

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของข้าวเหนียวผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด
ในอาสาสมัครสุขภาพดี

Effects of roasted sticky rice in bamboo joints (Khao Lam) with
Amorphophallus konjac on glycemic response in healthy subjects

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ทฤษฎี มณีสิงห์

สาขาวิชาโภชนาการและการกำหนดอาหาร

คณะสหเวชศาสตร์

เลขที่สัญญาทุน AHS๐๕/๒๕๖๗

ผู้ร่วมวิจัย

๑. ดร.พทุธิตา คงธิติเลิศ

๒. ดร.รังสิมา ดรุณพันธ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๗

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กรกฎาคม/๒๕๖๘

หัวข้อวิจัย ผลของข้าวหลามผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด
ในอาสาสมัครสุขภาพดี

ชื่อผู้วิจัย ๑. อาจารย์ทฤษฎี มณีสิงห์
๒. ดร.พุทธิดา คงธิติเลิศ
๓. ดร.รังสิมา ดรุณพันธ์

หน่วยงาน คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีงบประมาณ ๒๕๖๗

บทคัดย่อ

ข้าวหลามคือผลิตภัณฑ์ของว่างไทยที่ทำจากข้าวเหนียว กะทิ น้ำตาล และเกลือ มาผสมกัน บรรจุลงในกระบอกไม้ไผ่แล้วเผาจนสุก โดยข้าวหลามหนอมนซึ่งจำหน่ายที่ตลาดหนอมนหรือตลาดแสนสุข ตำบลแสนสุข จังหวัดชลบุรี จัดเป็นสินค้าขึ้นชื่อที่นักท่องเที่ยวนิยมซื้อกลับไปเป็นของฝากเมื่อมาท่องเที่ยวที่หาดบางแสน อย่างไรก็ตามข้าวหลามจัดเป็นอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และให้พลังงานสูง ทั้งนี้การบริโภคข้าวหลามทั่วไปในปริมาณมากหรือเป็นประจำจะทำให้ร่างกายได้รับพลังงานและปริมาณน้ำตาลสูงเกินความต้องการของร่างกาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามเพื่อสุขภาพที่ลดพลังงานและน้ำตาล โดยผสมบุกที่มีใยอาหารและใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลูโลสซึ่งมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ โดยผลการวิจัยพบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวหลามสูตรผสมบุก และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลูโลส มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากข้าวหลามสูตรมาตรฐาน แม้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ และความพึงพอใจโดยรวมน้อยกว่าสูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสในทุกด้านของทุกสูตรอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ข้าวหลามที่พัฒนาขึ้นได้รับการยอมรับในการบริโภคจากอาสาสมัคร นอกจากนี้ข้าวหลามสูตรที่พัฒนาขึ้นยังให้พลังงานและคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ใยอาหารสูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่งผลให้มีความชื้นสูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นกัน ส่วนการวิจัยผลของการรับประทานข้าวหลามแต่ละสูตรต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดพบว่าหลังการรับประทานข้าวหลามสูตรผสมบุก และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลูโลส อาสาสมัครมีระดับน้ำตาลในเลือดในนาที่ที่ 30 และ 60 ต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหลามทั้งสามสูตรพบว่าข้าวหลามผสมบุกมีดัชนีน้ำตาลต่ำที่สุด ($GI=88$) รองลงมาคือข้าวหลามสูตรปกติ ($GI=90$) และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลูโลสมีดัชนีน้ำตาลสูงที่สุด ($GI=92$) ทั้งนี้ข้าวหลามทุกสูตรจัดว่ามีค่าดัชนีน้ำตาลในระดับสูง นอกจากนี้ผลของการรับประทานข้าวหลามแต่ละสูตรต่อระดับความหิวและความอึดของอาสาสมัครพบว่า ในนาที่ที่ 30 หลังการรับประทานข้าวหลามทุกสูตรอาสาสมัครมีความนึกคิดที่จะรับประทานอาหารจำนวนน้อยกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Title Effects of roasted sticky rice in bamboo joints (Khao Lam) with *Amorphophallus konjac* on glycemic response in healthy subjects

Researchers 1. Tanu-udom Maneesing, Ms.c.
2. Phutthida Kongthitlerd, Ph.D.
3. Rungsima Daroonpunt, Ph.D.

Institute Faculty of Allied Health Sciences, Burapha University

Fiscal year 2567

Abstract

Khao Lam is a traditional Thai dessert made from glutinous rice, coconut milk, sugar, and salt, then roasted in bamboo joints. *Khao Lam Nong Mon*, which is sold at Nong Mon Market in Saensuk Subdistrict, Chonburi Province, is a well-known souvenir among tourists visiting Bang Saen Beach. However, traditional Khao Lam is high in carbohydrates, fat, and energy. Excessive or frequent consumption may lead to excessive energy and sugar intake. Therefore, this study aimed to develop a healthier Khao Lam product with reduced energy and sugar by incorporating konjac, a source of dietary fiber, and using isomaltulose, a low-glycemic sugar substitute. The results showed that the Khao Lam with konjac and the Khao Lam with konjac and isomaltulose were not significantly different from the standard formula in terms of sensory attributes including appearance, color, aroma, and texture. Unfortunately, both modified formulas had significantly lower scores in taste and overall acceptability than standard formula ($p < 0.05$). However, the sensory acceptability scores in all aspects for all formulas were rated at a high level, indicating that the developed Khao Lam were generally well accepted by the volunteers. Importantly, both modified formulas had significantly lower energy and carbohydrate contents and significantly higher dietary fiber contents ($p < 0.05$), which resulted in significantly higher moisture content than the standard formula ($p < 0.05$). Glycemic response tests revealed that blood glucose levels at 30 and 60 minutes after consuming all formulas were significantly lower than those after consuming a glucose solution ($p < 0.05$). Among the three formulas, the Khao Lam with konjac had the lowest glycemic index (GI = 88), followed by the standard formula (GI = 90), and the Khao Lam with konjac and isomaltulose (GI = 92). All formulas were classified as high-GI foods. In addition, at 30 minutes after consumption, all Khao Lam formulas resulted in significantly lower self-reported desire to eat compared to the glucose solution ($p < 0.05$), indicating a greater satiety response among the volunteers.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญภาพ.....	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 นิยามศัพท์.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด (Glycemic response, GR).....	5
2.2 ระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัคร (Hunger and satiety levels).....	6
2.3 บุค.....	6
2.4 ไอโซมอลทูลอส.....	7
2.5 ข้าวหอม.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหอม.....	10
3.2 การทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหอม.....	11
3.3 การวิเคราะห์หองค์ประกอบทั่วไปของอาหาร (Proximate analysis).....	11
3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary fiber).....	11
3.5 การวิเคราะห์สี (Color).....	12
3.6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, Aw).....	12
3.7 การทดสอบผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด.....	12
3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	16
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	18
4.2 อภิปรายผล.....	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
5.3 ปัญหาและอุปสรรคของการวิจัย.....	41
บรรณานุกรม.....	42
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก รายงานการเงินใช้จ่ายงบประมาณวิจัย.....	48
ภาคผนวก ข เอกสารใบรับรองจริยธรรม.....	49
ภาคผนวก ค ภาพการดำเนินโครงการวิจัย.....	50
ภาคผนวก ง เอกสารอนุมัติรายงานความก้าวหน้า.....	56
ภาคผนวก จ เอกสารอนุมัติการขยายทุน.....	61

