



Research article

Glycemic Index and the Impact of Ready-to-Use Blenderized Diet on Glucose and Insulin Levels in People with Type 2 Diabetes Mellitus

Pimnapanut Sridonpai¹, Karaked Tongdonpo¹, Aree Prachansuwan¹,

Sasiumphai Purttiponthanee¹, Thunnalin Winuprasith¹, Numphung Rungraung¹,

Niramol Muangpracha¹, Wantanee Kriengsinyos^{1*}

¹*Institute of Nutrition, Mahidol University, Salaya, Phuthamonthon, Nakhon Pathom, Thailand*

ABSTRACT

Controlling postprandial blood glucose levels within the normal range reduces the risk of diabetes mellitus and helps prevent complications in people with diabetes mellitus. Blenderized diet (BD) is gaining increasing attention due to its versatility for oral and tube feeding. The preparation of BD involves multiple steps, with food safety being a crucial consideration. A convenient and nutritionally complete ready-to-use blenderized diet (RTU-BD) has been formulated in response to these challenges. This research aims to investigate the glycemic index (GI) according to ISO 26642:2010 in 15 healthy individuals aged 23-34 years, each studied on five occasions for 120 minutes, as well as to examine postprandial blood glucose and insulin levels in 14 individuals with Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM), aged 37-58 years, each studied twice for 240 minutes after consuming RTU-BD. The study adopts a randomized double-blind crossover trial. Both formulations of RTU-BD exhibited a low GI ($GI \leq 55$). The RTU-BD low glycemic index formula (BDT) demonstrated GI values of 29 when compared to the standard formula (STD), which was 49 ($p < 0.05$). Consistent with the responses observed in blood glucose and insulin levels among T2DM patients, the mean area under the blood glucose curve for the BDT formula was $4,776 \pm 2,496$ mg.min/dL compared to the STD formula's $6,434 \pm 4,308$ mg.min/dL ($p < 0.05$). RTU-BD formulas also better insulin responsiveness ($p < 0.05$). Notably, the BDT demonstrated a more pronounced effect, leading to preferable blood glucose levels compared to the STD. In conclusion, the developed RTU-BD presents an alternative for consumers seeking to manage post-meal blood glucose levels while ensuring appropriate nutrition.

Key words: Ready-to-Use Blenderized Diet (RTU-BD); Glycemic Index (GI); Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM)

Received: 26 February 2024

Accepted: 24 April 2024

Available online: 27 April 2024

*Corresponding author's email: wantanee.krieng@mahidol.ac.th

บทความวิจัย

ค่าดัชนีน้ำตาล และผลของการรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสม

ชนิดพร้อมใช้ต่อระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดของ

ผู้เป็นเบาหวานชนิดที่ 2

พิมพ์ภรณ์ ศรีดอนไผ่¹, การะเกด ทองดอนโพธิ์¹, อารีย์ ประจันสุวรรณ¹,

ศศิอำไพ พฤติพรธานี¹, ธัญญ์นลิน วิญญูประสิทธิ์¹, น้าผึ้ง รุ่งเรือง¹,

นิรมล ม่วงประชา¹, วันทนีย์ เกรียงสินยศ^{1*}

¹สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา พุทธมณฑล นครปฐม

บทคัดย่อ

การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารให้อยู่ระดับใกล้เคียงค่าปกติ ช่วยป้องกันโรคแทรกซ้อนในผู้เป็นเบาหวาน ปัจจุบันความสนใจผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสม (Blenderized Diet, BD) มีมากขึ้นเนื่องจากรับประทานได้ทั้งดื่มและทางสายให้อาหาร การเตรียม BD มีหลายขั้นตอนและต้องคำนึงถึงความสะอาด จึงพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้ (Ready-to-Use Blenderized Diet, RTU-BD) เพื่อความสะดวกและมีสารอาหารเหมาะสมครบถ้วน วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index, GI) ตามข้อกำหนด ISO 26642:2010 ในคนสุขภาพดี 15 คน อายุ 23-34 ปี ศึกษา 5 ครั้ง ครั้งละ 120 นาที และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือด หลังรับประทาน RTU-BD ในผู้เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes Mellitus, T2DM) 14 คน อายุ 37-58 ปี ศึกษา 2 ครั้ง ครั้งละ 240 นาที รูปแบบการศึกษา randomized double-blind crossover trial พบว่า RTU-BD สองสูตรมีค่า GI ต่ำ ($GI \leq 55$) โดยสูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT) มีค่า $GI = 29$ เมื่อเทียบสูตรมาตรฐาน (STD) ค่า $GI = 49$ ($p < 0.05$) สอดคล้องการศึกษา T2DM พบว่าค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟระดับน้ำตาลในเลือดสูตร BDT เท่ากับ $4,776 \pm 2,496$ mg.min/dL เทียบกับสูตร STD $6,434 \pm 4,308$ mg.min/dL ($p < 0.05$) และสูตร BDT มีค่าความไวต่ออินซูลินดีขึ้นหลังรับประทาน ($p < 0.05$) ดังนั้น RTU-BD สูตร BDT ที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหารและได้รับสารอาหารเหมาะสมครบถ้วน

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้, ค่าดัชนีน้ำตาล, ผู้เป็นเบาหวานชนิดที่ 2



บทนำ

โรคเบาหวานชนิดที่ 2 เป็นโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่พบได้บ่อย มักพบในคนที่มีอายุ 30 ปีขึ้นไป รูปร่างท้วมหรืออ้วน จากรายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยการตรวจร่างกายครั้งที่ 6 ในปี พ.ศ. 2563 พบว่าความชุกของโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของประชากรไทยอายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไปเท่ากับร้อยละ 9.5 และในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2563 ผู้เป็นเบาหวานมีจำนวนเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 21¹ อย่างไรก็ตาม หากผู้เป็นเบาหวานสามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ใกล้เคียงค่าปกติ จะช่วยลดความเจ็บป่วยจากภาวะแทรกซ้อนเรื้อรังที่เกิดกับเส้นเลือดขนาดเล็ก (Microvascular complications) ได้แก่ เบาหวานขึ้นตา เบาหวานลงไต โรคแทรกซ้อนทางระบบประสาท และภาวะแทรกซ้อนที่เกิดกับเส้นเลือดขนาดใหญ่ (Macrovascular complications) ได้แก่ หลอดเลือดหัวใจตีบ โรคหลอดเลือดสมองตีบหรือแตก การศึกษาก่อนหน้าพบว่าอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ หรือ Low glycemic index (Low GI) มีค่า $GI \leq 55$ ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด² น้ำตาลไอโซมอลทูลอสเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า GI ต่ำ เท่ากับ 38³ ผลผลิตจากกระบวนการทางชีวภาพโดยใช้เอนไซม์ เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส ส่งผลให้พันธะระหว่างโมเลกุลกลูโคสและฟรุคโตสแข็งแรงขึ้น เมื่อรับประทานแล้วร่างกายย่อยสลายและดูดซึมได้ช้า มีผลต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด น้ำตาลไอโซมอลทูลอสให้ความหวานร้อยละ 50 ของน้ำตาลทราย แต่ยังคงเนื้อสัมผัสของอาหารคล้ายน้ำตาล⁴⁻⁵ มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงประโยชน์ทางสุขภาพของน้ำตาลไอโซมอลทูลอสพบว่าลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด⁶ และลดระดับอินซูลิน⁷ อย่างไรก็ตาม รายงานการศึกษาระยะยาวพบว่าอาหารที่มีค่า GI สูง ($GI \geq 70$) หรือ ค่า Glycemic load (GL) สูง ($GL \geq 20$) ทำให้ระดับเอชดีแอลคอเลสเตอรอล (High-density lipoprotein, HDL) ลดลง และเพิ่มค่าแอลดีแอลคอเลสเตอรอล (Low-density lipoprotein, LDL) กับค่าไตรกลีเซอไรด์

