IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) ของสารสกัดชาแต่ละชนิดและ Acarbose ต่อการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase พร้อมการทดสอบทางสถิติ

กลุ่มสารสกัด	ค่า IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) $\pm$ SD	ตัวอักษรแสดงความแตกต่าง (Tukey HSD)
ชากลีบดอกบัวหลวง	25.66 ± 0.43	a
ชาเขียว	60.93 ± 0.95	b
ชาเกสรบัวหลวง	134.01 ± 8.87	c
Acarbose (มาตรฐาน)	139.13 ± 3.08	c
ชาดิบหลวง	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง	–

จากตารางพบว่า ชากลีบดอกบัวหลวง (กลุ่ม a) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากชาเขียว (กลุ่ม b), ชาเกสรบัวหลวง และ Acarbose (กลุ่ม c)

ชาเขียว (กลุ่ม b) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากชากลีบดอกบัวหลวง (กลุ่ม a) และจากชาเกสรบัวหลวงและ Acarbose (กลุ่ม c) ชาเกสรบัวหลวงและ Acarbose (กลุ่ม c) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่า IC₅₀ รายคู่ของสารสกัดชาสมุนไพรรและ Acarbose โดยใช้ Tukey HSD

คู่สารสกัดที่เปรียบเทียบ	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย IC ₅₀ (µg/mL)	ค่า p-value
ชากลีบดอกบัวหลวง vs ชาเขียว	-35.27	< 0.001
ชากลีบดอกบัวหลวง vs ชาเกสรบัวหลวง	-108.35	< 0.001
ชากลีบดอกบัวหลวง vs Acarbose	-113.47	< 0.001
ชาเขียว vs ชาเกสรบัวหลวง	-73.08	< 0.001
ชาเขียว vs Acarbose	-78.20	< 0.001
ชาเกสรบัวหลวง vs Acarbose	-5.12	0.986

หมายเหตุ ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย IC₅₀ แสดงเป็นค่า µg/mL โดยค่าลบหมายถึงกลุ่มแรกมีค่า IC₅₀ ต่ำกว่ากลุ่มที่สอง ซึ่งบ่งชี้ถึงฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ที่แรงกว่า ค่า p-value แสดงผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้วิธี Tukey's Honestly Significant Difference (Tukey HSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า IC₅₀ ระหว่างคู่ของกลุ่มสารสกัดชาสมุนไพรรและกลุ่มควบคุม Acarbose โดยใช้วิธี Tukey HSD ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบ Multiple Comparison หลังการทดสอบ ANOVA เพื่อประเมินว่าคู่ของกลุ่มตัวอย่างใดมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย IC₅₀ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า IC₅₀ (Half-maximal inhibitory concentration) ที่ใช้ในตารางนี้เป็นตัวชี้วัดความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ 50% โดยค่าที่ต่ำกว่าบ่งชี้ถึงความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ที่มากกว่า ในตาราง ค่าความแตกต่างที่แสดงเป็นลบหมายความว่ากลุ่มสารสกัดกลุ่มแรกมีค่า IC₅₀ ต่ำกว่ากลุ่มที่สอง ข้อมูล p-value ใช้สำหรับพิจารณาว่าความแตกต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ภายใต้เกณฑ์ $p < 0.05$

จากผลการทดสอบ พบว่า มีเพียงคู่เปรียบเทียบระหว่างชาเกอร์บัวหลวงกับ Acarbose ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.986$) ส่วนคู่อื่น ๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้งหมด



บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase) ของสารสกัดจากชาสมุนไพรที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชบัวหลวง (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) ได้แก่ กลีบดอกบัวหลวง เกสรบัวหลวง และดื่บบัวหลวง โดยใช้ชาเขียวและยา Acarbose เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบ เนื่องจากเอนไซม์ α -glucosidase มีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายโพลีแซ็กคาไรด์ให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดหลังการบริโภคอาหาร การยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าวจึงเป็นกลไกที่มีความสำคัญต่อการควบคุมภาวะน้ำตาลในเลือดสูงโดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Kim et al., 2019; Li et al., 2020)

ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ในระดับ in vitro พบว่า สารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงมีฤทธิ์ยับยั้งสูงสุด โดยแสดงค่า IC_{50} เท่ากับ $25.66 \pm 0.43 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชาเขียว ($60.93 \pm 0.95 \mu\text{g/mL}$), ชาเกสรบัวหลวง ($134.01 \pm 8.87 \mu\text{g/mL}$) และยา Acarbose ($139.13 \pm 3.08 \mu\text{g/mL}$) ขณะที่สารสกัดจากดื่บบัวหลวงไม่พบฤทธิ์การยับยั้งในระดับที่ตรวจวัดได้ ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้กลีบดอกบัวหลวงเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ที่มีศักยภาพสูงในการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase

ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Deviation) ที่ต่ำของค่า IC_{50} สำหรับกลีบดอกบัวหลวงสะท้อนถึงความเสถียรและความสม่ำเสมอของสารประกอบออกฤทธิ์ในสารสกัด ซึ่งอาจสัมพันธ์กับปริมาณและองค์ประกอบของสารฟลาโวนอยด์ เช่น quercetin และ kaempferol ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่ามีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์นี้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความเสถียรทางเคมีสูง (Chen et al., 2021)

การที่ค่า IC_{50} ของยา Acarbose ซึ่งเป็นยาที่ใช้รักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในทางคลินิกมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวง เป็นผลสะท้อนถึงศักยภาพของสารธรรมชาติในการแสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจเป็นทางเลือกใหม่ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือเภสัชภัณฑ์จากสมุนไพรที่มีความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูง

ชาเขียวที่ใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบซึ่งมีสารสำคัญในกลุ่มโพลีฟีนอล เช่น epigallocatechin gallate (EGCG) แสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ได้ดีในระดับกลาง สะท้อนถึงคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาที่ได้รับการยอมรับอยู่แล้วในวงการวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม สารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงยังคงแสดงฤทธิ์ที่เหนือกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ผลการศึกษาดังกล่าว แสดงถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรจากบัวหลวงเพื่อใช้ในการจัดการระดับน้ำตาลในเลือด

โดยสรุป งานวิจัยนี้สามารถยืนยันได้ว่าสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงมีศักยภาพสูงในการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ซึ่งสูงกว่าสารสกัดจากส่วนอื่นของบัวหลวงและยา Acarbose ที่ใช้เป็นมาตรฐาน ส่งผลให้สารสกัดดังกล่าวมีความเหมาะสมและเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาจากสมุนไพรไทยต่อไป

5.2 อภิปรายผล

ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงในการแสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตสู่กลูโคส อันเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด การยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าวจึงเป็นกลไกสำคัญที่ถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงมีศักยภาพเหนือกว่ามาตรฐานอย่าง Acarbose อย่างมีนัยสำคัญ

สารสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์และโพลีฟีนอลในกลีบดอกบัวหลวง เช่น quercetin และ kaempferol ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีการออกฤทธิ์ที่สัมพันธ์กับการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ผ่านการจับกับตำแหน่ง active site ของเอนไซม์ หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาลดลง (Santos et al., 2020; Chen et al., 2021) นอกจากนี้ ความซับซ้อนของสารสกัดธรรมชาติที่ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์หลายชนิดยังเอื้อต่อปรากฏการณ์เสริมฤทธิ์ (synergistic effect) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์สูงกว่าสารบริสุทธิ์เดี่ยว (Gao et al., 2013) การศึกษาเพิ่มเติมในระดับโมเลกุล เช่น การจำลองการจับกับเอนไซม์ (molecular docking) และการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง (structural analysis) จะช่วยให้เข้าใจกลไกการออกฤทธิ์ได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

ในทางตรงกันข้าม สารสกัดจากชาเขตรบัวหลวงแสดงฤทธิ์ที่อ่อนกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเนื่องมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบสารฟลาโวนอยด์ หรือปริมาณสารออกฤทธิ์ที่น้อยกว่า ขณะที่สารสกัดจากดื่บบัวหลวงไม่แสดงฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ที่ตรวจพบได้ อาจเป็นผลมาจากการขาด