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 4-1 : ลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร.....	18
ภาพที่ 4-2 : กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ ข้าวหลามทั้งสามสูตร.....	21
ภาพที่ 4-3 : แผนผังการทดลองทางคลินิก (Flow diagram outlining the clinical study design and participant progression).....	27
ภาพที่ 4-4 : กราฟแสดงระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครระหว่างกลุ่มในช่วงก่อนและหลังรับ ประทานสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามสูตรผสมบุก และข้าวหลาม สูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสในนาที่ที่ 0, 30, 60, 90 และ 120.....	29
ภาพที่ 4-5 : พื้นที่ใต้กราฟแสดงระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครระหว่างกลุ่มหลังการรับ ประทานสารละลายกลูโคส (GLU) ข้าวหลามสูตรปกติ (CO) ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) เมื่อเปรียบเทียบที่ 0-0.5 ชั่วโมง 0-1.0 ชั่วโมง 0-1.5 ชั่วโมง และ 0-2.0 ชั่วโมง.....	30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable diseases, NCDs) เป็นปัญหาสุขภาพสำคัญและเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับหนึ่งของโลกและประเทศไทย ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตและพฤติกรรมสุขภาพ โดยเฉพาะโรคเบาหวานชนิดที่สอง (Type 2 diabetes mellitus) ที่เกิดจากการบริโภคอาหารอย่างไม่เหมาะสม มีการบริโภคอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตหรือน้ำตาลมากเกินไปเกินความต้องการของร่างกาย ร่วมกับการมีพฤติกรรมเนือยนิ่ง อีกทั้งยังสัมพันธ์กับโรคอ้วนลงพุง (Metabolic syndrome) ที่ร่างกายมีการสะสมไขมันมากผิดปกติจนทำให้การควบคุมระบบเผาผลาญพลังงานในร่างกายผิดปกติไป เกิดเป็นภาวะดื้อต่ออินซูลิน จึงส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงผิดปกติอย่างต่อเนื่อง (1) โดยผลรายงานสถานการณ์โรคเบาหวานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560-2562 ระบุว่าปริมาณการบริโภคน้ำตาลของประชากรไทยอยู่ที่ 2.5-2.6 ล้านตันต่อปี (2) และข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ระบุว่าประชากรไทยบริโภคน้ำตาลมากถึง 25 ช้อนชาต่อวัน ซึ่งมากกว่าปริมาณน้ำตาลที่ควรบริโภคต่อวันที่องค์การอนามัยโลก (WHO) แนะนำเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดโรคเบาหวาน คือ 6 ช้อนชาต่อวัน หรือ 24 กรัมต่อวัน (3) ดังนั้นการปรับพฤติกรรมการบริโภคของประชากรจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยแก้ไขปัญหาสุขภาพนี้ได้ นอกจากนี้การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพให้มีพลังงานและปริมาณน้ำตาลลดลง อาจเป็นอีกวิธีที่ช่วยให้ผู้บริโภคมีทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้น

บุก (*Amorphophallus konjac*) จัดเป็นพืชหัวล้มลุกที่มีกลูโคแมนแนน (glucomannan) เป็นสารประกอบสำคัญ ซึ่งเป็นใยอาหารที่โมเลกุลมีน้ำหนักมากจึงดูดซับน้ำได้ดี ทำให้ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ไขมัน และน้ำตาลในเลือด รวมถึงช่วยลดอาการท้องผูกได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกอีกด้วย ดังนั้นบุกจึงนิยมบริโภคในผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากให้พลังงานต่ำประมาณ 15 กิโลแคลอรีต่อบุก 100 กรัม โดยไม่ทำให้เกิดผลข้างเคียงหรืออันตรายต่อร่างกาย ซึ่งบุกสามารถนำมาใช้ผลิตอาหารได้หลายรูปแบบ เช่น เส้นบุก บุกรูปข้าว ไข่มุกบุก บัวลอยบุก เป็นต้น รวมทั้งใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดหรือเกิดเจลร่วมกับคาราจีแนนและแซนแทนกัมในผลิตภัณฑ์แยมและเจลลี่ หรือใช้เป็นอิมัลชันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและวิปป์ครีม เป็นต้น (4) โดยการศึกษา ก่อนหน้าพบว่า ในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่สองที่รับประทานผงบุกก่อนมื้ออาหาร ช่วยลดการดูดซึมน้ำตาลได้โดยไม่มีผลต่อระดับฮอร์โมนอินซูลินในเลือด (5) นอกจากนี้การศึกษานำบุกไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปอื่นๆ เช่น ลูกชิ้นปลาเสริมเจลบุก (6) หรือกุนเชียงทดแทนไขมันด้วยเจลบุก (7) พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานรวมต่อหน่วยบริโภคลดลงและมีเส้นใยอาหารมากขึ้นกว่าสูตรปกติ ดังนั้นบุกจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีพลังงานรวมต่อหน่วยบริโภคลดลงและมีเส้นใยอาหารมากขึ้น รวมถึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ร่างกาย จึงทำให้การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างช้าๆ

ไอโซมอลทูลอส (Isomaltulose: IM) คือน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1,6 (8) โดยมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่หวานเพียงครึ่งหนึ่งของน้ำตาลซูโครส แต่ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อ 1 กรัม เช่นเดียวกับน้ำตาลซูโครส ทนความร้อนต่ำกว่า แต่ทนต่อสภาวะที่เป็นกรดมากกว่า รวมถึงมีความหนืดใกล้เคียงกัน (9) ที่สำคัญคือกระบวนการผลิตไอโซมอลทูลอสโดยใช้เอนไซม์ช่วยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส ทำให้พันธะไกลโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1,6 ระหว่างโมเลกุลของกลูโคสและฟรุกโตสในไอโซมอลทูลอสแข็งแรงกว่าในน้ำตาลซูโครส ไอโซมอลทูลอสจึงมีอัตราการย่อยและดูดซึมช้ากว่าน้ำตาลซูโครสถึง 4 เท่า หรือ 20-25% ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดและระดับฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ หลังการรับประทาน จึงจัดว่าไอโซมอลทูลอสมีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index: GI) เท่ากับ 38 ซึ่งอยู่ในกลุ่มค่า GI ต่ำ (10) โดยการศึกษา ก่อนหน้าในอาสาสมัครสุขภาพดีพบว่า การบริโภคไอโซมอลทูลอสส่งผลให้การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดและฮอร์โมนอินซูลินหลังการรับประทานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส (11) อีกการศึกษาพบว่าไอโซมอลทูลอสสามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ disaccharidase ได้อย่างสมบูรณ์และถูกดูดซึมได้หมดในลำไส้เล็ก จึงไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อระบบทางเดินอาหาร เช่น อาการปวดท้อง ท้องอืด ท้องเสีย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การศึกษาจากสารให้ความหวานชนิดไซลิทอล หรือซอร์บิทอล (12) ดังนั้นไอโซมอลทูลอสจึงเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่น่าสนใจในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ร่างกาย จึงทำให้การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างช้าๆ

ข้าวหลาม คือผลิตภัณฑ์ของว่างไทยที่ทำจากข้าวเหนียว กะทิ น้ำตาล และเกลือ มาผสมกัน บรรจุลงในกระบอกไม้ไผ่แล้วเผาจนสุก (13) โดยข้าวหลามหนองมนซึ่งจำหน่ายที่ตลาดหนองมนหรือตลาดแสนสุข ตำบลแสนสุข จังหวัดชลบุรี จัดเป็นสินค้าขึ้นชื่อที่นักท่องเที่ยวนิยมซื้อกลับไปเป็นของฝากเมื่อมาท่องเที่ยวที่หาดบางแสน โดยเอกลักษณ์ของข้าวหลามหนองมนคือความหอมและรสชาติหวานมัน เข้มข้น เพราะใช้หัวกะทิปริมาณมาก รวมถึงมีการคัดแปลงสอดไส้ให้หลากหลาย เช่น ไส้กล้วย ไส้เผือก ไส้มะพร้าวอ่อน เป็นต้น (14) จากส่วนประกอบของข้าวหลามข้างต้น ทำให้ข้าวหลามเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ให้พลังงานสูงมากทั้งจากข้าวเหนียว กะทิ และน้ำตาล