ในเลือด⁸ ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด ปัจจุบันอาหารปั่นผสม หรือ Blenderized diet (BD) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับความนิยมมากขึ้น⁹ เนื่องจากเป็นอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวสามารถรับประทานได้โดยการดื่มน้ำ (Oral nutritional supplements) และทางสายให้อาหาร (Tube feeding) ช่วยป้องกันการเกิดภาวะขาดสารอาหารทั้งในผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยทั่วไปที่ต้องการเพิ่มพลังงานและสารอาหาร ผู้ป่วยที่มีปัญหาบริเวณช่องปากและลำคอ อาหารปั่นผสมเตรียมโดยชั่งตวงอาหารที่ผ่านการปรุงสุกแล้วในสัดส่วนที่เหมาะสม แล้วนำมาปั่นจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน การเตรียมอาหารปั่นผสมมีหลายขั้นตอนและใช้เวลานาน อีกทั้งต้องคำนึงถึงความสะดวกและต้องเก็บรักษาในตู้เย็นที่สำคัญต้องใช้ภายใน 24 ชั่วโมงหลังเตรียม ผู้เตรียมอาหารปั่นผสมต้องได้รับการฝึกฝนและมีความเชี่ยวชาญในการเตรียม ไม่เช่นนั้นอาจเกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์¹⁰⁻¹² หรือมีปริมาณสารอาหารไม่ครบถ้วน¹³ ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับอาหารปั่นผสมได้ ดังนั้นเพื่อลดปัญหาความยุ่งยากในการเตรียมอาหารปั่นผสมจึงพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมสำเร็จรูปพร้อมใช้หรือ Ready-to-use blenderized diet (RTU-BD) ที่มีสารอาหารครบถ้วน สูตรมาตรฐาน (STD) ที่มีไก่และผักทองเป็นส่วนประกอบหลัก บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดอเนกตัว (Retort pouch) โดยผ่านกรรมวิธีการฆ่าเชื้อสเตอริไลซ์เซชันด้วยหม้อไอน้ำแรงดันสูง (Water spray retort) ทำให้เก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องแช่เย็น ทั้งนี้มีการศึกษาของ Jayanama K. และคณะ¹⁴ พบว่าผู้ป่วยในโรงพยาบาลที่รับประทาน RTU-BD สูตร STD เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ มีภาวะโภชนาการที่ดีขึ้น ไม่มีอาการข้างเคียงที่รุนแรงและมีผลเสียต่อสุขภาพ ได้แก่ แพ้อาหาร ท้องอืด แน่นท้อง อาเจียน ท้องเสีย รวมถึงไม่เกิดการอุดตันของสายให้อาหาร จากอุปนิสัยของผู้เป็นเบาหวานเพิ่มขึ้นและพบมากในผู้ใหญ่และผู้สูงอายุจึงพัฒนา RTU-BD สูตร STD เป็นสูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT) โดยใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า

ดัชนีน้ำตาลต่ำ และจากการทบทวนวรรณกรรมก่อนหน้าพบว่างานวิจัยที่กล่าวถึงประสิทธิผลของการได้รับอาหารปั่นผสมต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดค่อนข้างจำกัด จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลของ RTU-BD สูตร STD และสูตร BDT และศึกษาการตอบสนองของระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดหลังรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้ในผู้เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 เพื่อเป็นข้อมูลในการแนะนำผู้บริโภคหรือการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

วิธีการวิจัย

การศึกษาที่ 1 ศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้

การศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้มีรูปแบบการศึกษาแบบ Randomized double-blind crossover trial ศึกษาในผู้ที่มีสุขภาพดีจำนวน 15 คน มีค่าดัชนีมวลกาย (body mass index, BMI) 18.5-22.9 kg/m² ระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหารอย่างน้อย 8 ชั่วโมง (Fasting blood glucose) มีค่าน้อยกว่า 100 mg/dL ไม่มีประวัติการรับประทานยาที่มีผลต่อความทนน้ำตาลกลูโคส (glucose tolerance) หรือการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร โดยขนาดตัวอย่างเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 26642:2010¹⁵ **ดังแสดงในภาพที่ 1 (A)** ผู้เข้าร่วมการศึกษาแต่ละคนรับประทานอาหารทดสอบโดยการสุ่ม ครั้งละ 1 ชนิด ระยะเวลาห่างกันประมาณ 1 สัปดาห์ อาหารทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ อาหารมาตรฐานคือสารละลายน้ำตาลกลูโคส (GLU) ผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้สูตรมาตรฐาน (STD) และสูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT) โดย RTU-BD สูตร STD และ BDT เป็นผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาร่วมกันระหว่างสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล และบริษัท ซีพี ออฟ ฟู้ด แอนด์ เบฟเวอร์เรจ จำกัด ประกอบด้วย เนื้อไก่ พักทอง

ไข่ไก่ น้ำมันรำข้าว น้ำเชื่อมกลูโคส มอลโตเดกซ์ทริน เลซิติน วิตามินและแร่ธาตุ โดยสูตร BDT จะมีอินซูลินและน้ำตาลไอโซมอลทูลูโลส เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมีต้นทุนวัตถุดิบใกล้เคียงกัน และทางผู้ผลิตตั้งราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรที่ราคาเท่ากัน ดังนั้นผู้บริโภคสามารถเข้าถึงผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรได้ตามความต้องการ ผู้เข้าร่วมการศึกษารับประทานสารละลายน้ำตาลกลูโคส (สารมาตรฐาน) จำนวน 3 ครั้ง และอาหารทดสอบจะจัดเตรียมให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายนำไปใช้ได้ปริมาณที่เท่ากัน คือ 50 กรัม ดังนั้นผู้เข้าร่วมการศึกษาต้องทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง สามารถคำนวณค่าดัชนีน้ำตาล ได้ดังสมการ¹⁶