สารออกฤทธิ์ที่สำคัญหรือการมีองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่สอดคล้องกับการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ระบุว่าส่วนต่าง ๆ ของพืชอาจมีองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Wang et al., 2017) ทั้งนี้ ความสามารถของสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงในการแสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ที่สูงกว่ายา Acarbose อาจบ่งชี้ถึงศักยภาพในการพัฒนาสารธรรมชาติเป็นทางเลือกเสริมที่มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยสูงกว่าในการจัดการโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ซึ่งในปัจจุบัน Acarbose มีข้อจำกัดด้านผลข้างเคียง เช่น อาการท้องอืดและท้องเสีย ที่ทำให้ผู้ป่วยบางรายจำเป็นต้องหยุดใช้ยา (Van de Laar, 2008)

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้จำเป็นต้องได้รับการยืนยันในระดับ in vivo และการศึกษาทางคลินิกต่อไป เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้สารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงในมนุษย์ รวมทั้งการศึกษาดูดซึม, การกระจาย, การเผาผลาญและการขับออก (ADME) ของสารออกฤทธิ์เพื่อประเมินศักยภาพทางเภสัชจลนศาสตร์ (pharmacokinetics)

สรุปได้ว่า งานวิจัยนี้เสนอข้อมูลสำคัญที่ช่วยสนับสนุนการพัฒนาสารสกัดจากกลีบดอกบัวหลวงเป็นสารออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในกลุ่มต้านเอนไซม์ α -glucosidase ที่มีประสิทธิภาพสูง และชี้ให้เห็นถึงแนวทางในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมในทางการแพทย์

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรศึกษาต่อเนื่องในระดับ in vivo และระดับคลินิก เพื่อยืนยันฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในร่างกายมนุษย์

5.3.2 ศึกษาการแยกสารออกฤทธิ์เฉพาะในกลีบบัว เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ชาสำเร็จรูปหรือเครื่องดื่มสุขภาพ

5.3.3 ศึกษาความคงตัวของสารออกฤทธิ์และความปลอดภัยในระยะยาว

รายการอ้างอิง

กรมอนามัย. (2565). สถานการณ์โรคอ้วนในประเทศไทย ปี 2565.

<https://www.anamai.moph.go.th>

จเร จรัสจรรยาพงศ์ และอนันต์ อธิพรชัย. (2562). การสังเคราะห์และฤทธิ์ทางชีวภาพของอนุพันธ์ 3-(N,N-ไดเมทิลอะมิโน)ฟีนอลเอริลเมทิล) อินโดลเป็นสารยับยั้ง เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดสชนิดใหม่เพื่อพัฒนาเป็นยารักษาโรคเบาหวาน. รายงานการวิจัย.

คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ณัฐธ สิบหมู่. (2553). เกล็ดวิทยา เนื้อหาสำคัญและแบบฝึกหัด (พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้า 473–488).

โฮลิสติก บลิซซิง.

ธนากรณ ดำสุด, สุชาดา กลิ่นจันทร์ และชนัญชิตา หาญคำ. (2563). ผลของสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-กลูโคซิเดสจากพืชสมุนไพรไทยต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด. *วารสารวิจัยสุขภาพและการพัฒนา*, 6(2), 45–55.

ธนากรณ ดำสุด, สุภาพร ทองวิจิตร และวารุณี จิตรคำนิ้ง. (2564). ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส แอลฟา-กลูโคซิเดสของสมุนไพรในงานสาธารณสุขมูลฐานที่รักษาอาการท้องอืด และการออกฤทธิ์ร่วมกับอะคาร์โบส. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 26(2), 96–108.

ธิดารัตน์ จันทร์ดอน. (n.d.). ชาเขียว (Green Tea)... ดีอย่างไรให้ได้ประโยชน์. สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2014, จาก <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/185/ชาเขียว-Green-Tea->

ลือชัย บุตุคุป. (2554). สารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ทางชีวภาพ. *Dietary Polyphenols and Their Biological Effects*. *วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 39(2), 127–138.

วิภาวรรณ สายเสนา และธีราพร กุลมัย. (2564). ศักยภาพสารสกัดจากดอกบัว (Nelumbo nucifera) ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและต้านเบาหวาน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 40(4), 385–396.