ดังนั้นการบริโภคข้าวหลามโดยทั่วไปในปริมาณมากหรือเป็นประจำ จะทำให้ร่างกายได้รับพลังงานและปริมาณน้ำตาลสูงเกินความต้องการของร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของภาวะน้ำหนักเกิน โรคอ้วน และนำไปสู่การเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน ได้ในอนาคต จึงมีหลายการศึกษาก่อนหน้าที่ได้ดัดแปลงสูตรข้าวหลามให้ดีต่อสุขภาพมากขึ้น อาทิ ข้าวหลามธัญพืช ข้าวหลามข้าวกล้องงอกและน้ำอ้อย นอกจากนี้มีการศึกษาก่อนหน้าของอลงกตและคณะที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามโดยใช้ไอโซมอลทูลอสเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลทราย พบว่าข้าวหลามสูตรไอโซมอลทูลอสได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (15) ที่สำคัญผลการศึกษาเบื้องต้นของคณะผู้วิจัยที่พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ข้าวหลามผสมบุกในอัตราส่วน 2:1 ในอาสาสมัครจำนวน 30 คน พบว่าข้าวหลามสูตรผสมบุกและใช้ซูคราโลสเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาล ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากข้าวหลามสูตรมาตรฐาน โดยให้พลังงานรวมต่อหน่วยบริโภคต่ำกว่าข้าวหลามสูตรมาตรฐานมากกว่าร้อยละ 50 (unpublished data)

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามเพื่อสุขภาพที่ลดพลังงานและน้ำตาล โดยผสมบุกที่มีใยอาหารและใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ซึ่งมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (Low glycemic index หรือ Low GI) สามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่ส่งผลเสียต่อร่างกาย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหลามที่ให้พลังงานรวมต่อหน่วยบริโภคและมีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าข้าวหลามสูตรทั่วไป อีกทั้งยังมีใยอาหารจากบุก รวมถึงศึกษาผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามที่พัฒนาขึ้นต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังการรับประทานในอาสาสมัครสุขภาพดี เพื่อใช้เป็นข้อมูลต่อยอดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ของว่างทางเลือกเพื่อสุขภาพ สำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมพลังงานที่ได้รับจากอาหาร ผู้ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาล หรือผู้ที่สนใจในการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน และผู้ประกอบการที่ตระหนักถึงปัญหาทางสุขภาพต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามเพื่อสุขภาพลดพลังงานและน้ำตาล โดยผสมบุกและใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส
2. ศึกษาผลของข้าวหลามผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด ในอาสาสมัครสุขภาพดี

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหลามเพื่อสุขภาพลดพลังงานและน้ำตาล โดยผสมบุกและใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส
2. ได้ทราบถึงผลของข้าวหลามผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามเพื่อสุขภาพลดพลังงานและน้ำตาล โดยผสมบุกและใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส และวิเคราะห์องค์ประกอบในอาหารและเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ จากนั้นศึกษาระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ในอาสาสมัครจำนวน 50 คน ซึ่งใช้แบบสอบถามทดสอบความพึงพอใจแบบ 5 ระดับ หรือ 5-point Hedonic Scales

2. ศึกษาผลของข้าวหลามผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด โดยเป็นการทดลองแบบ double-blinded, randomized, controlled, cross-over intervention study with 1-week washout period ในอาสาสมัครสุขภาพดี อายุ 18-40 ปี จำนวน 45 คน โดยสุ่มอาสาสมัครเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน ประกอบด้วย 1) กลุ่มควบคุม คือ กลุ่มที่ได้รับข้าวหลามสูตรปกติ 2) กลุ่มทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่ได้รับข้าวหลามผสมบุก 3) กลุ่มทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับข้าวหลามผสมบุกและน้ำตาลไอโซมอลทูลอส

1.5 นิยามศัพท์

ข้าวหลาม คือผลิตภัณฑ์ของว่างที่ทำจากข้าวเหนียว กะทิ น้ำตาล และเกลือ มาผสมกัน บรรจุลงในกระบอกไม้ไผ่แล้วเผาจนสุก

บุก จัดเป็นพืชหัวล้มลุกในวงศ์ Araceae อยู่ในสกุล *Amorphophallus* ซึ่งสามารถพบได้ในพื้นที่ประเทศแถบเขตร้อน โดยสารประกอบสำคัญ คือ กลูโคแมนแนน (glucomannan) ที่จัดเป็นใยอาหารชนิดหนึ่ง

ไอโซมอลทูลอส คือน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ซึ่งพบได้เพียงเล็กน้อยในน้ำผึ้งและน้ำอ้อย โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1,6 โดยมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาล ที่หวานเพียงครึ่งหนึ่งของน้ำตาลซูโครส แต่ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อ 1 กรัม เช่นเดียวกับน้ำตาลซูโครส ทนความร้อนต่ำกว่า แต่ทนต่อสภาวะที่เป็นกรดมากกว่า รวมถึงมีความหนืดใกล้เคียงกัน จึงได้รับการพิจารณาว่ามีคุณสมบัติที่สามารถทดแทนน้ำตาลซูโครสในอาหารส่วนใหญ่ได้

การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด (Glycemic response, GR) โดยค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) เป็นวิธีวัดการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหาร โดยเปรียบเทียบอาหารที่ต้องการทดสอบที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 50 กรัม กับสารละลายน้ำตาลกลูโคส (Glucose solution) 50 กรัม โดยกำหนดให้น้ำตาลกลูโคสมีค่า GI เท่ากับ 100 ซึ่งเป็นน้ำตาลมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบการตอบสนองของระดับน้ำตาลว่ามากหรือน้อยกว่าการรับประทานน้ำตาลกลูโคสเท่าใด โดยอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำจะการปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้า ๆ ส่วนอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงจะปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็ว

บทที่ 2

วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลของข้าวหลามผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด ในอาสาสมัครสุขภาพดี โดยพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามเพื่อสุขภาพลดพลังงานและน้ำตาล โดยผสมบุกและใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ดังนั้นจึงมีการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด บุก ไอโซมอลทูลอส และข้าวหลาม ดังนี้

2.1 การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด (Glycemic response, GR)

การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังการรับประทานอาหาร มีวิธีในการวัดปริมาณของการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดได้หลากหลายวิธี (16) ซึ่งมี 2 วิธีหลักที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในงานวิจัยและการให้คำปรึกษาทางโภชนาบำบัดในคลินิกเบาหวานแก่ผู้ป่วยเบาหวาน เพื่อป้องกันโรคแทรกซ้อนทางหลอดเลือดขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่อาจเกิดขึ้นจากโรคเบาหวาน (Macrovascular and microvascular complications from diabetes mellitus) (17) โดยวิธีวัดการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครที่ต้องการทดสอบ GR ประกอบไปด้วย วิธีที่ 1 ดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) ซึ่งเป็นวิธีวัดการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหาร โดยเปรียบเทียบอาหารที่ต้องการทดสอบที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 50 กรัม กับสารละลายน้ำตาลกลูโคส (Glucose solution) 50 กรัม โดยกำหนดให้น้ำตาลกลูโคสมีค่า GI เท่ากับ 100 ซึ่งเป็นน้ำตาลมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบการตอบสนองของระดับน้ำตาลว่ามากหรือน้อยกว่าการรับประทานน้ำตาลกลูโคสเท่าใด โดยอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำจะการปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างช้า ๆ ส่วนอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงจะปลดปล่อยน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็ว ดังนี้ 1) กลุ่มที่มีค่า GI ≥ 70 จัดเป็นกลุ่มที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง 2) กลุ่มที่มีค่า GI 56-69 จัดเป็นกลุ่มที่มีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง และ 3) กลุ่มที่มีค่า GI ≤ 55 จัดเป็นกลุ่มที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (18) วิธีที่ 2 ค่าเปรียบเทียบน้ำตาลในอาหาร (Glycemic load, GL) คือ การทำนายการ

