

บทความวิชาการ

ความเป็นไปได้ในการใช้อาหารที่มีสารโพลีฟีนอลสูงเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด หลังรับประทานอาหาร

The Possible Uses of Polyphenols-Rich Diets in Postprandial Glycemic Control

ปิยวรรณ วงศ์วสุ*

Piyawan Wongvasu*

Received: August 23, 2019

Revised: September 15, 2019

Accepted: December 12, 2019

บทคัดย่อ

สารโพลีฟีนอลในพืชที่ใช้เป็นอาหาร ถูกพบว่า มีประโยชน์ต่อร่างกายในหลายด้าน รวมไปถึงการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารด้วยกลไกการยับยั้งการย่อยและดูดซึมคาร์โบไฮเดรต โดยมีฤทธิ์คล้ายคลึงกับยาอocarbose ที่ถูกใช้เพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยเบาหวาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำประโยชน์ดังกล่าวไปใช้ต่อยอดในอนาคต ทั้งด้านการผลิตยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร รวมถึงการนำมาใช้เป็นอาหารฟังก์ชันที่ให้ประโยชน์แก่ร่างกายและสามารถบริโภคได้ในชีวิตประจำวัน ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสารโพลีฟีนอลต่อคุณสมบัติในการยับยั้งการย่อยและดูดซึมกลูโคส ทั้งกลไกที่เป็นไปได้ การศึกษาในหลอดทดลองและการศึกษาในมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการได้รับสารโพลีฟีนอลจากอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ผลการศึกษาพบว่า มีสารสกัดโพลีฟีนอลจากอาหารหลายชนิดที่แสดงผลการยับยั้งการย่อยและดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในหลอดทดลองได้ แต่ผลการศึกษาในมนุษย์กลับมีความขัดแย้งกันและยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้ชัดเจน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและทำวิจัยเพิ่มเติม โดยเฉพาะในประเด็นของชนิดอาหาร รูปแบบที่ได้รับ และปริมาณที่ทำให้เกิดผลดังกล่าว เพื่อให้เกิดการพัฒนาด้านการใช้ประโยชน์จากสารโพลีฟีนอลในอาหารต่อไป

คำสำคัญ: โพลีฟีนอล ระดับน้ำตาลในเลือด

ABSTRACT

Polyphenols in plant diets were found to be beneficial to human health in several aspects, including postprandial glycemic control by the inhibition of carbohydrate digestion and absorption. This effect is similar to acarbose, a medicine used in diabetics for glycemic control purpose. Therefore, there is a possibility of using polyphenols-rich sources in the production of medicines, supplements and functional foods which can be a part of daily diet. This review study summarized the knowledge about the relation between polyphenols-rich diets and postprandial glycemic control, including possible mechanisms, *in vitro* studies and human studies, especially in an aspect of receiving polyphenols in a form of normal diets. The result found that polyphenols-rich diets extract showed positive results in many *in vitro* studies. However, the results among human studies using polyphenols sources in the form and amount that present in daily diet were contradictory. More human studies should be undertaken, especially in aspects of types, forms and doses of polyphenols-rich diets that lead to positive results, in order to obtain more evidence for final conclusion.

Keywords: polyphenols, postprandial blood glucose, glycemic control

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

บทนำ

โพลีฟีนอล (polyphenols) คือ กลุ่มของสารเมแทบอลิท์ทุติยภูมิของพืช มีโครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนแอโรมาติกเชื่อมอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิล พบมากในอาหารประเภทผักและผลไม้ [1] สำหรับบทบาทต่อร่างกายมนุษย์ สารโพลีฟีนอลไม่ได้อยู่ในกลุ่มสารอาหารหลักหรือสารอาหารรองที่ร่างกายจัดเก็บและนำไปในกระบวนการทางชีวเคมี แต่ถือเป็นสารชนิดอื่นที่ร่างกายรับเข้ามาพร้อมกับอาหาร ไม่ถูกจัดเก็บหรือใช้งานภายในร่างกายโดยตรง แต่กลับมีผลดีในระยะยาวหากบริโภคติดต่อกันเป็นเวลานาน โดยมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงมีประโยชน์ต่อการป้องกันโรคเบาหวานและโรคมะเร็ง [2] ซึ่งแม้จะมีการรายงานถึงชื่อสารโพลีฟีนอลที่พบได้ในอาหารมากกว่าหนึ่งหมื่นชนิด แต่ไม่ใช่สารโพลีฟีนอลทุกชนิดที่มีบทบาทและความสำคัญกับร่างกายมนุษย์ [3] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเฉพาะเกี่ยวกับชนิดของสารและแหล่งที่พบ รวมไปถึงความสามารถในการออกฤทธิ์ของสารนั้นๆ ในร่างกาย เพื่อประโยชน์ในการนำไปพัฒนาต่อในรูปแบบต่างๆ

ค่าดัชนีน้ำตาล (glycemic index) คือ ค่าที่ใช้แบ่งกลุ่มอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตตามความสามารถในการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทาน โดยค่าดังกล่าวได้มาจากการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของระดับกลูโคสในเลือดสองชั่วโมงหลังรับประทานอาหารกับค่าจากอาหารอ้างอิงที่มีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณเท่ากัน [4] จากการศึกษาพบว่าคาร์โบไฮเดรตอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงเป็นประจำจนทำให้ร่างกายมีระดับของกลูโคสในกระแสเลือดสูงนั้น เป็นหนึ่งในปัจจัยที่นำไปสู่การเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดทั้งในกลุ่มคนสุขภาพดีและในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และยังเพิ่มความเสี่ยงในการเป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ในคนกลุ่มสุขภาพดีอีกด้วย [5] โดยในปัจจุบันมีแนวทางในการป้องกันสภาวะดังกล่าว คือการใช้ยาควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและการปรับพฤติกรรมการบริโภคอาหาร [6] อย่างไรก็ตาม การศึกษาในระยะหลังเริ่มแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของสารโพลีฟีนอลบางชนิดที่สามารถยับยั้งการย่อยและดูดซึม

กลูโคสจากอาหารเข้าสู่ร่างกายได้ และอาจมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้เพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคดังกล่าว [3] บทความปริทัศน์นี้จึงถูกจัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยอื่นๆ ที่เคยศึกษาเกี่ยวกับผลของสารโพลีฟีนอลที่พบได้ในอาหารต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหาร ทั้งกลไกที่เป็นไปได้ การศึกษาในหลอดทดลอง จนไปถึงการศึกษาในมนุษย์ โดยเฉพาะในรูปแบบของการได้รับสารโพลีฟีนอลจากแหล่งอาหารธรรมชาติที่สามารถบริโภคได้ในชีวิตประจำวัน (ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือยา) เพื่อเป็นแนวทางในการนำอาหารที่มีสารโพลีฟีนอลสูงมาใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