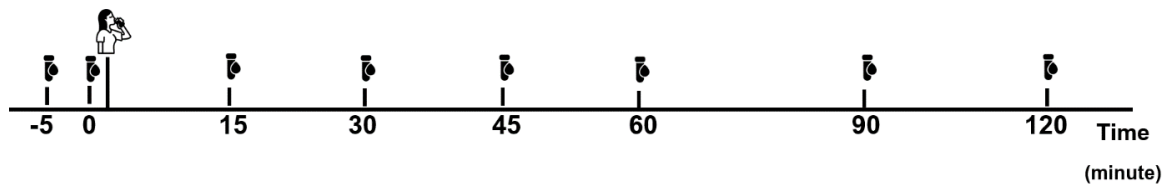
$$\text{ค่า GI ของอาหารทดสอบ} = \frac{\text{iAUC ของ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารทดสอบค่าเฉลี่ยของ}}{\text{iAUC ของ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานสารละลายกลูโคสมาตรฐาน}} \times 100$$

และคำนวณค่า Glycemic load (GL) ได้ดังสมการ¹⁶

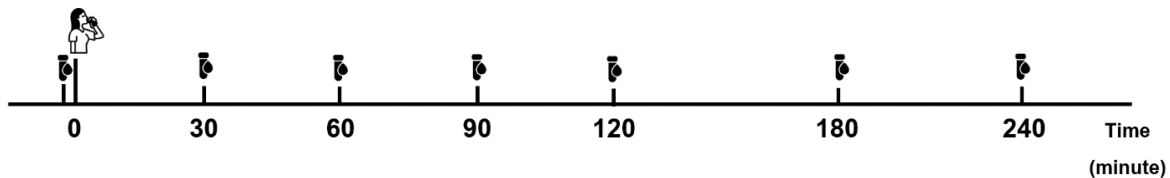
$$\text{ค่า GL} = \frac{\text{GI} \times \text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายนำไปใช้ในอาหารทดสอบที่รับประทาน (กรัม)}}{100}$$

การศึกษาที่ 2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาล และอินซูลินในเลือด

การศึกษการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดของผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้มีรูปแบบการศึกษาแบบ Randomized double-blind crossover trial ศึกษาในผู้เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 ที่มีระยะเวลาการเป็นโรคน้อยกว่า 10 ปี ไม่มีโรคแทรกซ้อนและมีค่าระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหารอย่างน้อย 10-12 ชั่วโมง ไม่เกิน 180 mg/dL รักษาโดยการรับประทานยาควบคุมเบาหวานหรือควบคุมอาหารเพียงอย่างเดียว โดยในวันที่ศึกษารับประทานยาตามปกติ คำนวณขนาดตัวอย่างจากข้อมูลการศึกษา ผลของการบริโภคอาหารทดแทนสูตรครบถ้วน สำหรับผู้เป็นเบาหวาน (Diabetes specific formula) ของ Voss และคณะ¹⁷ ค่าเฉลี่ยความต่างของพื้นที่ใต้กราฟระดับน้ำตาลในเลือด หลังบริโภคอาหารทดสอบและอาหารควบคุมเท่ากับ 580 mmol/L.min และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



A. การศึกษาที่ 1 ค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดปั่นผสม



B. การศึกษาที่ 2 การตอบสนองน้ำตาลและอินซูลินในเลือดหลังรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารชนิดปั่นผสมในผู้ที่เป็เบาหวานชนิดที่ 2

 เก็บตัวอย่างเลือด  ผู้เข้าร่วมการศึกษารับประทานอาหารทดสอบ

ภาพที่ 1 แผนภาพการศึกษา

(Standard deviation, sd) ของอาหารทดสอบและอาหารควบคุม เท่ากับ 658 และ 329 ตามลำดับ กำหนดอำนาจทดสอบร้อยละ 80 ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยคิด 30% dropout คำนวณผู้เข้าร่วมการศึกษาเท่ากับ 15 คน ผู้เข้าร่วมการศึกษแต่ละคนได้รับผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด โดยการสุ่ม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้สูตรมาตรฐาน (STD) และสูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT) ปริมาณพลังงานและสารอาหารแสดงในตารางที่ 1 โดยรับประทานอาหารทดสอบครั้งละ 1 ชนิด ในปริมาณ 1 ถ้วย (300 กรัม) ทดสอบ 2 ครั้ง ครั้งละ 240 นาที แต่ละครั้งห่างกันประมาณ 1 สัปดาห์ ดังแสดงในภาพที่ 1 (B) การศึกษาที่ 1 และ 2 ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการสุ่มลำดับการได้รับอาหารทดสอบ เพื่อให้ลำดับและช่วงเวลาของชนิดอาหารที่ใช้ทดสอบเท่าๆ กัน โดยผู้เข้าร่วมการศึกษและผู้วิจัยไม่ทราบว่าทดสอบอาหารปั่นผสมชนิดใด วิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือดโดยวิธี GOD/PAP (Enzyme Glucose Oxidase / Glucose Peroxide) เครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ Randox IMOLA (Furuno, Japan) และวิเคราะห์ระดับอินซูลินในเลือดโดยวิธี

Chemiluminescence Microparticle Immunoassay (CMIA) เครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ Architect i1000SR (Abbott, Germany) โดย บริษัท อินโนเทค ลาบอราทอรี เซอร์วิส จำกัด ผลการทดสอบตัวอย่างควบคุมคุณภาพ (IQC) หรือ Intra-assay precision ของ ระดับน้ำตาลและระดับอินซูลินในเลือด เท่ากับ 2.89 และ 3.15 ตามลำดับ และการทดสอบเทียบกับกลุ่มห้องปฏิบัติการทดสอบภายนอก (EQA) หรือ Inter-assay precision ของ ระดับน้ำตาลและระดับอินซูลินในเลือด เท่ากับ 2.16 และ 2.40 ตามลำดับ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟ หลังจากรับประทานอาหารทดสอบ (Incremental area under the curve, iAUC) โดยโปรแกรม GRAPHPAD PRISM 5 for Windows version 5.01 (GraphPad Software Inc., San Diego, California, USA) การศึกษาได้ผ่านการพิจารณาและอนุมัติให้ดำเนินการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนชุดกลาง มหาวิทยาลัยมหิดล (COA No. MU-CIRB 2018/ 200. 0911) และลงทะเบียนงานวิจัยแบบทดลองทางคลินิกในฐานข้อมูล Thai Clinical Trials Registry เลขที่ TCTR20201020007