ตอบสนองของระดับในเลือดโดยนำค่า GI ของอาหารชนิดนั้นมาคูณกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นกรัมที่รับประทาน เพื่อให้เกิดความถูกต้องและจำเพาะเจาะจงกับปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่รับประทานได้มากยิ่งขึ้น (19) ซึ่งข้อมูลของ GI และ GL ของอาหารที่รับประทานมีข้อมูลทั้งในไทยและต่างประเทศ โดยมีข้อมูลการศึกษาทางคลินิกที่เกี่ยวข้องกับค่าที่บ่งบอกการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลในเลือดดังกล่าวมากถึง 45 การศึกษา โดยการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองน้ำตาลในเลือดนั้น มีการใช้ค่าของ GI และ GL เป็นตัวชี้วัดหลักในการศึกษาเพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังการรับประทานอาหารที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่างกันต่อการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable diseases, NCDs) (20) โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหาร (Postprandial glycemic response, PGR) ได้แก่ปริมาณน้ำตาลที่อยู่ในอาหาร การมีแป้งต้านทานการย่อย (Resistance starch,

RS) และการมีใยอาหาร (Dietary fiber) ในอาหารชนิดนั้นๆ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้มีการตอบสนองต่อรูปแบบการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดจากอาหารที่รับประทานแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน (21) อย่างไรก็ตาม ปริมาณของโปรตีนและไขมันที่รับประทานในแต่ละมื้อก็จัดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหารได้เช่นกัน (22)

2.2 ระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัคร (Hunger and satiety levels)

การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดมีบทบาทสำคัญต่อกลไกการควบคุมความหิวและความอิ่ม เนื่องจากระดับน้ำตาลในเลือดส่งผลโดยตรงต่อการหลั่งของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับความอยากอาหาร ได้แก่ ghrelin และ leptin โดย ghrelin จะหลั่งออกมาเมื่อระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง ทำให้เกิดความรู้สึกหิว และกระตุ้นให้ร่างกายต้องการพลังงานเพิ่มเติม เพื่อรักษาสมาดุลของระดับน้ำตาลในเลือด ในทางตรงข้าม เมื่อบริโภคอาหารและระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น insulin จะกระตุ้นการหลั่ง leptin ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ลดความหิวและส่งสัญญาณไปยังสมองเพื่อให้ร่างกายรับรู้ถึงความอิ่ม (23) ดังนั้น การรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมระดับความหิวและความอิ่มอย่างมีประสิทธิภาพ การบริโภคอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลต่ำ (Low Glycemic Index; GI) เช่น ข้าวเหนียวดำ มีส่วนช่วยในการรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่มากกว่าอาหารที่มีดัชนีน้ำตาลสูง เมื่อระดับน้ำตาลในเลือดคงที่ การหลั่งของ ghrelin และ leptin จะถูกควบคุมได้ดี ส่งผลให้ความรู้สึกหิวลดลง และความอิ่มคงอยู่ได้นานยิ่งขึ้น (24) จากผลการศึกษาข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดไม่ได้มีความสำคัญเฉพาะต่อการป้องกันโรคเบาหวานเท่านั้น แต่ยังมีผลโดยตรงต่อระบบควบคุมความหิวและความอิ่ม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมน้ำหนักและส่งเสริมสุขภาพในระยะยาวอีกด้วย

2.3 บุก

บุก (*Amorphophallus konjac*) จัดเป็นพืชหัวล้มลุกในวงศ์ Araceae อยู่ในสกุล *Amorphophallus* ซึ่งสามารถพบได้ในพื้นที่ประเทศแถบเขตร้อน เช่น ทวีปเอเชีย แอฟริกา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปออสเตรเลีย เขตตอนบนตอนกลางของประเทศจีน เกาหลี ญี่ปุ่น รวมถึงประเทศไทย (25) โดยสารประกอบสำคัญในบุก คือ กลูโคแมนแนน (glucomannan) ซึ่งเป็นใยอาหารที่โมเลกุลมีน้ำหนักมากตั้งแต่ 200,000 ถึง 2,000,000 ดาลตัน จึงดูดซับน้ำได้ดี ทำให้ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ไขมัน และน้ำตาลในเลือด รวมถึงช่วยลดอาการท้องผูกได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกอีกด้วย ดังนั้นบุกจึงนิยมบริโภคในผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากให้พลังงานต่ำประมาณ 15 กิโลแคลอรีต่อบุก 100 กรัม โดยไม่ทำให้เกิดผลข้างเคียงหรืออันตรายต่อร่างกาย ซึ่งบุกสามารถนำมาใช้ผลิตอาหารได้หลายรูปแบบ เช่น เส้นบุก บุกชุบข้าว ไข่มุกบุก บัวยอยบุก เป็นต้น รวมทั้งใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดหรือเกิดเจลร่วมกับคาราจีแนนและแซนแทนกัมในผลิตภัณฑ์แยมและเจลลี่ หรือใช้เป็นอิมัลชันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและวิปซิงครีม เป็นต้น (4)

จากคุณสมบัติของบุกข้างต้นจึงมีการศึกษาก่อนหน้าเกี่ยวกับประโยชน์ของบุก อาทิ การศึกษาผลของกลูโคแมนแนนจากบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด ในกลุ่มอาสาสมัครคนไทยที่เป็น

โรคเบาหวานชนิดที่สอง พบว่าการรับประทานบุกผังก่อนมื้ออาหาร ช่วยลดการดูดซึมน้ำตาลได้โดยไม่มีผลต่อระดับฮอร์โมนอินซูลินในเลือด (5) การศึกษาของ Simone และคณะที่ศึกษาผลของส้มแขกและบุกในการรักษาโรคอ้วน พบว่าสารสกัดส้มแขกและบุกสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลรวมและระดับ LDL-c ได้ในผู้ที่มิระดับคอเลสเตอรอลในเลือดผิดปกติ แต่ไม่มีผลต่อการลดน้ำหนักในผู้ที่เป็นโรคอ้วน (26) สอดคล้องกับการศึกษาของ Ornella และคณะที่ศึกษาผลของกลูโคแมนแนนในการรักษาเด็กที่มีภาวะไขมันในเลือดผิดปกติ ซึ่งพบว่ากลูโคแมนแนนช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลรวม ระดับ LDL-c และระดับ non-HDL-c ได้โดยไม่พบอาการไม่พึงประสงค์รุนแรงจากกลูโคแมนแนน (27) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่นำบุกไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปอื่นๆ เช่น ลูกชิ้นปลาเสริมเจลบุกและสมุนไพร พบว่ามีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าลูกชิ้นปลาสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส

จากผู้ป่วยโรคไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (6) รวมถึงคุณสมบัติของบุก พบว่าบุกมีเส้นใยที่ทดแทนไขมันด้วยเจลบุกถึงร้อยละ 50 มีปริมาณเส้นใยหยาบสูงกว่าและมีพลังงานรวมต่อหน่วยบริโภคต่ำกว่าบุกเชิงสูตรอื่นๆ (7) เป็นต้น จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าบุกสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีพลังงานรวมต่อหน่วยบริโภคลดลงและมีเส้นใยอาหารมากขึ้น รวมถึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ร่างกาย จึงทำให้การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างช้าๆ

2.4 ไอโซมอลทูลอส

ไอโซมอลทูลอส (Isomaltulose: IM) คือน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ซึ่งพบได้เพียงเล็กน้อยในน้ำผึ้งและน้ำอ้อย โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1,6 (8) โดยไอโซมอลทูลอสมีคุณสมบัติเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาล ที่หวานเพียงครึ่งหนึ่งของน้ำตาลซูโครส แต่ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อ 1 กรัม เช่นเดียวกับน้ำตาลซูโครส ทนความร้อนต่ำกว่า แต่ทนต่อสภาวะที่เป็นกรดมากกว่า รวมถึงมีความหนืดใกล้เคียงกัน จึงได้รับการพิจารณาว่ามีคุณสมบัติที่สามารถทดแทนน้ำตาลซูโครสในอาหารส่วนใหญ่ได้ และกำลังเป็นที่นิยมในการใช้ทดแทนน้ำตาลทรายในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม เช่น เครื่องดื่มเกลือแร่ เครื่องดื่มชูกำลัง เครื่องดื่มมอลต์สกัด ซีเรียลบาร์ ผลิตภัณฑ์นม และอาหารทางการแพทย์ (9)