คาร์โบไฮเดรตในอาหารกับกระบวนการย่อยและดูดซึมกลูโคส

คาร์โบไฮเดรตโดยมากที่ร่างกายรับเข้ามาจากอาหารมักอยู่ในรูปของแป้ง (starch) และน้ำตาล แป้งมีองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) โดยอะไมโลส คือโพลิเมอร์เชิงเส้นประกอบด้วยกลูโคสจำนวนไม่เกิน 6,000 หน่วย เชื่อมกันด้วยพันธะ α -1,4 กลูโคซิดิก ในขณะที่อะไมโลเพกติน มีลักษณะเป็นกิ่งแขนง ประกอบไปด้วยโพลิเมอร์เชิงเส้นของกลูโคสที่เชื่อมด้วยพันธะ α -1,4 กลูโคซิดิกและมีกิ่งของโพลิเมอร์สายสั้นๆ มาเชื่อมกับสายโพลิเมอร์หลักด้วยพันธะ α -1,6 กลูโคซิดิก [7]

กระบวนการย่อยและดูดซึมแป้งในร่างกายมนุษย์นั้น จะเกิดขึ้นหลังจากการรับประทานคาร์โบไฮเดรตจำพวกแป้ง โดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ที่ถูกหลั่งจากน้ำลายและตับอ่อนจะทำหน้าที่สลายพันธะ α -1,4 กลูโคซิดิกที่อยู่ภายในสายโพลิเมอร์ของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินให้สั้นลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่ คือ มอลโทส (maltose) มอลโทไตรโอส (maltotriose) และโอลิโกเมอร์ (oligomers) ที่ยังคงมีพันธะ α -1,6 กลูโคซิดิกอยู่ จากนั้นการย่อยยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อปลดปล่อยน้ำตาลกลูโคสออกที่บริเวณบรัชบอร์ด (brush border) ของลำไส้เล็ก โดยมอลโทส

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

จะถูกย่อยโดยเอนไซม์มอลเตส (maltase) หรือเรียกอีกชื่อว่ามอลเตสกลูโคอะไมเลส (maltase glucoamylase) กลายเป็นกลูโคส นอกจากนั้นยังมีเอนไซม์อีกชนิดที่เกี่ยวข้อง คือ เอนไซม์ซูเครสไอโซมอลเตส (sucrase isomaltase) ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ล้วนแต่มีแอกทิวิตีของแอลฟาไกลูโคซิเดส (α -glucosidase activities) ที่สามารถย่อยสลายพันธะ α -1,4 กลูโคซิดิกได้จากปลายด้านนอก และซูเครสไอโซมอลเตสยังสามารถสลายพันธะ α -1,6 กลูโคซิดิกของไอโซมอลโทสได้อีกด้วย ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายออกมาเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ถูกดูดซึมสู่ร่างกายได้ [3, 8, 9] ส่วนคาร์โบไฮเดรตรูปอื่นๆ ที่ร่างกายรับเข้ามาอย่างน้ำตาลซูโครสและแล็กโตส ก็จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ที่แตกต่างกัน กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น ฟรุคโตสและกาแล็กโตส

ภายหลังกระบวนการย่อยอาหารเสร็จสิ้น ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ คือ น้ำตาลกลูโคสที่มีคุณสมบัติแบบไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จึงจำเป็นต้องอาศัยตัวขนส่งในการข้ามผ่านผนังลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือด โดยตัว

ขนส่งที่มีความเกี่ยวข้องในกลไกการขนส่งกลูโคสจากอาหาร คือ glucose transporters 2 (GLUT2) และ sodium-dependent glucose transporters 1 (SGLT1) โดย SGLT1 นั้นจะอยู่บริเวณฝั่งอะพิคัลเมมเบรน (apical membrane) ของเอนเทอโรไซต์ มีกลไกการทำงานที่อาศัยโซเดียมไอออน 2 อะตอมมาจับกับ SGLT1 เพื่อยอมให้โมเลกุลของกลูโคสเข้ามาจับและเกิดการขนส่งผ่านเข้าสู่เอนเทอโรไซต์ได้ จากนั้นกลูโคสจึงเคลื่อนตัวออกผ่านตัวขนส่ง GLUT2 ที่อยู่บริเวณผนังอีกด้านของเอนเทอโรไซต์เพื่อเข้าสู่กระแสเลือดต่อไป ซึ่งกลไกเช่นนี้จะเกิดขึ้นในสภาวะปกติที่บริเวณลำไส้เล็กไม่ได้มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสสูง แต่เมื่อความเข้มข้นของกลูโคสมีปริมาณสูงขึ้นหลังร่างกายได้รับอาหาร ตัวขนส่งชนิด GLUT2 ที่อยู่ภายในเอนเทอโรไซต์จะสามารถเคลื่อนตัวมายังอะพิคัลเมมเบรนเพื่อช่วยในการดูดซึมกลูโคสได้ และถือเป็นช่องทางหลักในการขนส่งกลูโคสหลังอาหาร แล้วจึงเคลื่อนตัวกลับเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสต่ำลง [3, 8, 10, 11] โดยตัวอย่างการย่อยและดูดซึมกลูโคสจากแป้ง ถูกแสดงไว้ใน Figure 1.

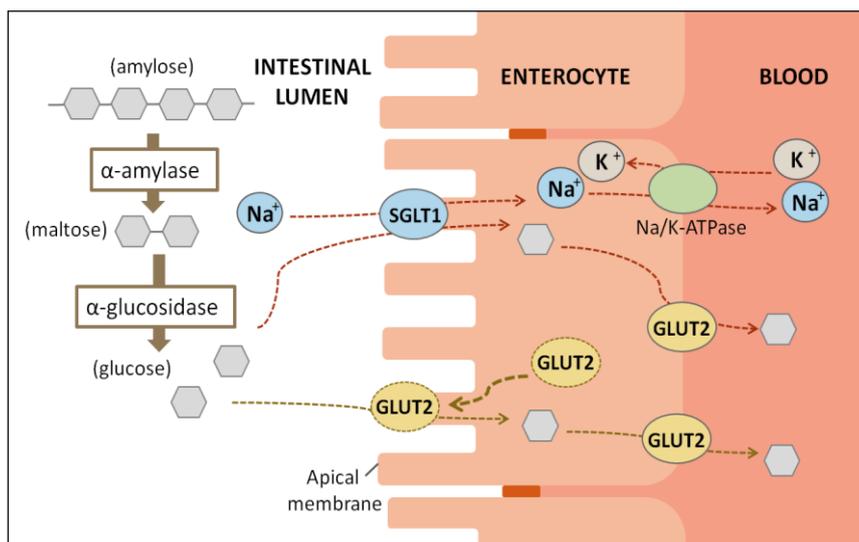


Figure1. shows glucose digestion and absorption in small intestine. Solid arrows show the digestion of starch to glucose by carbohydrate-digestive enzymes. Broken arrows show glucose absorption via SGLT 1 and GLUT2. (adapted from Kellett and Brot-Laroche (2005) and Williamson (2013) [3, 11])