Adinortey, M. B., & N'guessan, B. B. (2022). H⁺/K⁺-ATPase Inhibitors from Plants: A Potential Source for Drug Discovery. In *Natural Products as Enzyme Inhibitors*. (pp. 125–136). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0932-0_5

- Punia Bangar, S., Chaudhary, V., Thakur, N., Kaur, M., & Maqsood, S. (2022). Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) seed: A review on nutritional composition, functional food properties, and industrial applications. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 567–579. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.033>
- Chatterjee, S., Khunti, K., & Davies, M. J. (2017). Type 2 diabetes. *The Lancet*, 389(10085), 2239–2251.
- Eichler, J., Lucka, A. W., Pinilla, C., & Houghten, R. A. (1995). Novel α -glucosidase inhibitors identified using multiple cyclic peptide combinatorial libraries. *Molecular Diversity*, 1, 233–240.
- Ghani, U. (2015). Re-exploring promising α -glucosidase inhibitors for potential development into oral anti-diabetic drugs: Finding needle in the haystack. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 103, 133–162.
- International Diabetes Federation. (2019). *IDF Diabetes Atlas* (9th ed.). IDF.
- Jayabalana, R., Marimuthub, S., & Swaminathan, K. (2007). Changes in content of organic acids and tea polyphenols during kombucha tea fermentation. *Food Chemistry*, 102, 392–398.
- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal*, 2013, Article e162750. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>
- Lu, H., Xie, T., Wu, Q., Hu, Z., Luo, Y., & Luo, F. (2023). Alpha-glucosidase inhibitory peptides: Sources, preparations, identifications, and action mechanisms. *Nutrients*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/nu15194267>
- Mukherjee, P. K., Maiti, K., Mukherjee, K., & Houghton, P. J. (2006). Leads from Indian medicinal plants with hypoglycemic potentials. *Journal of Ethnopharmacology*, 106(1), 1–28.
- Sombuthphoothorn, S. (2020). *Antioxidant, Alpha-Glucosidase and Alpha-Amylase Inhibitory Activities of Leersia hexandra and Elephantopus scaber Mixed Extracts*. Independent study report. Faculty of Pharmacy, Mahasarakham University.

- Seo, E. J., Curtis-Long, M. J., Lee, B. W., Kim, H. Y., Ryu, Y. B., Jeong, T. S., . . . Park, K. H. (2007). Xanthones from *Cudrania tricuspidata* displaying potent α -glucosidase inhibition. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 17, 6421–6424.
- Seo, W. D., Kim, J. H., Kang, J. E., Ryu, H. W., Curtis-Long, M. J., Lee, H. S., . . . Park, K. H. (2005). Sulfonamide chalcone as a new class of α -glucosidase inhibitors. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 15, 5514–5516.
- Tabopda, T. K., Ngoupayo, J., Awoussong, P. K., Mitaine-Offer, A. C., Ali, M. S., Ngadjui, B. T., & Lacaille-Dubois, M. A. (2008). Triprenylated flavonoids from *Dorstenia psilurus* and their α -glucosidase inhibition properties. *Journal of Natural Products*, 71, 2068–2072.
- Teixeira Oliveira, J., Machado da Costa, F., Gonçalves da Silva, T., Dotto Simões, G., dos Santos Pereira, E., Quevedo da Costa, P., . . . Pieniz, S. (2023). Green tea and kombucha characterization: Phenolic composition, antioxidant capacity and enzymatic inhibition potential. *Food Chemistry*, 408, 135206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135206>
- World Health Organization. (2021). *Diabetes*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>
- Xiao, J., Kai, G., Yamamoto, K., & Chen, X. (2013). Advance in dietary polyphenols as α -glucosidase inhibitors: A review on structure-activity relationship aspect. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 818–836.
- Xu, H., Wang, C., & Gong, L. (2024). Hypoglycemic activity in vivo and in vitro of the Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) seed skin (testa) phenolic-rich extracts. *Food Chemistry: X*, 22, Article e101282. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101282>
- Zhang, Y. J., Gan, R. Y., Li, S., Zhou, Y., Li, A. N., Xu, D. P., . . . Li, H. B. (2015). Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. *Molecules*, 20(12), 21138–21156.