คุณสมบัติสำคัญของไอโซมอลทูลอส คือ การมีพันธะไกลโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1,6 ระหว่างโมเลกุลของกลูโคสและฟรุกโตสที่แข็งแรงมากกว่าน้ำตาลซูโครส เนื่องจากกระบวนการใช้เอนไซม์ในการผลิตช่วยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส ดังนั้นจึงทำให้ไอโซมอลทูลอสมีอัตราการย่อยและดูดซึมช้ากว่าน้ำตาลซูโครสถึง 4 เท่า หรือ 20-25% ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดและระดับฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ หลังการรับประทาน จึงจัดว่าไอโซมอลทูลอสมีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index: GI) เท่ากับ 38 ซึ่งอยู่ในกลุ่มค่า GI ต่ำ (10) โดยการศึกษาก่อนหน้านี้ในอาสาสมัครสุขภาพดีพบว่า การบริโภคไอโซมอลทูลอสส่งผลให้การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดและฮอร์โมนอินซูลินหลังการรับประทานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส (11) นอกจากนี้การรับประทานไอโซมอลทูลอสยังส่งผลต่อการทำงานของตับอ่อนน้อยกว่าน้ำตาลซูโครส และยังสามารถกระตุ้น receptor บริเวณปลายลำไส้เล็ก ทำให้เพิ่มการหลั่งฮอร์โมน incretin ชนิด GLP-1 (Glucagon-like peptide 1) ได้มากถึง 2 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ

การรับประทานน้ำตาลซูโครส ซึ่งฮอร์โมน GLP-1 มีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมสมดุลระดับน้ำตาลในเลือด ความอยากอาหาร และกระตุ้นการสร้างไกลโคเจนที่ตับ (28) อีกการศึกษาพบว่าไอโซมอลทูลอสสามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ disaccharidase ได้อย่างสมบูรณ์และถูกดูดซึมได้หมดในลำไส้เล็ก จึงไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อระบบทางเดินอาหาร เช่น อาการปวดท้อง ท้องอืด ท้องเสีย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การที่ก่อให้เกิดอาการให้ ความหวานชนิดไซลิทอล หรือซอร์บิทอล (12) จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าไอโซมอลทูลอสเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่น่าสนใจในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ร่างกาย จึงทำให้การตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างช้าๆ

2.5 ข้าวหลาม

ข้าวหลาม คือผลิตภัณฑ์ของว่างที่ทำจากข้าวเหนียว กะทิ น้ำตาล และเกลือ มาผสมกัน บรรจุลงในกระบอกไม้ไผ่แล้วเผาจนสุก ซึ่งชาวล้านนานิยมรับประทานในฤดูหนาวหรือช่วงที่ได้ข้าวใหม่ (13) โดยข้าวหลามหนองมน ซึ่งจำหน่ายที่ตลาดหนองมนหรือตลาดแสนสุข ตำบลแสนสุข จังหวัดชลบุรี จัดเป็นสินค้าขึ้นชื่อที่นักท่องเที่ยวนิยมซื้อกลับไปเป็นของฝากเมื่อมาท่องเที่ยวที่หาดบางแสน โดยเอกลักษณ์ของข้าวหลามหนองมนคือความหอมและรสชาติหวานมัน เข้มข้นเพราะใช้หัวกะทิปริมาณมาก รวมถึงมีการตัดแปลงสอดไส้ให้หลากหลาย เช่น ไส้กล้วย ไส้เผือก ไส้มะพร้าวอ่อน เป็นต้น (14) ซึ่งกระบวนการผลิตข้าวหลาม โดยทั่วไปเริ่มจากการนำข้าวเหนียวไปแช่น้ำประมาณ 60 นาที และเตรียมหัวกะทิโดยล้างให้สะอาด แช่น้ำไว้ประมาณ 30 นาที นำไปต้มประมาณ 15-20 นาทีจนสุก แล้วผสมข้าวเหนียวและหัวกะทิเข้าด้วยกัน พักไว้รวมถึงเตรียมกะทิผสมกับน้ำตาลและเกลือ คนให้ละลายเข้ากันดี จากนั้นกรอกข้าวเหนียวและหัวกะทิใส่กับกะทิลงในกระบอกไม้ไผ่ ทำซ้ำจนเกือบเต็มกระบอก นำไปเผาไฟจนกระบอกเริ่มเหลือง พลิกไปเรื่อยๆ ใช้เวลาประมาณ 40-50 นาทีจึงเสร็จ (13)

จากส่วนประกอบของข้าวหลามข้างต้น ทำให้ข้าวหลามเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ให้พลังงานสูงมากทั้งจากข้าวเหนียว กะทิ และน้ำตาล ดังนั้นการบริโภคข้าวหลามโดยทั่วไปในปริมาณมากหรือเป็นประจำ จะทำให้ร่างกายได้รับพลังงานและปริมาณน้ำตาลสูงเกินความต้องการของร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของภาวะน้ำหนักเกิน โรคอ้วน และนำไปสู่การเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน ได้ในอนาคต จึงมีหลายการศึกษาที่ก่อนหน้านี้ที่ตัดแปลงสูตรข้าวหลามให้ดีต่อสุขภาพมากขึ้น อาทิ ข้าวหลามธัญพืช ข้าวหลามข้าวกล้องงอกและน้ำอ้อย นอกจากนี้มีการศึกษาที่ก่อนหน้านี้ของอลงกตและคณะที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามโดยใช้ไอโซมอลทูลอสเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลทราย พบว่าข้าวหลามสูตรไอโซมอลทูลอสได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (15) ที่สำคัญผลการศึกษาเบื้องต้นของคณะผู้วิจัยที่พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ข้าวหลามผสมบุกในอัตราส่วน 2:1 ในอาสาสมัครจำนวน 30 คน พบว่าข้าวหลามสูตรผสมบุกและใช้ซูคราโลสเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาล ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างจากข้าวหลามสูตรมาตรฐาน โดยให้พลังงานรวมต่อหน่วยบริโภคต่ำกว่าข้าวหลามสูตรมาตรฐานมากกว่าร้อยละ 50 (unpublished data) ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามเพื่อสุขภาพที่ลดพลังงานและน้ำตาล โดยผสมบุกที่มีใยอาหารและใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ซึ่งมีค่า

ดัชนีน้ำตาลต่ำ (Low glycemic index หรือ Low GI) สามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่ส่งผลเสียต่อร่างกาย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวหลามที่ให้พลังงานรวมต่อหน่วยบริโภคและมีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าข้าวหลามสูตรทั่วไป อีกทั้งยังมีใยอาหารจากบุก รวมถึงศึกษาผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามที่พัฒนาขึ้นต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดหลังการรับประทาน ในอาสาสมัครสุขภาพดี เพื่อใช้เป็นข้อมูลต่อยอดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ของว่างทางเลือกเพื่อสุขภาพ สำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมพลังงานที่ได้รับจากอาหาร ผู้ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาล หรือผู้ที่สนใจในการป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวาน และผู้ประกอบการที่ตระหนักถึงปัญหาทางสุขภาพต่อไปได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลของข้าวหลามผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด ในอาสาสมัครสุขภาพดี ดังนั้นจึงมีวิธีดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม 3 สูตร การทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามแต่ละสูตร การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทั่วไปของข้าวหลามแต่ละสูตร การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารของข้าวหลามแต่ละสูตร การวัดสี การวัดปริมาณน้ำอิสระ และการทดสอบผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด ดังนี้