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

ระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารและผลต่อร่างกายมนุษย์

ปริมาณของกลูโคสจากอาหารที่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด จะแสดงออกมาเป็นค่าระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหาร (postprandial blood glucose) โดยเฉพาะการบริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง ก็จะทำให้เกิดการแสดงค่าระดับน้ำตาลในกระแสเลือดสูงตามไปด้วย สำหรับกลไกการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดนั้น ในคนสุขภาพปกติทั่วไปร่างกายจะเกิดการหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน (insulin) สูงขึ้นและลดการหลั่งฮอร์โมนกลูคาгон (glucagon) ลงหลังจากมื้ออาหาร ทั้งนี้เพื่อลดการสร้างกลูโคสจากตับและเพิ่มการเก็บสะสมกลูโคสจากอาหารเข้าสู่เนื้อเยื่อ ทำให้ระดับน้ำตาลในกระแสเลือดที่มีปริมาณสูงขึ้นจากอาหารลดลงจนเข้าสู่ช่วงปกติภายในเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งในคนปกติควรมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงสุดหลังรับประทานอาหารไม่เกิน 140 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (มก./ดล.) ส่วนในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 หรือผู้ที่กำลังอยู่ในระยะก่อนเป็นเบาหวาน (prediabetes) นั้น ร่างกายจะเกิดความผิดปกติในการหลั่งอินซูลิน ทำให้ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดและก่อให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (hyperglycemia) [12]

ความแปรปรวนของระดับน้ำตาลในเลือดและการมีกลูโคสในเลือดที่สูงนั้น นำไปสู่การสร้างสารอนุมูลอิสระในร่างกายโดยเฉพาะซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ($O_2^{\cdot -}$) ซึ่งเกิดผ่านกระบวนการลูกโซ่ของการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport chain) ในส่วนไมโทคอนเดรียของเซลล์ [13] โดยจากการศึกษาพบว่าระดับของกลูโคสที่สูงในเลือดสามารถนำไปสู่การเกิดกระบวนการออกซิเดชันของลิพิดบนเยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีน ไลโปโปรตีน และดีเอ็นเอ รวมถึงเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบขึ้นภายในร่างกาย นอกจากนี้การศึกษานี้ในมนุษย์ยังพบว่าภาวะดังกล่าวนำไปสู่การเพิ่มความดันโลหิต การแข็งตัวของเกล็ดเลือด และลดการทำงานของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด จึงเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดภาวะแทรกซ้อนของหัวใจและหลอดเลือดได้โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 [14] ในขณะที่กลุ่มคนสุขภาพดี พฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ส่งผลให้เกิดการ

เพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดอย่างรวดเร็วและฉับพลันเป็นเวลานาน ก็เป็นปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคอ้วน โรคเบาหวานชนิดที่ 2 และโรคหัวใจและหลอดเลือดด้วยเช่นกัน [14] โดย The European Diabetes Policy Group ได้ระบุถึงการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคทางหัวใจและหลอดเลือดไว้ว่า การรักษาระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารไม่ให้เกิน 160 มก./ดล. จะลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดขนาดเล็กได้ และหากต้องการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่อระบบเส้นเลือดใหญ่ ควรรักษาระดับของน้ำตาลให้ต่ำกว่า 135 มก./ดล. [15] ดังนั้นการควบคุมระดับน้ำตาลในกระแสเลือดหลังอาหารไม่ให้สูงและเกิดความแปรปรวนจึงเป็นผลดีทั้งต่อผู้ที่มีสุขภาพดีและผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

บทบาทที่เป็นไปได้ของสารโพลีฟีนอลต่อการย่อยและดูดซึมกลูโคส (การศึกษาในหลอดทดลอง: *in vitro*)

จากการที่ได้มีการตระหนักถึงผลเสียของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารและความจำเป็นในการควบคุมภาวะดังกล่าว ก่อให้เกิดการค้นคว้าเกี่ยวกับแนวทางการป้องกันที่เป็นไปได้ผ่านการใช้สารโพลีฟีนอลที่พบได้ในอาหาร โดยพบว่าสารโพลีฟีนอลบางชนิดสามารถขัดขวางการย่อยและดูดซึมอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตได้ ผ่านกลไกที่เป็นไปได้คือการที่โครงสร้างของสารโพลีฟีนอลบางชนิดสามารถเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดส ทำให้เอนไซม์ทั้งสองไม่สามารถทำการย่อยแป้งที่มีลักษณะเป็นโพลิเมอร์สายยาวให้เป็นสายสั้นลงและนำไปสู่การปลดปล่อยกลูโคสที่สมบูรณ์ภายในลำไส้เล็กได้ ส่งผลให้ปริมาณของกลูโคสที่ได้จากกระบวนการย่อยจากอาหารมีปริมาณน้อยลง นอกจากนั้นสารโพลีฟีนอลยังสามารถลดการขนส่งน้ำตาลจากผนังลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือดได้ด้วยการยับยั้งการทำงานของตัวขนส่งกลูโคสชนิด GLUT2 และ SGLT1 ทำให้กลูโคสทั้งหมดที่ได้รับจากอาหารผ่านเข้าสู่กระแสเลือดมีจำนวนน้อยลงยิ่งขึ้น โดยกลไกการยับยั้งที่เป็นไปได้นั้น แม้ว่าจะยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติม แต่คาดว่าเกิดจาก

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

การเข้าจับโดยตรง (direct binding) ระหว่างตัวสารโพลีฟีนอลกับตัวขนส่งกลูโคส [3, 16]