ตารางที่ 1 ปริมาณพลังงานและสารอาหารของผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้สูตรมาตรฐาน (STD) และสูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT) ขนาด 1 ถ้วย (300 กรัม)

สารอาหาร	อาหารชนิดปั่นผสม	
	สูตรมาตรฐาน (STD)	สูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT)
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	271	297
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	9.0	11.0
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	2.5	2.5
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม)	80.0	95.0
โปรตีน (กรัม)	13.0	12.0
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	35.0	40.0
ใยอาหาร (กรัม)	1.0	5.1
คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายนำไปใช้ได้* (กรัม)	34.0	34.9

* คาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายนำไปใช้ได้ (กรัม) (Available carbohydrate (g)) = ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม) - ปริมาณใยอาหาร (กรัม)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

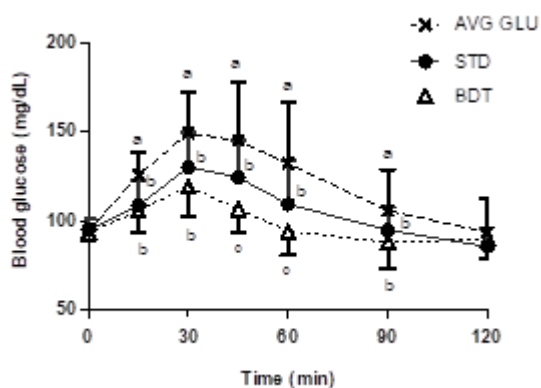
ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (PASW Statistics for Windows, Version 18.0. Chicago: SPSS Inc; 2009) ทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลโดย Shapiro-Wilk test ทดสอบ carryover effect โดยใช้ linear mixed model และทดสอบความแตกต่างตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระดับน้ำตาลและระดับอินซูลินในเลือดของอาหารทดสอบที่เวลาต่างกัน ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางแบบวัดซ้ำ (Two-way repeated-measures ANOVA) โดยใช้สถิติทดสอบ Bonferroni และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่า iAUC ระหว่างอาหารทดสอบของการศึกษาที่ 1 โดย One-way ANOVA ร่วมกับ Bonferroni และใช้สถิติ paired t-test ในการศึกษาที่ 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ผลการวิจัย

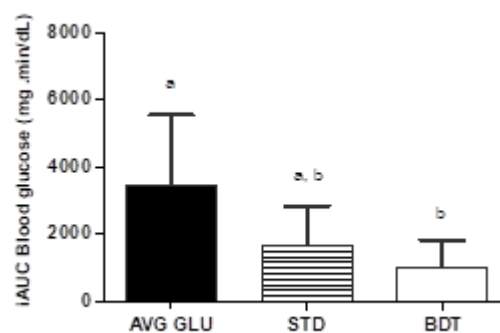
การศึกษาที่ 1 การศึกษาค่าดัชนีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดปั่นผสม

ผู้เข้าร่วมการศึกษาจำนวน 15 คน ประกอบด้วย เพศชาย 6 คน และ เพศหญิง 9 คน มี

อายุระหว่าง 23-34 ปี มีประวัติสุขภาพดี ไม่มีการเจ็บป่วยร้ายแรงใด ๆ มาก่อน มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ ไม่มีประวัติการสูบบุหรี่หรือดื่มแอลกอฮอล์ มีพฤติกรรมการรับประทานอาหารปกติ ไม่อยู่ระหว่างการควบคุมน้ำหนักหรือรับประทานยาใดเป็นประจำ และไม่มีประวัติหรือแพ้อาหาร ผู้เข้าร่วมการศึกษาทุกคนได้เซ็นการยินยอมเข้าร่วมการศึกษาโดยได้รับการบอกกล่าวและเต็มใจ และไม่มี Carryover effect ของลำดับและเวลาที่รับประทานอาหารทดสอบในการศึกษานี้ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดตลอดระยะเวลา 120 นาที ของผู้เข้าร่วมการศึกษาหลังจากรับประทาน GLU อาหารชนิดปั่นผสมสูตร STD และ BDT พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทาน BDT ต่ำที่สุด และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทาน BDT มีความแตกต่างจากหลังรับประทาน GLU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) โดยในการติดตามนี้พบว่าระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นสูงสุด (Peak) ที่ 30 นาที (p-value < 0.05) หลังจากนั้นระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำใกล้เคียงระดับน้ำตาลในเลือดก่อนรับประทานเมื่อสิ้นสุดการศึกษา แสดงในภาพที่ 2 (A) ค่าเฉลี่ย iAUC ของระดับน้ำตาลในเลือดหลังจากรับประทาน GLU 3 ครั้ง (AVG Glu)



A.



B.

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05)

ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) A. ระดับน้ำตาลในเลือด B. พื้นที่ใต้กราฟการเพิ่มขึ้นระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานสารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐานเฉลี่ย 3 ครั้ง (AVG GLU) ผลิตภัณฑ์อาหารชนิดปั่นผสมสูตรมาตรฐาน (STD) และสูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT)

สูตร STD และสูตร BDT แสดงในภาพที่ 2 (B) พบว่า iAUC ของระดับน้ำตาลในเลือดหลังจากรับประทาน BDT มีค่าน้อยที่สุด และมีความแตกต่างจาก AVG GLU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) และค่า iAUC ของระดับน้ำตาลในเลือดหลังจากรับประทาน BDT มีค่าน้อยกว่า STD ร้อยละ 39 ทั้งนี้ เมื่อนำค่า iAUC มาคำนวณค่า GI พบว่าอาหารชนิดปั่นผสม BDT มีค่า GI ต่ำ เท่ากับ 29 (SD = 10, SEM = 2.59) และค่า Glycemic load (GL) ต่ำ เท่ากับ 10 โดยมีค่า GI แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) เมื่อเทียบกับอาหารชนิดปั่นผสม STD ที่มีค่า GI ต่ำ เท่ากับ 49 (SD = 22, SEM = 5.75) และค่า GL ปานกลาง เท่ากับ 17

การศึกษาที่ 2 การตอบสนองของน้ำตาลและอินซูลินในเลือดหลังรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารชนิดปั่นผสมในผู้ที่เป็เบาหวานชนิดที่ 2

ผู้เข้าร่วมการศึกษาที่ได้รับคัดเลือกจำนวน 14 คน ประกอบด้วย เพศชาย 7 คน และ เพศหญิง 7 คน อายุระหว่าง 37-58 ปี เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์อ้วน ระดับ 1 (BMI อยู่ระหว่าง 25.0-29.9 kg/m²) มีพฤติกรรมการรับประทานอาหารปกติ ไม่อยู่ระหว่างการควบคุมน้ำหนัก ผู้เข้าร่วมการศึกษาทุกคนได้เซ็นการยินยอม