3.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม

พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสิ้น 3 สูตร ดังนี้

- ข้าวหลามสูตรมาตรฐาน ประกอบด้วย ข้าวเหนียวเขี้ยวงู น้ำตาลทราย กะทิ ถั่วดำ และเกลือ
- ข้าวหลามสูตรทดลองที่ 1 คือ สูตรผสมบุก ประกอบด้วย ข้าวเหนียวเขี้ยวงูผสมบุกหยาบข้าวในอัตราส่วน 2:1 น้ำตาลทราย กะทิ ถั่วดำ และเกลือ
- ข้าวหลามสูตรทดลองที่ 2 คือ สูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ประกอบด้วย ข้าวเหนียวเขี้ยวงูผสมบุกหยาบข้าวในอัตราส่วน 2:1 น้ำตาลไอโซมอลทูลอส กะทิ ถั่วดำ และเกลือ

โดยมีวิธีทำข้าวหลาม ดังนี้

- เตรียมข้าวเหนียวเขี้ยวงู โดยนำมาล้างน้ำ แขน้ไว้ แล้วพักขึ้นให้สะเด็ดน้ำ
- เตรียมถั่วดำ โดยนำมาล้างน้ำ แขน้ไว้ แล้วนำไปต้มจนสุก พักไว้
- ผสมกะทิ น้ำตาลทรายหรือน้ำตาลไอโซมอลทูลอส และเกลือ ให้ละลายเข้ากันดี
- ผสมข้าวเหนียว ถั่วดำ และกะทิที่เตรียมไว้ คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน
- กรอกส่วนผสมลงในกระบอกไม้ไผ่ ขนาดสูงประมาณ 4.5 นิ้ว (ข้าวหลามซ้อต)
- นำข้าวหลามไปเผา โดยใช้วิธีการเผาแบบเตาแก๊ส

3.2 การทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม

ศึกษาระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร ในอาสาสมัครจำนวน 50 คน โดยใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience Sampling) ซึ่งเป็นจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่จะทำให้การกระจายค่าของตัวอย่างมีแนวโน้มการกระจายใกล้เคียงกับการกระจายแบบธรรมชาติ (Normal distribution) เป็นไปตามทฤษฎีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง Central Limit Theorem (CLT) ที่ระบุว่าขนาดตัวอย่างต้องมีจำนวนมากกว่า 30 คนขึ้นไป (29) โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือก ดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือกเข้า (Inclusion Criteria)

1. อายุระหว่าง 18-60 ปี
2. สามารถอ่าน ฟัง และเขียนภาษาไทยได้
3. เคยบริโภคข้าวหลาม

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion Criteria)

1. มีประวัติการแพ้อาหาร เช่น ถั่ว กะทิ บุค
2. มีโรคประจำตัว เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคไขมันในเลือดสูง เป็นต้น
3. มีภาวะตาบอดสี
4. มีปัญหาทางประสาทสัมผัสในการรับรสและกลิ่นผิดปกติ

เมื่อได้อาสาสมัครที่ผ่านการคัดเลือกและยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย จากนั้นทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสทั้ง 6 ด้าน ประกอบด้วย ลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความพึงพอใจโดยรวม ต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามแต่ละสูตร โดยใช้แบบสอบถามทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสแบบ 5 ระดับ หรือ 5-point Hedonic Scales ซึ่งอาสาสมัครแต่ละคนจะไม่ทราบว่าผลิตภัณฑ์ใดเป็นสูตรใด เนื่องจากได้รับข้าวหลามแบบไม่เรียงสูตรและมีหมายเลขสุ่ม 3 หลักเป็นตัวแทนผลิตภัณฑ์

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปของอาหาร (Proximate analysis)

นำตัวอย่างข้าวหลามทั้งสามสูตร วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าด้วยวิธี AOAC (2023) (30) รวมทั้งหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยคำนวณด้วยสูตร $100 - (\text{moisture} + \text{protein} + \text{fat} + \text{ash})$ แสดงหน่วยเป็นกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และปริมาณพลังงานโดยวิธีการคำนวณ แสดงหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม

3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary fiber)

นำตัวอย่างข้าวหลามทั้งสามสูตร วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด โดยวิธี In-house method T995 based on AOAC (2023) 985.29 (30) ส่งวิเคราะห์ ณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.5 การวิเคราะห์สี (Color)

นำตัวอย่างข้าวหลามทั้งสามสูตร วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-400 ของ KONICA MINOLTA ค่าที่ได้จะแสดงเป็นค่า L^* (Lightness) ค่า a^* (Redness) และค่า b^* (Yellowness) ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหาร คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, A_w)

นำตัวอย่างข้าวหลามทั้งสามสูตร วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระหรือค่าแอกติวิตีของน้ำ ด้วยเครื่อง Water activity meter รุ่น AQUALAB 4TE ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์อาหาร คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

3.7 การทดสอบผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ อาสาสมัครที่มีสุขภาพดี ไม่มีโรคแทรกซ้อนต่างๆ เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง อ้วน น้ำหนักเกินเกณฑ์ และมีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) อยู่ในเกณฑ์ปกติ (18.5-22.9 กิโลกรัม/เมตร²)

การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง

อ้างอิงจากการศึกษาของ Chusak C และคณะ (31) ซึ่งศึกษาผลของการรับประทานขนมปัง 3 ชนิด คือ ขนมปังข้าวไรซ์เบอร์รี่ ขนมปังขาว และขนมปังข้าวหอมมะลิ ต่อระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหาร ระดับ glucagon-like peptide 1 (GLP-1) ระดับสารต้านอนุมูลอิสระและระดับความหิวและระดับความอิ่มของอาสาสมัครสุขภาพดี โดยทำการศึกษาแบบ crossover design พบว่าระดับของดัชนีน้ำตาล (glycemic index, GI) หลังการรับประทานขนมปังทั้ง 3 แบบ เปรียบเทียบกับการรับประทานน้ำตาลกลูโคส 50 กรัม พบว่าขนมปังข้าวไรซ์เบอร์รี่ ขนมปังขาว และขนมปังข้าวหอมมะลิมีค่า GI เป็น 69.3 ± 4.4 , 77.8 ± 4.6 และ 130.6 ± 7.9 ตามลำดับ โดยมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% และอำนาจของการทดสอบที่ 90%

กำหนดให้ : $\alpha = 0.05$; $Z_{\alpha/2} = 0.823$, $\beta = 0.10$; $Z_{\beta} = 1.282$, $\sigma = 5.63$, $C=3$ และ $\Delta = 8.5$ ดังนั้น จำนวนอาสาสมัครที่ต้องการสำหรับงานวิจัยนี้ต่อกลุ่ม โดยสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างในกรณีศึกษาเพื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป (ANOVA) คือ

$$n = \frac{2(Z_{\alpha/2}C + Z_{\beta})^2 \sigma^2}{(\Delta)^2}$$

$$n = \frac{2(3.751)^2 (5.63)^2}{(8.5)^2}$$

$$n = 12$$

ทางผู้วิจัยได้เพื่อในกรณีที่อาสาสมัครไม่สามารถทนต่อการเจาะเลือด 5 ครั้งได้ (dropout rate) โดยคิดเป็น 20% = $(12 \times 20) / 100 = 15$ คน/กลุ่ม รวมอาสาสมัครทั้งสามกลุ่ม คือ 45 คน

รูปแบบการทำวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้เป็นการทำวิจัยแบบ double-blinded, randomized, controlled, cross-over intervention study with 1-week washout period ซึ่งประกอบไปด้วย 1) กลุ่มควบคุม คือ กลุ่มที่ได้ข้าวหลามสูตรปกติ 2) กลุ่มทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่ได้รับข้าวหลามผสมบุก 3) กลุ่มทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับข้าวหลามผสมบุกและน้ำตาลไอโซมอลทูลอส โดยการสุ่มอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดลองในการทดลองสูตรข้าวหลามในแต่ละครั้งจะทำวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) กลุ่มละ 15 คน รวมมีอาสาสมัคร 45 คน โดยมีเกณฑ์การคัดเข้าและการคัดออก ดังนี้

เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion Criteria)