Table 1 ได้แสดงตัวอย่างการศึกษาในหลอดทดลองเกี่ยวกับการใช้สารสกัดจากอาหารที่เป็นแหล่งของโพลีฟีนอลเพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และตัวขนส่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยและดูดซึมกลูโคส ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีสารสกัดจากพืชที่มีสารโพลีฟีนอลสูงหลายชนิด ที่ให้ผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดส เช่น ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ ชา ทับทิม แอปเปิ้ล และผักต่างๆ โดยกลไกดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับกลไกการออกฤทธิ์ของยาอคาร์โบส (acarbose) ที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส และถูกนำมาใช้ในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารในผู้ป่วยเบาหวาน [3] สำหรับในกลุ่มของสมุนไพรไทย ได้มีการพบว่าสารสกัดจากรากบัวหลวง (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) ผลมะเดื่ออุทุมพร (*Ficus racemose* L.) ลูกฉิ่ง (*F. botryocarpa* Miq.) ใบหญ้ารีแพร์ (*Centotheca lappacea*) สักทอง (*Tectona grandis*) มะเฒ่า (*Antidesma thwaitesianum*) ใบชะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb.) จิงจูฉ่าย (*Artemisia lactiflora*) และใบขี้เหล็ก (*Senna siamea*) สามารถแสดงผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวได้เช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้นการศึกษาของ รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง และคณะ (2019) [17] ได้นำน้ำแกงจากอาหารไทยพื้นบ้านที่ใช้วัตถุดิบเป็นสมุนไพรไทยที่เป็นแหล่งของสารโพลีฟีนอลหลายชนิด มาทดสอบการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและแอลฟาไกลูโคซิเดส พบว่าสามารถแสดงผลการยับยั้งเอนไซม์ทั้งสองชนิดได้ โดยแกงพื้นบ้านอย่างแกงบอน แกงป้ามะเขือ แกงเลียงป่า และแกงเลียงใส่กะทิ ให้ผล

การยับยั้งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสได้ถึงร้อยละ 33-37 เมื่อเทียบกับการออกฤทธิ์ของยาอคาร์โบส จึงเป็นไปได้ว่าอาจมีอาหารพื้นบ้านของไทยอีกหลายชนิดที่อาจให้ผลดังกล่าวและให้ประโยชน์ต่อร่างกายได้นอกเหนือจากประโยชน์ขั้นพื้นฐานของอาหาร ในขณะที่เมื่อพิจารณาถึงชนิดของสารโพลีฟีนอลที่มีผลต่อการยับยั้งเอนไซม์แล้ว Rasouli et al. (2017) [18] ได้มีการนำสารโพลีฟีนอลที่พบได้ในพืชกว่า 26 ชนิด มาทำการทดสอบความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์สำหรับการย่อยคาร์โบไฮเดรตในหลอดทดลอง พบว่าสาร caffeic acid, curcumin, cyanidin, daidzein, epicatechin, eridictiol, ferulic acid, hesperetin, naringenin, pinoselinol, quercetin, resveratrol และ syringic acid มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสได้อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับสาร catechin, hesperetin, kaempferol, silibinin และ pelargonidin ที่ถูกพบว่าสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสได้ อย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

สำหรับการศึกษาถึงความสามารถในการยับยั้งตัวขนส่งกลูโคสในหลอดทดลองนั้น ยังมีจำนวนการศึกษาน้อยมาก ซึ่งมักเป็นการทดลองโดยใช้เซลล์คาโค-ทู (Caco-2) และไข่ของกบ (*Xenopus oocytes*) เพื่อจำลองการดูดซึมกลูโคสผ่านลำไส้เล็กในร่างกายมนุษย์ พบว่าสารสกัดจากพืชที่มีสารโพลีฟีนอลสูง เช่น ผลสตอร์เบอร์รี่ ทับทิม และแอปเปิ้ล สามารถยับยั้งการทำงานของตัวขนส่งกลูโคสชนิด glucose transporter 2 (GLUT2) และ sodium-dependent glucose transporter 1 (SGLT1) ได้ [19, 20] สอดคล้องกับทฤษฎีที่กล่าวว่าสารโพลีฟีนอลทำให้ปริมาณของน้ำตาลที่ถูกขนส่งเข้าสู่กระแสเลือดมีปริมาณน้อยลง

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammarath Open University

Table 1 shows the *in vitro* studies which reported positive effects of polyphenols-rich diets on carbohydrate digestion and absorption (adapted from Hanhineva et al. (2010) [8])

Polyphenols-rich sources	Inhibition of		Inhibition of glucose absorption
	α -amylase	α -glycosidase	
Black tea	[21, 22]	[21]	
Fruits; berries (blueberry, strawberry, blackberry, raspberry), apple, pomegranate	[19, 23]	[19, 23, 24]	[19, 20]
Vegetables; pumpkin, beans, maize, eggplant	[25, 26]	[25, 26]	
Local Thai herbs;			
<i>Piper sarmentosum</i> Roxb., <i>Senna siamea</i>	[27]	[27]	
<i>Antidesma thwaitesianum</i> , <i>Centotheca lappacea</i> , <i>Tectona grandis</i>	[28]	[28]	
<i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn., <i>Ficus racemosa</i> L., <i>F. botryocarpa</i> Miq.		[29]	
<i>Artemisia lactiflora</i>	[30]	[30]	
Local Thai foods; Gaeng Pa Makhue, Kaeng Keelek, Gaeng Som Phak Luam, Gaeng Liang Kati, Gaeng Bon, Gaeng Liang Pa	[17]	[17]	

การศึกษาผลของอาหารที่มีสารโพลีฟีนอลสูงกับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหาร (การศึกษาในสัตว์ทดลองและมนุษย์: *in vivo*)

การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าโพลีฟีนอลในกลุ่ม anthocyanins ที่ได้จากการสกัดมันสีม่วง และอะเซโรลา เซอร์รี่สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารของหนูทดลองได้ เมื่อให้ร่วมกับน้ำตาลมอลโทส [31, 32] ส่วนการให้หนูทดลองได้รับสารสกัดจากเปลือกหัวหอมหรือสาร quercetin ซึ่งเป็นสารโพลีฟีนอลชนิดหลักที่พบในหัวหอม ก็ถูกพบว่าช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดได้เช่นกัน เมื่อได้รับร่วมกับน้ำตาลซูโครส [33] และการให้สารสกัดจากใบแปะก๊วยร่วมกับน้ำตาลซูโครสหรือกลูโคสในหนูทดลองที่เป็นเบาหวานก็ให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทางเดียวกัน [34] อย่างไรก็ตามการศึกษาส่วนใหญ่ยังคงเลือกใช้แหล่งคาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลคู่เท่านั้น มีเพียงการศึกษาของ Jurgonski et al. (2019) [35] ที่ใช้แป้งซึ่งมีความซับซ้อนของโมเลกุลที่มากกว่าเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต โดยพบว่าสารสกัดจากใบของต้นมัลเบอร์รี่ เมล็ดถั่วขาว และเมล็ดกาแพ

สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารในหนูทดลองได้เมื่อได้รับพร้อมกับแป้งหรือน้ำตาลซูโครส