เข้าร่วมการศึกษา โดยได้รับการบอกกล่าวและเต็มใจ คุณลักษณะของผู้เข้าร่วมการศึกษาที่เข้าร่วมโครงการ แสดงในตารางที่ 2 และการศึกษาไม่พบ Carryover effect ของลำดับ และเวลาที่ผู้เข้าร่วมการศึกษาได้รับอาหารทดสอบ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดตลอดระยะเวลา 240 นาที แสดงในภาพที่ 3 (A และ B) ตามลำดับ หลังจากรับประทาน RTU-BD สูตร STD และ BDT ระดับน้ำตาลและระดับอินซูลินในเลือดขึ้นสูงสุด (peak) ที่ 60 นาที และ 90 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้นระดับน้ำตาล และอินซูลินในเลือดลดลงเท่ากับก่อนรับประทานเมื่อสิ้นสุดการศึกษา ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาล หลังจากรับประทาน RTU-BD สูตร STD สูงกว่า BDT ที่ 60-180 นาที และระดับอินซูลินในเลือด STD สูงกว่า BDT ที่ 180 นาที (p -value < 0.05) เมื่อนำมาคำนวณค่า iAUC ระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดหลังรับประทาน RTU-BD สูตร STD และ BDT ดังแสดงในภาพที่ 3 (C และ D) ตามลำดับ โดยค่า iAUC ของระดับน้ำตาลในเลือด หลังรับประทาน BDT มีค่าน้อยกว่า STD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) และมีค่าต่างกันคิดเป็นร้อยละ 27 อย่างไรก็ตามค่า iAUC ระดับอินซูลินในเลือดหลังรับประทาน BDT มีแนวโน้มน้อยกว่า STD คิดเป็นร้อยละ 17

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของผู้เข้าร่วมการศึกษา

รายการ	เพศชาย (7 คน)	เพศหญิง (7 คน)	รวมทั้งหมด (14 คน)
อายุ (ปี)	43.10 ± 13.52	47.43 ± 7.72	47.21 ± 7.59
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	68.10 ± 22.31	66.04 ± 8.10	72.59 ± 11.25
ดัชนีมวลกาย (kg/m ²)	25.34 ± 7.67	26.72 ± 2.72	27.31 ± 2.76
ระดับน้ำตาลในเลือดหลังอดอาหาร (mg/dL)	145.30 ± 21.09	146.71 ± 17.98	146.13 ± 18.90
ระดับอินซูลินในเลือดหลังอดอาหาร (mU/L)	9.25 ± 2.27	9.98 ± 3.07	9.68 ± 2.73
ความดื้อต่ออินซูลิน (HOMA-IR)*	3.20 ± 1.27	3.54 ± 0.92	3.48 ± 1.06
ระยะเวลาการเป็นเบาหวาน	5.8 ± 3.7	5.2 ± 3.4	5.5 ± 3.4
ควบคุมระดับน้ำตาลโดยควบคุมอาหาร	1	2	3
ยาเม็ดลดระดับน้ำตาล			
- 1 ชนิด	3	3	6
- 2 ชนิด	2	2	4
- 3 ชนิด	1	-	1
ชนิดยาเม็ดลดระดับน้ำตาล			
- Metformin	6	5	11
- Glimepiride	-	1	1
- Glipizide	3	1	4
- Pioglitazone	1	-	1

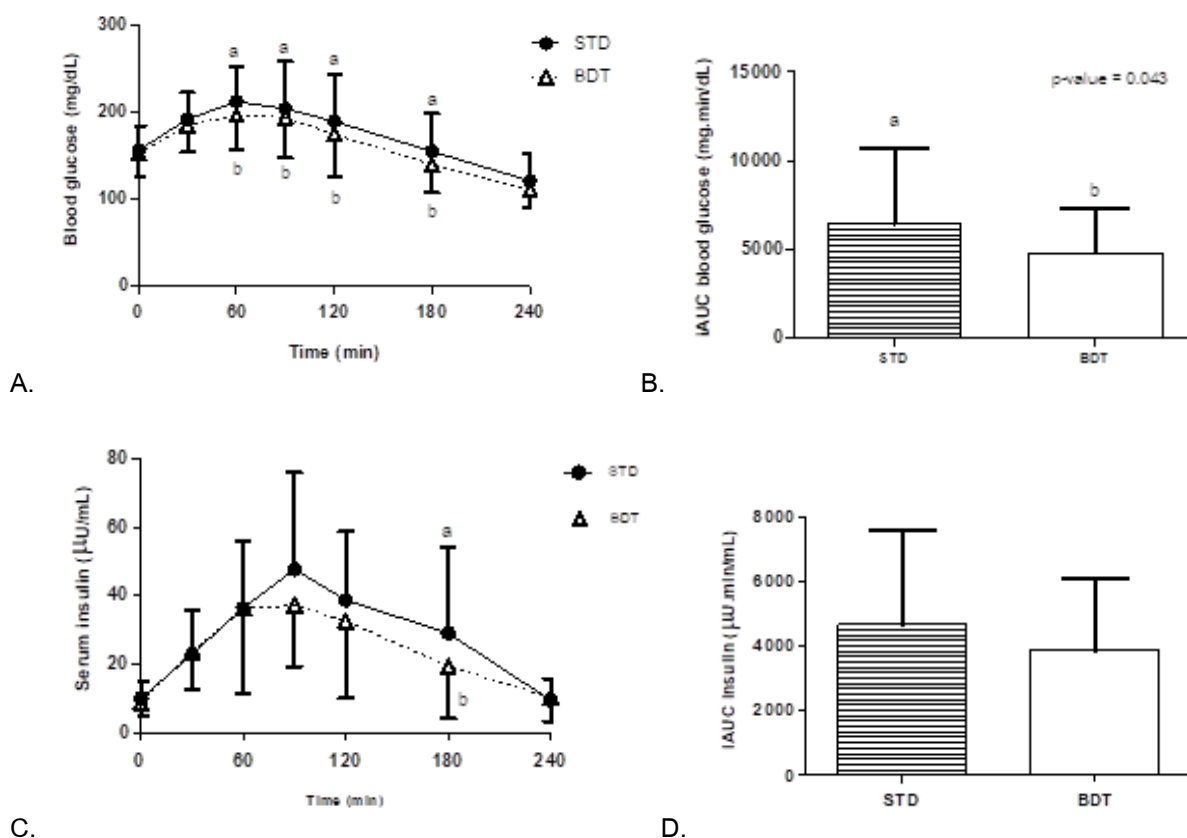
*HOMA-IR¹⁸ = ระดับอินซูลินในเลือด นาที่ที่ 0 (mU/L) x ระดับน้ำตาลในเลือด นาที่ที่ 0 (mg/dL) / 405

การตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดหลังจากรับประทาน RTU-BD สูตร BDT มีค่า Insulinogenic index และ ค่า ISI_{Matsuda} สูงกว่าสูตร STD โดย ค่า ISI_{Matsuda} ที่แสดงถึงความไวต่ออินซูลินมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 3

วิจารณ์ผล

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์อาหารชนิดปั่นผสมพร้อมใช้สูตร STD และ BDT ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาล (การศึกษาที่ 1 และ 2) และระดับอินซูลิน (การศึกษาที่ 2) ในเลือดหลังรับประทานเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งในผู้ที่มีสุขภาพดีและผู้ที่เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 โดยผลิตภัณฑ์อาหารชนิดปั่นผสมทั้ง 2 สูตรจัดอยู่ใน

เกณฑ์ดัชนีน้ำตาลต่ำ (GI ≤ 55)^{2,18} มีส่วนประกอบโปรตีนจากเนื้อไก่ และไข่ คาร์โบไฮเดรตจากฟักทอง กลูโคสไซรัป มอลโทเดกซ์ทริน อินูลิน น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ไขมันจากน้ำมันรำข้าว และเลซิติน และมีการกระจายพลังงานจากสารอาหารหลักใกล้เคียงกัน โดยการกระจายพลังงานจากโปรตีนร้อยละ 19 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 51 และไขมันร้อยละ 30 อย่างไรก็ตาม สูตร BDT มีผลทำให้ระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดลดลงได้ดีกว่าสูตร STD การศึกษานี้พบว่าปริมาณและชนิดของคาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด¹⁹ จะเห็นว่า ถึงแม้ RTU-BD ทั้ง 2 สูตรจัดอยู่ในเกณฑ์ GI ต่ำ โดย ค่า GI ของ BDT เท่ากับ 29 และ STD เท่ากับ 49 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นผลจาก



* ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05)

ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) A. การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลในเลือด B. พื้นที่ใต้กราฟการเพิ่มขึ้นระดับน้ำตาลในเลือด C. การเปลี่ยนแปลงระดับอินซูลินในเลือด และ D. พื้นที่ใต้กราฟการเพิ่มขึ้นระดับอินซูลินในเลือด หลังรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารปั่นผสมชนิดพร้อมใช้สูตรมาตรฐาน (STD) และสูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT) ตลอดระยะเวลาการศึกษา 240 นาที

ตารางที่ 3 ค่าการตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือด

	อาหารชนิดปั่นผสม		p-value
	สูตรมาตรฐาน (STD)	สูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT)	
Insulinogenic index	0.36 $\pm$ 0.36	0.48 $\pm$ 0.33	0.088
ISI _{Matsuda}	0.18 $\pm$ 1.78	5.43 $\pm$ 2.64	0.000

* Insulinogenic index¹⁸ = [(ระดับอินซูลินในเลือด นาทีที่ 30) - (ระดับอินซูลินในเลือด นาทีที่ 0)] / [(ระดับน้ำตาลในเลือด นาทีที่ 30) - (ระดับน้ำตาลในเลือด นาทีที่ 0)], ISI_{Matsuda} = 10,000 / [(ระดับน้ำตาลในเลือด นาทีที่ 0 $\times$ ระดับอินซูลินในเลือด นาทีที่ 0) $\times$ (ค่าเฉลี่ยระดับน้ำตาลในเลือด $\times$ ค่าเฉลี่ยระดับอินซูลินในเลือด)]^{1/2}

วัตถุประสงค์ เมื่อพิจารณาวัตถุประสงค์ที่เหมือนกันและเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตหลัก ได้แก่ พักทอง กลูโคส ไซรัป มอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นวัตถุดิบชนิดที่มีค่า GI สูง²⁰ พบว่าค่า GL ของสูตร BDT เท่ากับ 10 ซึ่ง

จัดอยู่ในเกณฑ์ Glycemic load ต่ำ (Low GL) ขณะที่สูตร STD เท่ากับ 17 อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (Moderate GL) ในส่วนวัตถุดิบที่ต่างกัน สูตร BDT มีการปรับส่วนประกอบจากสูตร STD ดังนี้ 1) แทนที่

กลูโคสไซรัป ด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 2.8 2) เติมนิโกลิน ร้อยละ 1.5 (w/w) 3) ใส่ไขมันรำข้าว เพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.4 หรือคิดเป็น 1.16 เท่าของ STD ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดผลเสริมฤทธิ์กัน (Synergistic effect) สอดคล้องกับการศึกษาของ Kordowski และคณะ²¹ พบว่าร้อยละ 72 ของผู้เข้ารวม การศึกษาควบคุมระดับน้ำตาลได้ดีจากการ รับประทานน้ำตาลไอโซมอลทูลอสและนิโกลิน ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีพันธะ α -1,6-ไกลโคซิดิกระหว่างโมเลกุลกลูโคสและฟรุคโตส ทำให้มีความแข็งแรง ร่างกายจึงย่อยและดูดซึมน้ำตาล กลูโคสได้ช้า เป็นผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้า และมีความแปรปรวนของระดับน้ำตาลในเลือดลดลง^{4,5} และเป็นไปได้ว่านิโกลินและไขมันรำข้าวกระตุ้นให้ เกิดการหลั่งฮอร์โมนในทางเดินอาหาร (Gut hormone)²²⁻²⁴ และทำให้อาหารอยู่ในกระเพาะอาหาร นานขึ้น²⁴ อย่างไรก็ดี ในการศึกษาที่ไม่มีการศึกษา การเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนในทางเดินอาหารและการ วัด Gastric emptying rate จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจใน การต่อยอดการศึกษาในอนาคต เมื่อพิจารณา การศึกษาอาหารทดแทนสูตรครบถ้วนสำหรับผู้เป็น เบาหวาน ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับการศึกษา ของ Hofman และคณะ²⁵ ซึ่งรายงานค่าเฉลี่ย GI ของ อาหารทดแทนสูตรครบถ้วนสำหรับผู้เป็นเบาหวานที่ มีจำหน่ายในท้องตลาด จำนวน 6 ตัวอย่าง เท่ากับ 19.4 โดยมีค่า GI ตั้งแต่ 12-26 และสอดคล้องกับ การศึกษาค่า GI ในผู้ที่มีสุขภาพดี ของ Patel และ คณะ²⁶ ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีค่า GI ต่ำ เท่ากับ 33 และ 35 และผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบ (Comparator product) มีค่า GI 29 โดยค่าเฉลี่ยการ เพิ่มขึ้นของ iAUC ระดับน้ำตาลในเลือดของ ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนามีค่าลดลงประมาณสองเท่าเมื่อ เทียบกับสารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน เช่นเดียวกับสูตร STD ขณะที่ผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบ ลดลงประมาณสามเท่าเช่นเดียวกับสูตร BDT การศึกษาในผู้เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 มีการ ตอบสนองระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดหลัง รับประทาน RTU-BD สูตร STD และ BDT ปริมาณ