1. อายุระหว่าง 18-40 ปี
2. มีค่า BMI อยู่ในเกณฑ์ปกติ คือ 18.5-22.9 กิโลกรัม/เมตร²
3. สามารถอ่าน ฟังและเขียนภาษาไทยได้

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion Criteria)

1. มีประวัติการแพ้อาหาร เช่น ถั่ว กะทิ บุก
2. มีโรคประจำตัว เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคไขมันในเลือดสูง เป็นต้น
3. เป็นหญิงตั้งครรภ์ หรืออยู่ระหว่างการให้นมบุตร
4. ไข้ยา ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หรือสมุนไพร ที่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด
5. สูดบุหรี่หรือดื่มแอลกอฮอล์เป็นประจำ
6. อยู่ระหว่างการเข้าร่วมงานวิจัยอื่นที่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ประชาสัมพันธ์ทางออนไลน์เพื่อหาผู้สนใจเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครโครงการวิจัย โดยสแกนคิวอาร์โค้ดหรือลิงค์กรอกข้อมูลออนไลน์ผ่านระบบ google form หรือสามารถติดต่อผู้ทำวิจัยโดยตรงผ่านทางเบอร์โทรศัพท์และช่องทางการติดต่อออนไลน์เพิ่มเติมที่ระบุในใบประชาสัมพันธ์ตามระยะเวลาที่กำหนด
2. ทางผู้วิจัยทำการคัดกรองอาสาสมัครที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัยทั้งหมดจากข้อมูลที่ได้รับจากการตอบกลับผ่านระบบ google form และช่องทางการติดต่อเพิ่มเติม โดยมีเกณฑ์พิจารณาเข้าร่วมโครงการวิจัยตามเกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion Criteria) และเกณฑ์การคัดออก (Exclusion Criteria) ตามที่ได้กำหนดไว้เพื่อคัดกรองอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การเข้าร่วมโครงการวิจัย

3. เมื่อได้อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์คัดเลือก ผู้ทำวิจัยจะทำการติดต่อกลับไปยังอาสาสมัครอีกครั้ง เพื่อทำการยืนยันและสอบถามความสะดวกในการเข้าร่วมโครงการวิจัยตามวันและเวลาที่กำหนดไว้ หากมีอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกแต่ไม่สามารถเข้าร่วมโครงการวิจัยได้ตามวันและเวลาที่กำหนด ผู้วิจัยมีความจำเป็นที่จะต้องคัดออก
4. หากมีอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกและไม่สะดวกตามวันและเวลาที่กำหนดจนส่งผลกระทบต่อจำนวนอาสาสมัครที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการในการดำเนินโครงการวิจัย ผู้วิจัยจะทำการประชาสัมพันธ์ครั้งที่ 2 เพื่อหาผู้สนใจเป็นอาสาสมัครและสามารถผ่านเกณฑ์การคัดเลือกที่มีความสะดวกตามวันและเวลาที่กำหนดต่อไปจนครบตามจำนวนที่ต้องการใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย
5. เมื่อได้จำนวนอาสาสมัครที่ยินยอมและยืนยันเข้าร่วมโครงการวิจัยครบตามจำนวน ผู้ทำวิจัยจะทำการติดต่อกลับไปยังอาสาสมัครเพื่อชี้แจงรายละเอียดสถานที่ รายละเอียดของงานวิจัยทั้งหมด และข้อควรปฏิบัติให้แก่อาสาสมัครทราบ โดยก่อนวันนัดหมายผู้ทำวิจัยจะชี้แจงให้อาสาสมัครงดน้ำและอาหารอย่างน้อย 8 ชั่วโมง และหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายอย่างน้อย 1 วันก่อนทำการทดลองทุกครั้ง
6. การสุ่มอาสาสมัครว่าอาสาสมัครแต่ละคนจะอยู่กลุ่มใดในการทดลองในแต่ละครั้งด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) โดยมีผู้ช่วยวิจัยทำใบฉลากที่แสดงชุดตัวเลข 2 หลัก และใช้ระบบการสุ่มผ่านทาง website : <https://www.randomizer.org/> เมื่ออาสาสมัครจับฉลากแล้ว ใบฉลากนั้นจะไม่ถูกนำกลับเข้ามาในกล่องจับฉลากอีก โดยผู้วิจัยไม่ทราบว่าอาสาสมัครแต่ละคนได้สูตรอะไรในแต่ละครั้งของการทำวิจัย
ดังนั้น ผู้เข้าร่วมวิจัยจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มโดยวิธีการสุ่มจับฉลาก ได้แก่
 1. กลุ่มควบคุม คือ กลุ่มที่ได้รับข้าวหลามสูตรปกติ
 2. กลุ่มทดลองที่ 1 คือ กลุ่มที่ได้รับข้าวหลามผสมบุก
 3. กลุ่มทดลองที่ 2 คือ กลุ่มที่ได้รับข้าวหลามผสมบุกและน้ำตาลไอโซมอลทูลออส
7. ในสัปดาห์ที่ 1 วันที่ดำเนินโครงการวิจัย ผู้ทำวิจัยชี้แจงรายละเอียดของงานวิจัยทั้งหมดอีกครั้ง (research information) และให้อาสาสมัครทุกคนลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (consent form) ก่อนเริ่มการวิจัย หลังจากอาสาสมัครรับทราบข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยแล้ว จะทำการตรวจวัดส่วนสูงด้วยเครื่องวัดความสูง (stadiometer) ชั่งน้ำหนัก คำนวณค่าดัชนีมวลกาย (BMI) และวัดสัดส่วนร่างกายด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย (Bioelectrical Impedance Analysis, BIA) จากนั้นทำการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดผ่านทางเส้นเลือดที่แขน (intravenous forearm blood collection) โดยมีการคาเข็ม catheter ไว้ โดยใช้ 0.9% NSS หล่อใน catheter ไว้เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด (blood clotting prevention)
8. ทำการเจาะเลือดก่อนรับประทานสารละลายกลูโคส 50 กรัม โดยพยาบาลวิชาชีพ และทำการบันทึกผลเลือด

9. หลังจากนั้นให้อาสาสมัครรับประทานสารละลายกลูโคส 50 กรัม ให้หมดภายใน 10 นาทีและทำการเจาะเลือดนาที่ที่ 30 60 90 และ 120 นาที
10. หลังจากนั้นให้อาสาสมัครพักร่างกายเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ (washout period) เพื่อเริ่มการทดสอบผลของข้าวหลามสูตรแรกที่ได้จากการจับฉลากต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด
11. ในสัปดาห์ที่ 2 ให้อาสาสมัครจับฉลากเพื่อสุ่มตัวอย่างข้าวหลามสูตรแรกให้อาสาสมัครจะได้รับประทานและทำการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดผ่านทางเส้นเลือดที่แขน (intravenous forearm blood collection) โดยมีการคาเข็ม catheter ไว้ โดยใช้ 0.9% NSS หล่อใน catheter ไว้เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด (blood clotting prevention) รวมถึงทำแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม (hunger and satiety evaluation) ในรูปแบบ visual analog scale (VAS) 100 mm
12. ทำการเจาะเลือดก่อนรับประทานข้าวหลามสูตรแรก โดยพยาบาลวิชาชีพ และทำการบันทึกผลเลือด
13. หลังจากนั้นให้อาสาสมัครรับประทานข้าวหลามสูตรแรก ให้หมดภายใน 10 นาที โดยจำกัดการรับประทานน้ำไม่เกิน 500 มิลลิลิตร และทำการเจาะเลือดนาที่ที่ 30 60 90 และ 120 นาที รวมถึงทำแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม (hunger and satiety evaluation) ในรูปแบบ visual analog scale (VAS) 100 mm ในช่วงเวลาเดียวกันกับการเจาะเลือดแต่ละจุด
14. หลังจากนั้นให้อาสาสมัครพักร่างกายเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ (washout period) เพื่อเริ่มการทดสอบผลของข้าวหลามสูตรที่สองที่ได้จากการจับฉลากต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด
15. ในสัปดาห์ที่ 3 ให้อาสาสมัครจับฉลากเพื่อสุ่มตัวอย่างข้าวหลามสูตรที่สองให้อาสาสมัครจะได้รับประทานและทำการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดผ่านทางเส้นเลือดที่แขน (intravenous forearm blood collection) โดยมีการคาเข็ม catheter ไว้ โดยใช้ 0.9% NSS หล่อใน catheter ไว้เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด (blood clotting prevention) รวมถึงทำแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม (hunger and satiety evaluation) ในรูปแบบ visual analog scale (VAS) 100 mm
16. ทำการเจาะเลือดก่อนรับประทานข้าวหลามสูตรที่สอง โดยพยาบาลวิชาชีพ และทำการบันทึกผลเลือด
17. หลังจากนั้นให้อาสาสมัครรับประทานข้าวหลามสูตรที่สอง ให้หมดภายใน 10 นาที โดยจำกัดการรับประทานน้ำไม่เกิน 500 มิลลิลิตร และทำการเจาะเลือดนาที่ที่ 30 60 90 และ 120 นาที รวมถึงทำแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม (hunger and satiety evaluation) ในรูปแบบ visual analog scale (VAS) 100 mm ในช่วงเวลาเดียวกันกับการเจาะเลือดแต่ละจุด