สำหรับการทดลองในมนุษย์นั้น รูปแบบการทดลองส่วนใหญ่มักเป็นการให้อาสาสมัครในกลุ่มทดลองได้รับสารโพลีฟีนอลซึ่งอาจอยู่ในรูปของอาหารหรือสารสกัด ร่วมกับอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง เช่น ขนมปังขาว กลูโคส หรือซูโครสละลายน้ำ ซึ่งมักมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยสลายเป็นพลังงานได้ (available carbohydrate) อยู่ในช่วง 25-50 กรัมต่อหนึ่งครั้งการทดลอง ในขณะที่อาสาสมัครในกลุ่มควบคุมนั้นไม่ได้รับอาหารที่ศึกษา แต่จะได้รับน้ำตาลหรือน้ำในปริมาณเท่ากันทดแทน เนื่องจากตัวอาหารทดลองอาจมีองค์ประกอบเหล่านี้รวมอยู่ด้วย โดยเฉพาะอาหารที่อยู่ในรูปน้ำผลไม้ จากนั้นจึงทำการติดตามระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารจากอาสาสมัครทั้งสองกลุ่มนาน 1-3 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบระดับการตอบสนองต่อกลูโคส (Glycemic Response, GR) โดยเฉพาะค่าระดับกลูโคสหลังอาหารสูงสุด (peak glycemic response, pGR) และขนาดพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารทั้งหมด (glycemic response-total area under curve, GR-tAUC) ผ่านการ

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

เจาะเลือดจากปลายนิ้วหรือเส้นเลือดดำ สำหรับจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ นั้น ตามคำแนะนำของ Brouns et al. (2005) [36] ระบุว่าการศึกษาในมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีน้ำตาลควรมีการใช้อาสาสมัครอย่างน้อย 10 คนขึ้นไป จึงจะให้ผลที่ยอมรับได้ และควรมีจำนวนเพิ่มขึ้นสองถึงสามเท่าเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำมากขึ้น

ในการศึกษานี้ ผู้เขียนต้องการมุ่งเน้นไปที่ผลของการได้รับสารโพลีฟีนอลจากแหล่งอาหารธรรมชาติ (มิใช่สารสกัด) ต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหาร

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์ด้านการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดจากอาหารที่มีสารโพลีฟีนอลสูงที่สามารถหาซื้อและบริโภคได้ในชีวิตประจำวัน จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยในมนุษย์ 10 ชิ้น (Table 2) การศึกษาทั้งหมดทำในกลุ่มคนสุขภาพดี มีจำนวนอาสาสมัครอยู่ระหว่าง 9-23 คน (เฉลี่ย 17 คน) มีการใช้อาหารทดสอบอยู่ในรูปของน้ำผลไม้ ผลไม้สด บด แปรรูป หรือผสมในขนมหวาน และเครื่องดื่มชากาแฟ ซึ่งเป็นลักษณะของอาหารที่สามารถหาซื้อและบริโภคได้ทั่วไป

Table 2 shows the effects of consuming polyphenols-rich diets with high glycemic index foods on glycemic response in healthy subjects (reported by 10 human studies)

Polyphenols-rich sources	Test diets		High glycemic index foods	Results	
	Form and doses*	Polyphenols Content**		pGR	tAUC
Black tea [37]	1 g. of instant black tea with 250 ml. water	flavanol-3-ol 39 mg. theaflavins 21 mg. total polyphenols 350 mg.	75 g. glucose	-	-
Green tea [38]	4 g. of instant green tea with 400 ml. water	total polyphenols 492 mg.	50 g. glucose	N/A	↓
Blackcurrants [39]	150 g. of Blackcurrants puree /nectars	N/A	35 g. sucrose	↓	↓
Raspberry/blueberry [40]	100 g. (50 g. mixed in pancake + 50 g. fresh fruits)	N/A	Pancake (50 g. AC)	-	-
Mixed berries [41]	150 g. of mixed berries puree	N/A	Wheat/rye bread (50 g. AC)	-	-
Mixed berries [42]	150 g. of mixed berries puree	total polyphenols 800 mg. anthocyanins 300 mg. (approximately)	35 g. sucrose	↓	-
coffee [43]	400 ml. of caffeinated/ decaffeinated coffee	chlorogenic acid 1 mmol.	25 g. glucose	-	-
Pomegranate [19]	200 ml. of pomegranate juice	punicalin 71.5 mg. punicalagin 12.4 mg.	109 g. White bread	↓	↓
Araçá [44]	300 ml. of Araçá juice	proanthocyanidins TQE 1.48 g. total phenolics CE 546 mg.	50 g. White bread	↓	↓

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

Table 2 (cont.)

Test diets		Polyphenols Content**	High glycemic index foods	Results	
Polyphenols-rich sources	Form and doses*			pGR	tAUC
Green tea, apple peel, blackberry, blackcurrant, strawberry [45]	1 g. of green tea with 200 ml. water + Mixed fruits spread (20 g. of each dried fruit)	EGCG 199.8 mg, EGC 124.4 mg., ECG 34.4 mg, EC 23.3 mg, phlorizin 36.4 mg., quercetin-3-O-rhamnoside 22.6 mg., cyanidin-3-O-glucoside 140.2 mg., cyanidin-3-O-rutinoside 20.8 mg., pelargonidin-3-O-glucoside 90 mg.	109 g. White bread	↓	↓

pGR = peak glycemic response , tAUC = glycemic response-total area under curve, AC = available carbohydrate (↓) = The test group shows a significant reduction than the control, (-) = There was no significant difference between test and control groups

*All control groups received carbohydrate replacements in the same amount that present in test diets.

** As reported by the studies, content per 1 serving of test foods.

ผลการศึกษาพบว่า การรับประทานอาหารบางกลุ่ม เช่น ชาเขียว ชาเขียวร่วมกับแยมผลไม้ น้ำทับทิม น้ำฝรั่ง บราซซิล และน้ำแบล็คเคอร์แรนท์ มีส่วนช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารเช้าในคนสุขภาพปกติได้ โดยพิจารณาจากค่า pGR และ GR-tAUC ที่ลดลงในกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญ [19, 38, 39, 44, 45] ในขณะที่การศึกษานี้ไม่ได้แสดงให้เห็นการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดที่ดีขึ้นเมื่อได้รับอาหารทดลองที่มีสารโพลีฟีนอลสูง อย่างไรก็ตาม มีบางการศึกษาที่ให้ผลการทดลองที่ไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น Bryans et al. (2007) [46] รายงานว่าถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างของค่า GR-tAUC ระหว่างกลุ่มอาสาสมัครที่ทดลองดื่มและไม่ดื่มชาดำ แต่กลับพบว่าในช่วง 120 นาทีแรกนั้น กลุ่มอาสาสมัครที่ดื่มชาดำมีค่า AUC ลดลงกว่ากลุ่มอาสาสมัครที่ไม่ดื่มชาอย่างมีนัยสำคัญ หรือการศึกษาของ Törrönen et al. (2009) [42] ที่พบว่า การรับประทานเบอร์รี่รวมบดเข้มข้น (puree) สามารถลดค่า pGR ของอาสาสมัครกลุ่มทดลองได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับประทาน แต่ไม่สามารถลดค่าของ GR-tAUC ลงได้