300 กรัม เท่ากันพบว่าหลังรับประทานสูตร BDT มี ค่า iAUC ของระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่า STD คิด เป็นร้อยละ 27 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ให้ผล ใกล้เคียงกับอาหารทดแทนสูตรครบถ้วน สำหรับผู้ เป็นเบาหวาน จากการศึกษาของ Buranapin และ คณะ²⁷ พบว่าค่า iAUC ของระดับน้ำตาลในเลือดหลัง ดื่มอาหารทดแทนสูตรครบถ้วน สำหรับผู้เป็น เบาหวานเป็นเวลา 120 นาที มีค่าต่ำกว่าสูตร มาตรฐาน ร้อยละ 30 และการศึกษาของ Hofman และคณะ²⁸ พบว่าอาหารทดแทนสูตรครบถ้วนสำหรับ ผู้เป็นเบาหวาน โดยการให้อาหารทางสายให้อาหาร ทางจมูกอย่างต่อเนื่อง (Continuous nasogastric tube feeding) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ผลการเพิ่มขึ้น ของระดับน้ำตาลในเลือดหลังได้รับอาหารทดแทน สูตรครบถ้วนสำหรับผู้เป็นเบาหวานน้อยกว่าสูตร มาตรฐานร้อยละ 38 นอกจากนี้ยังพบว่าระดับ อินซูลินในเลือดลดลงเช่นกัน จากค่า iAUC ระดับ อินซูลินในเลือดหลังรับประทานสูตร BDT ต่ำกว่า สูตร STD ร้อยละ 17 ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับ การศึกษาผลของการดื่มอาหารทดแทนสูตรครบถ้วน สำหรับผู้เป็นเบาหวานอย่างต่อเนื่องทุก 3 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 5 ครั้งต่อวัน ของ Ceriello และคณะ²⁹ ซึ่ง ค่า iAUC ของระดับอินซูลินในเลือดช่วง 12 ชั่วโมง แรกของการรับประทานอาหารทดแทนสูตรครบถ้วน สำหรับผู้เป็นเบาหวานมีค่าต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ร้อยละ 36 อย่างไรก็ดี พบว่าค่า Insulinogenic index ที่แสดงการหลั่ง อินซูลินที่ 30 นาที ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลใน เลือด และค่าความไวต่ออินซูลินหลังรับประทาน RTU-BD สูตร BDT ให้ผลที่ดีกว่า STD สอดคล้อง กับการศึกษาของ Gonza'lez-Ortiz และคณะ³⁰ พบว่าระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดมีค่าลดลง และค่าความไวต่ออินซูลินมีค่าสูงขึ้นหลังดื่มอาหาร ทดแทนสูตรครบถ้วนสำหรับผู้เป็นเบาหวานที่มี สัดส่วนการกระจายพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 47.2 การเปลี่ยนระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดที่ ต่างกันของ RTU-BD สูตร STD และ BDT ในผู้เป็น เบาหวานชนิดที่ 2 น่าจะเป็นผลมาจากการกระจาย



พลังงานจากสารอาหารหลักของ RTU-BD ทั้ง 2 สูตรอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับข้อแนะนำการกระจายพลังงานในแต่ละวันของสำนักโภชนาการและสมาคมเบาหวานแห่งประเทศไทย การกระจายพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 45-65 โปรตีนร้อยละ 10-15 และไขมันร้อยละ 20-35 โดยแนะนำให้เลือกคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำและไขมันคุณภาพดี¹ อย่างไรก็ตาม การกระจายพลังงานจากโปรตีนของ RTU-BD ในการศึกษาที่อยู่ในที่ร้อยละ 19 สูงกว่าข้อแนะนำเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lansink และคณะ³¹ พบว่าการกระจายพลังงานจากโปรตีนอยู่ที่ร้อยละ 20 ทำให้เห็นการชะลอการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดได้ นอกจากนี้ สูตร BDT ที่ให้ผลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดดีกว่าสูตร STD โดยแทนที่กลูโคสด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลอสซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาอาหารทดแทนสูตรครบถ้วนสำหรับผู้เป็นเบาหวานของ Alish และคณะ³² ที่มีการใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสเป็นส่วนประกอบและให้ผลระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดลดลงเช่นเดียวกัน

สรุปผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์อาหารบັນผสมชนิดพร้อมใช้ทั้งสองสูตรมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในเลือดหลังรับประทาน โดยสูตร BDT มีค่า GI ต่ำกว่าสูตร STD และสอดคล้องกับการศึกษาในผู้เป็นเบาหวานชนิดที่ 2 ถึงแม้จะไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงระดับอินซูลินในเลือด แต่พบว่าสูตร BDT ชะลอการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในเลือดและช่วยให้มีค่าความไวต่ออินซูลินดีขึ้นตลอดระยะเวลาการศึกษา แสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์อาหารบັນผสมชนิดพร้อมใช้สูตรดัชนีน้ำตาลต่ำ (BDT) ที่พัฒนาขึ้น ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีกว่าอาหารมาตรฐาน (GLU) และสูตรมาตรฐาน (STD) อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารทดสอบ ถึงแม้จะมี

แนวโน้มในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี แต่ยังไม่สามารถอธิบายถึงการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดระยะยาวได้จึงควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกท่านที่เข้าร่วมและให้ความร่วมมือกับการศึกษาเป็นอย่างดี ขอขอบคุณบริษัท ซีพี ออฟ ฟู้ด แอนด์ เบฟเวอร์เรจ จำกัด ที่สนับสนุนทุนวิจัย โดยทางบริษัทฯ ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องในการออกแบบ การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษา และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกสถานที่ในการดำเนินการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

1. สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย. แนวทางเวชปฏิบัติสำหรับโรคเบาหวาน พ.ศ.2566. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: บริษัท ศรีเมืองการพิมพ์ จำกัด; 2566.
2. Ojo O, Ojo OO, Adebawale F, Wang XH. The effect of dietary glycaemic index on glycaemia in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients* 2018;19;10(3):1-15.
3. วันทนี เกียรตินัยศ. การศึกษาค่าดัชนีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตาลและการเผาผลาญสารอาหารเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานภายหลังการรับประทานน้ำตาลไอโซมอลทูลอส. มหาวิทยาลัยมหิดล, สถาบันโภชนาการ; 2553.
4. Lina BA, Jonker D, Kozianowski G. Isomaltulose (Palatinose): a review of biological and toxicological studies. *Food Chem Toxicol* 2002;40(10):1375-81.
5. Maresch CC, Petry SF, Theis S, Bosy-Westphal A, Linn T. Low glycemic index prototype isomaltulose-update of clinical trials. *Nutrients* 2017;13;9(4):1-12.
6. Liu S, Willett WC, Stampfer MJ, et al. A prospective study of dietary glycemic load,

- carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. *Am J Clin Nutr* 2000;71(6):1455-61.
7. Augustin LSA, Kendall CWC, Jenkins DJA, et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an International scientific consensus summit from the international carbohydrate quality consortium (ICQC). *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2015;25(9):795-815.
8. Sieri S, Agnoli C, Grioni S, Weiderpass E, et al. Glycemic index, glycemic load, and risk of coronary heart disease: a pan-European cohort study. *Am J Clin Nutr* 2020;112(3):631-43.
9. Bennett K, Hjelmgren B, Piazza J. Blenderized tube feeding: health outcomes and review of homemade and commercially prepared products. *Nutr Clin Pract* 2020;35(3):417-31.
10. Jalali M, Sabzghabae AM, Badri SS, Soltani HA, Maracy MR. Bacterial contamination of hospital-prepared enteral tube feeding formulas in Isfahan, Iran. *J Res Med Sci* 2009;14(3):149-56.
11. Borghi R, Dutra Araujo T, Airoidi Vieira RI, Theodoro de Souza T, Waitzberg DL. ILSI task force on enteral nutrition; estimated composition and costs of blenderized diets. *Nutr Hosp* 2013;1;28(6):2033-8.
12. Mokhalalati JK, Druyan ME, Shott SB, Comer GM. Microbial, nutritional and physical quality of commercial and hospital prepared tube feedings in Saudi Arabia. *Saudi Med J* 2004;25(3):331-41.
13. Johnson TW, Milton DL, Johnson K, et al. Comparison of microbial growth between commercial formula and blenderized food for tube feeding. *Nutr Clin Pract* 2019;34(2):257-63.
14. Jayanama K, Maitreejorn P, Tangsermwong T, et al. The amelioration of nutritional status and phase angle, safety, and satisfaction in tube-fed patients with ready-to-use blenderized diet with chicken and pumpkin. *Rama Med J* 2019;42(4):12-21.
15. International Standards Organization. ISO 26642: Food products - Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification. Geneva (Switzerland): ISO; 2010.
16. Augustin LSA, Kendall CWC, Jenkins DJA, et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an international scientific consensus summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2015;25(9):795-815.
17. Voss AC, Maki KC, Garvey WT, et al. Effect of two carbohydrate-modified tube-feeding formulas on metabolic responses in patients with type 2 diabetes. *Nutrition* 2008;24(10):990-7.
18. Ohkura T, Inoue K, Fujioka Y, et al. The proinsulin/insulin (PI/I) ratio is reduced by postprandial targeting therapy in type 2 diabetes mellitus: a small-scale clinical study. *BMC Res Notes* 2013;11;6:1-8.
19. Wolever TM. Carbohydrate and the regulation of blood glucose and metabolism. *Nutr Rev* 2003;61(5):S40-8.
20. Atkinson FS, Brand-Miller JC, Foster-Powell K, Buyken AE, Goletzke J. International tables of glycemic index and glycemic load values 2021: a systematic review. *Am J Clin Nutr* 2021;8;114(5):1625-32.
21. Kordowski A, Kunstner A, Schweitzer L, et al. Palatinose™ (Isomaltulose) and prebiotic inulin-type fructans have beneficial effects on glycemic response and gut microbiota composition in healthy volunteers-a real-life, retrospective study of a cohort that participated in a digital nutrition program. *Front Nutr* 2022;7;9:1-13.



22. Wan X, Guo H, Liang Y, et al. The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydr Polym* 2020;15;246:1-15.
23. Birkeland E, Gharagozlian S, Gulseth HL, et al. Effects of prebiotics on postprandial GLP-1, GLP-2 and glucose regulation in patients with type 2 diabetes: a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover trial. *Diabet Med* 2021;38(10):1-10.
24. Feinle C, O'Donovan D, Doran S, et al. Effects of fat digestion on appetite, APD motility, and gut hormones in response to duodenal fat infusion in humans. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2003;284(5):G798-807.
25. Hofman Z, De Van Drunen J, Kuipers H. The glycemic index of standard and diabetes-specific enteral formulas. *Asia Pac J Clin Nutr* 2006;15(3):412-7.
26. Patel K, Kudrigikar V, Bachani D, Mehta S. Glycemic index of a diabetes-specific nutritional powder: an open-label study in healthy Indian adults. *Food Nutr Sci* 2023;3;14(3):200-24.
27. Buranapin S, Siangruangsang S, Chantapanich V, Hengjeerajarus N. The comparative study of diabetic specific formula and standard formula on postprandial plasma glucose control in type 2 DM patients. *J Med Assoc Thai* 2014;97(6):582-8.
28. Hofman Z, Lansink M, Rouws C, DE van Drunen J, Kuipers H, Diabetes specific tube feed results in improved glycaemic and triglyceridaemic control during 6 h continuous feeding in diabetes patients. *E Spen Eur E J Clin Nutr Metab* 2007;2(2):44-50.
29. Ceriello A, Lansink M, Rouws CH, van Laere KM, Frost GS. Administration of a new diabetes-specific enteral formula results in an improved 24h glucose profile in type 2 diabetic patients. *Diabetes Res Clin Pract* 2009;84(3):259-66.
30. Gonzalez-Ortiz M, Martinez-Abundis E, Hernandez-Salazar E, Kam-Ramos AM, Robles-Cervantes JA. Effect of a nutritional liquid supplement designed for the patient with diabetes mellitus (Glucerna SR) on the postprandial glucose state, insulin secretion and insulin sensitivity in healthy subjects. *Diabetes Obes Metab* 2006;8(3):331-5.
31. Lansink M, Hofman Z, Genovese S, Rouws CHFC, Ceriello A. Improved glucose profile in patients with type 2 diabetes with a new, high-protein, diabetes-specific tube feed during 4 hours of continuous feeding. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2017;41(6):968-75.
32. Alish CJ, Garvey WT, Maki KC, et al. A diabetes-specific enteral formula improves glycemic variability in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Technol Ther* 2010;12(6):419-25.