อีกหนึ่งประเด็นที่น่าสนใจเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองคือ เมื่อรับประทานเบอร์รี่รวมคู่กับสารละลายน้ำตาลซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ พบว่าอาสาสมัครกลุ่มทดลองสามารถลดค่าของ GR ลงได้เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม [42] แต่กลับไม่พบความแตกต่างนี้ในการวิจัยที่ใช้เบอร์รี่รับประทานคู่กับขนมปังหรือแพนเค้กซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทแป้ง จึงอาจเป็นไปได้ว่าองค์ประกอบของอาหารที่มีความซับซ้อนกว่าจะเข้ามามีผลต่อกลไกการยับยั้งของสารโพลีฟีนอลต่อระดับการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดด้วย แต่ยังคงต้องการการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับข้อสังเกตดังกล่าว

ส่วนการศึกษานอมนุชนัยที่ใช้สารสกัดนั้น แม้จะไม่ใช่วิธีแบบของงานวิจัยที่สนใจในบทความนี้ แต่จากการค้นคว้าเบื้องต้นมีหลายการศึกษาที่พบว่าสารสกัดจากพืชที่มีสารโพลีฟีนอลสูงสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารได้ เช่น น้ำผสมสารสกัดจากแอปเปิ้ลและแบล็คเคอร์แรนท์ [47] แคปซูลสารสกัดจากกระเทียม [48] น้ำผสมสารสกัดจากฝรั่ง [49] อย่างไรก็ตามยังคงมีการศึกษาที่ให้ผลขัดแย้งกัน ยกตัวอย่างเช่น Kerimi et al. (2017) [19] ที่พบว่า การดื่มน้ำทับทิมสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารเช้า (Table 2) แต่สาร

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

สกัดจากทับทิมที่มีสารสำคัญในปริมาณใกล้เคียงกันกลับไม่ให้ผลดังกล่าว ทั้งที่การศึกษาทั้งสองมีการออกแบบการทดลองและควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน

โดยสรุปในภาพรวมแล้วผลของการรับประทานอาหารที่มีสารโพลีฟีนอลสูงร่วมกับอาหารคาร์โบไฮเดรตสูงต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหาร ยังไม่มีผลการวิจัยที่จะพิสูจน์ทฤษฎีได้อย่างแน่ชัดเนื่องจากการศึกษาที่มีคุณภาพยังมีปริมาณน้อยและให้ผลการทดลองที่ขัดแย้งกัน แต่ก็เป็นไปได้ว่ามีอาหารโพลีฟีนอลสูงบางชนิดที่สามารถบริโภคในชีวิตประจำวันเพื่อหวังผลในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารได้ สอดคล้องกับผลการศึกษาในหลอดทดลองสัตว์ทดลอง และการใช้แหล่งของสารโพลีฟีนอลในรูปแบบของสารสกัด แต่ยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดและรูปแบบของอาหารที่ได้รับ ปริมาณที่ทำให้เกิดผล และผลของความซับซ้อนขององค์ประกอบในอาหารที่บริโภค รวมทั้งข้อสรุปดังกล่าวสอดคล้องกับการรายงานของ Coe และ Ryan (2016) [50] ที่ได้รับรวมการศึกษาเกี่ยวกับผลของสารโพลีฟีนอลต่อระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารจำนวน 13 งานวิจัย ซึ่งได้ให้ข้อสรุปว่าการได้รับสารโพลีฟีนอลร่วมกับอาหารคาร์โบไฮเดรตสูงมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหาร

ปัญหาและอุปสรรคต่อการศึกษาในมนุษย์เกี่ยวกับบทบาทของสารโพลีฟีนอลต่อระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหาร

แม้จะเริ่มมีการศึกษาในมนุษย์เกี่ยวกับผลของสารโพลีฟีนอลกับระดับน้ำตาลในเลือดมากขึ้น แต่ก็ยังคงพบอุปสรรคที่ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลจากแต่ละการทดลองมาเปรียบเทียบกันได้ โดยปัญหาใหญ่ที่พบคือ การออกแบบการทดลองที่แตกต่างกัน ทั้งความแตกต่างในเรื่องปริมาณของสารโพลีฟีนอลที่กลุ่มอาสาสมัครได้รับ รูปแบบที่ได้รับ เช่น อาหาร อาหารผสมสารสกัด หรือสารสกัด ประเภทของคาร์โบไฮเดรตที่ร่วมใช้ในการทดลอง เช่น แป้ง น้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งความซับซ้อนขององค์ประกอบ

ในอาหารที่แตกต่างกันมีความเป็นไปได้สูงที่จะส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างในเรื่องระยะเวลาที่ติดตามผล วิธีการเก็บตัวอย่างเลือด เกณฑ์ที่ใช้คัดเลือกกลุ่มอาสาสมัคร ตลอดจนกฎข้อบังคับที่กลุ่มตัวอย่างต้องปฏิบัติระหว่างอยู่ในการทดลอง สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นอุปสรรคที่ทำให้งานวิจัยที่สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันได้มีปริมาณน้อยลง ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษายังไม่สามารถที่จะอธิบายถึงผลของสารโพลีฟีนอลจากแหล่งอาหารธรรมชาติต่อการลดระดับน้ำตาลในเลือดหลังอาหารได้อย่างชัดเจน

บทสรุป

ปัจจุบันการศึกษาในหลอดทดลองได้แสดงให้เห็นว่าสารโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติหลายชนิดมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลหลังรับประทานอาหารได้ แต่จากการศึกษาในส่วนของ การทดลองกับมนุษย์ยังคงมีปริมาณน้อยและไม่สามารถหาข้อสรุปได้แน่ชัด อย่างไรก็ตามการบริโภคอาหารที่มีสารโพลีฟีนอลสูง ยังคงมีแนวโน้มที่จะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในกระแสเลือดได้ โดยอาจขึ้นอยู่กับชนิดและรูปแบบของอาหารที่ได้รับ และจากการรวบรวมข้อมูลก็ทำให้ทราบถึงช่องว่างของงานวิจัยที่ยังคงมีอยู่ ซึ่งจะเปิดโอกาสที่จะทำให้เกิดการนำไปปรับปรุงแก้ไขหรือพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับอาหารในด้านอื่นๆ รวมถึงบทความนี้อาจเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับต่อยอดงานวิจัยในอนาคตที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของอาหารสารโพลีฟีนอลสูงต่อร่างกายได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brglez Mojzer, E., Bren, U., Knez Hrcic. M., Skerget, M. and Knez, Z. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Molecules*. 21(7): 1-38.

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammarath Open University

- [2] Williamson, G. (2017). The role of polyphenols in modern nutrition. *Nutrition Bulletin*. 42(3): 226-235.
- [3] Williamson, G. (2013). Possible effects of dietary polyphenols on sugar absorption and digestion. *MNFR Molecular Nutrition & Food Research*. 57(1):48-57.
- [4] Wolever, T.M., Jenkins, D.J., Jenkins, A.L. and Josse, R.G. 1991. The glycemic index: methodology and clinical implications. *The American journal of clinical nutrition*. 54(5): 846-854.
- [5] Antonio, C. (2005). Postprandial Hyperglycemia and Diabetes Complications: Is It Time to Treat? *Diabetes*. 54(1): 1-7.
- [6] Dickinson, S., Colagiuri, S., Faramus, E., Petocz, P. and Brand- Miller, J. C. (2002). Postprandial hyperglycemia and insulin sensitivity differ among lean young adults of different ethnicities. *The Journal of nutrition*. 132(9): 2574-2579.
- [7] Srirod, K. and Piyachomkwan, K. (2016). *Technology of starch*. Kasetsart University Press, Bangkok.
- [8] Hanhineva, K., Törrönen, R., Bondia-Pons, I., Jokkala, J., Kolehmainen, M., Mykkänen, H. and Poutanen, K. (2010). Impact of dietary polyphenols on carbohydrate metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*. 11(4): 1365-1402.
- [9] Sim, L., Willemsma, C., Mohan, S., Naim, H.Y., Pinto, B. M. and Rose, D. R. (2010). Structural basis for substrate selectivity in human maltase- glucoamylase and sucrase-isomaltase N-terminal domains. *The Journal of Biological Chemistry*. 285(23): 17763-17770.
- [10] Kellett, G. L., Brot-Laroche, E., Mace, O.J. and Leturque, A. (2008). Sugar absorption in the intestine: the role of GLUT2. *Annual review of nutrition*. 28: 35-54.
- [11] Kellett, G.L. and Brot-Laroche, E. (2005). Apical GLUT2: a major pathway of intestinal sugar absorption. *Diabetes*. 54(10): 3056-3062.
- [12] Pinés Corrales, P.J., Bellido Castañeda, V. and Ampudia- Blasco, F. J. (2018). Update on postprandial hyperglycemia: The pathophysiology, prevalence, consequences and implications of treating diabetes. *RCENG Revista Clínica Española (English Edition)*.
- [13] Wright, E. Jr., Scism-Bacon, J.L. and Glass, L.C. (2006). Oxidative stress in type 2 diabetes: the role of fasting and postprandial glycaemia. *International journal of clinical practice*. 60(3): 308-314.
- [14] Ludwig, D.S. (2002). The glycemic index: physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease. *JAMA*. 287(18): 2414-23.
- [15] Bonora, E. (2002). Postprandial peaks as a risk factor for cardiovascular disease: Epidemiological perspectives. *International journal of clinical practice*. Supplement. 129: 5-11.
- [16] Gauer, J. S., Tumova, S., Kerimi, A., Williamson, G. and Lippiat, J.D. (2018). Differential patterns of inhibition of the sugar transporters GLUT2, GLUT5 and GLUT7 by flavonoids. *Biochemical Pharmacology*. 152: 11-20.

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

- [17] Sangsirimongkolying, R., Supawantanakul, D. and Chalopagorn, P. (2019). Study on the inhibiting effect of alpha- amylase and alpha- glucosidase by local cuisine in Chaibadan district, Lopburi province. *Huachiew Clermprakiet Science and Technology journal*. 5(1): 73-87.
- [18] Rasouli, H., Hosseini-Ghazvini, S. M.-B., Adibi, H. and Khodarahmi, R. (2017). Differential α -amylase/ α -glucosidase inhibitory activities of plant-derived phenolic compounds: a virtual screening perspective for the treatment of obesity and diabetes. *Food & Function*. 8(5): 1942-1954.
- [19] Kerimi, A., Nyambe-Silavwe, H., Gauer, J.S., Tomás-Barberán, F.A. and Williamson, G. (2017). Pomegranate juice, but not an extract, confers a lower glycemic response on a high-glycemic index food: randomized, crossover, controlled trials in healthy subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 106(6) : 1384-1393.
- [20] Manzano, S. and Williamson, G. (2010). Polyphenols and phenolic acids from strawberry and apple decrease glucose uptake and transport by human intestinal Caco- 2 cells. *Molecular Nutrition & Food Research*. 54(12): 1773-1780.
- [21] Koh, L.W., Lin, L., Loo, Y.Y., Kasapis, S. and Huang, D. (2010). Evaluation of different teas against starch digestibility by mammalian glycosidases. *Journal of agricultural and food chemistry*. 58(1): 148-154.
- [22] Kashket, S. and Paolino, V. J. (1988). Inhibition of salivary amylase by water-soluble extracts of tea. *Archives of Oral Biology Archives of Oral Biology*. 33(11): 845-846.
- [23] McDougall, G. J., Shpiro, F., Dobson, P., Smith, P., Blake, A. and Stewart, D. (2005). Different polyphenolic components of soft fruits inhibit α -amylase and α -glucosidase. *Journal of agricultural and food chemistry*. 53(7): 2760-2766.
- [24] da Silva Pinto, M., Kwon, Y.I., Apostolidis, E., Lajolo, F.M., Genovese, M.I. and Shetty, K. (2008). Functionality of bioactive compounds in brazilian strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars: evaluation of hyperglycemia and hypertension potential using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(12): 4386-4392.
- [25] Kwon, Y.I., Apostolidis, E., Kim, Y.C. and Shetty, K. (2007). Health benefits of traditional corn, beans, and pumpkin in vitro studies for hyperglycemia and hypertension management. *Journal of Medicinal Food*. 10(2): 266-275.
- [26] Kwon, Y.I., Apostolidis, E. and Shetty, K. (2008). In vitro studies of eggplant (*Solanum melongena*) phenolics as inhibitors of key enzymes relevant for type 2 diabetes and hypertension. *Bioresource Technology*. 99(8): 2981-2988.
- [27] Srisawat, R. (2012). Effects of some medicinal plant extracts in the area of Suranaree University of Technology on the activities of lipase, amylase and

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

- glucosidase enzymes. Unpublished full research report of Suranaree University of Technology. Nakhon Ratchasima. Thailand.
- [28] Kaewpiboon, C. and Supaphon, P. (2019). Antioxidant and in vitro lipase, amylase and alpha- glucosidase inhibitory activities of selected thai medicinal plants. Thai Science and Technology Journal. 27(3): 435-444.
- [29] Pongcho, P. and Nualkaew, N. (2013). α -Glucosidase inhibition of Thai local vegetable extracts. Isan Journal of Phamaceutical Science. 9(1):218.
- [30] Sae-tan, S. and Kunpanya, P. (2017). Water extract from leaf and stem of white mugwort inhibits enzyme activity of α -amylase and α -glucosidase. Journal of Nutrition Association of Thailand. 52(2): 16-22.
- [31] Matsui, T., Ebuchi, S., Kobayashi, M., Fukui, K., Sugita, K., Terahara, N. and Matsumoto, K. (2001). Anti-hyperglycemic effect of diacylated anthocyanin derived from *Ipomoea batatas* cultivar Ayamurasaki can be achieved through the alpha-glucosidase inhibitory action. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50(25): 7244-7248.
- [32] Takayuki, H., Chisato, M., Hitoshi, A., Hanamura, T., Mayama, C. and Aoki, H. (2006). Antihyperglycemic effect of polyphenols from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) Fruit. Bioscience Biotechnology and Biochemistry. 70(8): 1813-1820.
- [33] Kim, S.H., Jo, S.H., Kwon, Y.I. and Hwang, J.K. (2011). Effects of onion (*Allium cepa* L.) extract administration on intestinal α -glucosidases activities and spikes in postprandial blood glucose levels in SD rats model. International Journal of Molecular Sciences. 12(6): 3757-3769.
- [34] Tanaka, S., Han, L.-K., Zheng, Y.-N. and Okuda, H. (2004). Effects of the flavonoid fraction from *Ginkgo biloba* extract on the postprandial blood glucose elevation in rats. Journal of the Pharmaceutical Society of Japan. 124: 605-612.
- [35] Jurgoński, A., Billing-Marczak, K., Juśkiewicz, J. and Krotkiewski, M. (2019). Formulation of a mixture of plant extracts for attenuating postprandial glycemia and diet-induced disorders in rats. Molecules (basel, Switzerland). 24(20): 3669.
- [36] Brouns, F., Bjorck, I., Frayn, K.N., Gibbs, A.L., Lang, V., Slama, G. and Wolever, T.M.S. (2005). Glycaemic index methodology. Nutrition Research Reviews. 18(1): 145-171.
- [37] Bryans, J.A., Judd, P.A. and Ellis, P.R. (2007). The effect of consuming instant black tea on postprandial plasma glucose and insulin concentrations in healthy humans. Journal of the American College of Nutrition. 26(5): 471-477.
- [38] Suraphad, P., Suklaew, P.O., Ngamukote, S., Adisakwattana, S. and Mäkynen, K. (2017) The effect of isomaltulose together with green tea on glycemic response and antioxidant capacity: a

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

- single-blind, crossover study in healthy subjects. *Nutrients*. 9(5): 464.
- [39] Törrönen, R., Kolehmainen, M., Sarkkinen, E., Mykkänen, H. and Niskanen, L. (2012). Postprandial glucose, insulin, and free fatty acid responses to sucrose consumed with blackcurrants and lingonberries in healthy women. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 96(3): 527-533.
- [40] Clegg, M. Pratt, M., Meade, C. and Henry, J. (2011). The addition of raspberries and blueberries to a starch-based food does not alter the glycaemic response. *The British Journal of Nutrition*. 106(3): 335-338.
- [41] Törrönen, R., Kolehmainen, M., Sarkkinen, E., Poutanen, K., Mykkänen, H. and Niskanen, L. (2013). Berries reduce postprandial insulin responses to wheat and rye breads in healthy women. *The Journal of Nutrition*. 143(4): 430-436.
- [42] Törrönen, R., Sarkkinen, E., Tapola, N., Hautaniemi, E., Kilpi, K. and Niskanen, L. (2009). Berries modify the postprandial plasma glucose response to sucrose in healthy subjects. *The British Journal of Nutrition*. 103(8): 1094-1097.
- [43] Johnston, K.L., Clifford, M.N. and Morgan, L.M. (2003). Coffee acutely modifies gastrointestinal hormone secretion and glucose tolerance in humans: glycemic effects of chlorogenic acid and caffeine. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 78(4): 728-733.
- [44] Balisteiro, D. M., Alezandro, M. R., and Genovese, M.I. (2013). Characterization and effect of clarified araca (*Psidium guineenses* Sw.) juice on postprandial glycemia in healthy subjects. *Food Science and Technology*. 33(SUPPL. 1): 66-74.
- [45] Nyambe-Silavwe, H. and Williamson, G. (2016). Polyphenol- and fibre-rich dried fruits with green tea attenuate starch-derived postprandial blood glucose and insulin: a randomised, controlled, single-blind, cross-over intervention. *British Journal of Nutrition*. 116(3): 443-450.
- [46] Bryans, J.A., Judd, P.A. and Ellis, P.R. (2007). The effect of consuming instant black tea on postprandial plasma glucose and insulin concentrations in healthy humans. *Journal of the American College of Nutrition*. 26(5): 471-477.
- [47] Castro-Acosta, M.L., Stone, S.G., Mok, J.E., Mhajan, R.K., Fu, C.-I., Lenihan-Geels, G.N., Corpe, C.P. and Hall, W.L. (2017). Apple and blackcurrant polyphenol-rich drinks decrease postprandial glucose, insulin and incretin response to a high-carbohydrate meal in healthy men and women. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 49: 53-62.
- [48] Mohan, R., Jose, S., Mulakkal, J., Karpinsky-Semper, D., Swick, A. G. and Krishnakumar, I.M. (2019). Water-soluble polyphenol-rich clove extract lowers pre- and post-prandial blood glucose levels in healthy and prediabetic volunteers: an open label pilot study. *Bmc Complementary and Alternative Medicine*. 19(1): 1-9.

* Corresponding author e-mail: piyawan.wvs@gmail.com

สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

School of Human Ecology, Sukhothai Thammathirat Open University

- [49] König, A., Schwarzing, B., Stadlbauer, V., Lanzerstorfer, P., Iken, M., Schwarzing, C., Kolb, P., Schwarzing, S., Mörwald, K., Brunner, S., Höglinger, O., Weghuber, D. and Weghuber, J. (2019). Guava fruit extract prepared by supercritical CO₂ extraction inhibits intestinal glucose resorption in a double-blind, randomized clinical study. *Nutrients*. 11(7). 1512.
- [50] Coe, S. and Ryan, L. (2016). Impact of polyphenol-rich sources on acute postprandial glycaemia: a systematic review. *Journal of Nutritional Science*. 5: e24.