18. หลังจากนั้นให้อาสาสมัครพักร่างกายเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ (washout period) เพื่อเริ่มการทดสอบผลของข้าวหลามสูตรที่สามต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด
19. ในสัปดาห์ที่ 4 ให้อาสาสมัครรับประทานข้าวหลามสูตรที่สามและทำการตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดผ่านทางเส้นเลือดที่แขน (intravenous forearm blood collection) โดยมีการคาเข็ม catheter ไว้ โดยใช้ 0.9% NSS หล่อใน catheter ไว้เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด (blood clotting prevention) รวมถึงทำแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม (hunger and satiety evaluation) ในรูปแบบ visual analog scale (VAS) 100 mm
20. ทำการเจาะเลือดก่อนรับประทานข้าวหลามสูตรที่สาม โดยพยาบาลวิชาชีพ และทำการบันทึกผลเลือด
21. หลังจากนั้นให้อาสาสมัครรับประทานข้าวหลามสูตรที่สาม ให้หมดภายใน 10 นาที โดยจำกัดการรับประทานน้ำไม่เกิน 500 มิลลิลิตร และทำการเจาะเลือดนาที่ที่ 30 60 90 และ 120 นาที รวมถึงทำแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม (hunger and satiety evaluation) ในรูปแบบ visual analog scale (VAS) 100 mm ในช่วงเวลาเดียวกันกับการเจาะเลือดแต่ละจุด
22. หลังจากจบการทดลองในแต่ละสัปดาห์ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 4 ผู้วิจัยจะมอบค่าตอบแทนเพื่อชดเชยการเสียเวลาของอาสาสมัครในแต่ละสัปดาห์ที่อาสาสมัครได้เข้าร่วมวิจัย เป็นจำนวนสัปดาห์ละ 300 บาทต่อคน

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบผลความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสและข้อมูลองค์ประกอบในอาหาร

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส การวิเคราะห์องค์ประกอบในอาหาร และปริมาณเส้นใยอาหารของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS version 29.0 รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ One way ANOVA (Post hoc test: Duncan) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

การเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของระดับน้ำตาลในเลือดและระดับความหิวและระดับความอิ่มของอาสาสมัครหลังรับประทานกลูโคสและข้าวหลามแต่ละสูตร

การเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของระดับน้ำตาลในเลือดและระดับความหิวและระดับความอิ่มของอาสาสมัครหลังรับประทานกลูโคสและข้าวหลามแต่ละสูตร โดยค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลในเลือดและระดับความหิวอิ่มหลังรับประทานกลูโคสและข้าวหลามแต่ละสูตรซึ่งประกอบไปด้วยข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกและน้ำตาลไอโซมอลทูลอส โดยใช้สถิติ One way ANOVA (Post hoc test: Duncan) ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

การคำนวณค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) ของข้าวหลามแต่ละสูตร

การคำนวณค่าดัชนีน้ำตาลนั้นกำหนดกลูโคสมีค่าดัชนีน้ำตาล = 100 ซึ่งใช้เป็นตัวเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (incremental area under the curve, iAUC) หลังได้รับข้าวหลามแต่ละสูตร โดยใช้วิธี trapezoidal method (32) โดยการหา Area under the curve (AUC) แต่ละช่วงเวลาของการเจาะเลือดหลังรับประทานกลูโคสหรือข้าวหลามแต่ละสูตร จากสมการ $(Conc_2 + Conc_1) / 2 \times (Time_2 - Time_1)$ หลังจากนั้นให้นำ AUC ของ 5 ช่วงเวลาคือ 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 นาที มารวมกันเป็น total AUC โดยการคำนวณหาค่า glycemic index (GI) = total AUC of test food/total AUC of standard glucose $\times 100$ (33)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

โครงการวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลของข้าวหلامผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด ในอาสาสมัครสุขภาพดี ดังนั้นจึงมีผลการวิจัยและอภิปรายผลเกี่ยวกับการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหلامแต่ละสูตร การวิเคราะห์หองค์ประกอบทั่วไปของข้าวหلامแต่ละสูตร การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารของข้าวหلامแต่ละสูตร การวัดสี การวัดปริมาณน้ำอิสระ และผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหلامต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด ดังนี้

4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวหلامแต่ละสูตร



ภาพที่ 4-1 ลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวหلامทั้งสามสูตร ได้แก่ สูตรมาตรฐาน (ซ้าย) สูตรผสมบุก (กลาง) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (ขวา)

จากภาพที่ 4-1 แสดงลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวหلامทั้งสามสูตร ประกอบด้วย ข้าวหلامสูตรมาตรฐาน (CO) ซึ่งใช้ข้าวเหนียวและน้ำตาลทรายเป็นส่วนประกอบหลัก เนื้อข้าวหلامมีลักษณะเหนียวหนึบจับเป็นก้อน สีขาวอมเหลืองจากการเผาในกระบอกไม้ไผ่ ข้าวหلامสูตรผสมบุก (KS) ซึ่งใช้ข้าวเหนียวผสมบุกหุงข้าวและน้ำตาลทรายเป็นส่วนประกอบหลัก เนื้อข้าวหلامมีลักษณะเหลวกว่าสูตรมาตรฐาน สามารถสังเกตเห็นเม็ดบุกหุงข้าวที่แทรกอยู่ได้ สีขาวกว่าสูตรมาตรฐานเล็กน้อย และข้าวหلامสูตรผสมบุก

ที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลออสแทนน้ำตาลทราย (KI) เนื้อข้าวหลามมีลักษณะเหลวกว่าสูตรมาตรฐาน สามารถสังเกตเห็นเม็ดบุงรูปข้าวที่แทรกอยู่ได้ สีเหลืองกว่าสองสูตรข้างต้น

4.1.2 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม

จากอาสาสมัครผู้สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย มีอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้าและเกณฑ์การคัดออก (Inclusion and exclusion criteria) ส่วนของการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร จำนวนทั้งสิ้น 51 คน พบว่าส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 78.43 ของอาสาสมัครทั้งหมด และเพศชาย จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 21.57 ของอาสาสมัครทั้งหมด โดยมีอายุเฉลี่ย 21.10 ปี อาสาสมัครส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว คิดเป็นร้อยละ 90.20 ของอาสาสมัครทั้งหมด โดยมีอาสาสมัครจำนวน 5 คน ที่มีโรคประจำตัว ได้แก่ โรคกระเพาะอาหาร โรคไมเกรน โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด และโรคไซนัส อาสาสมัครส่วนใหญ่ไม่มีอาการแพ้อาหาร คิดเป็นร้อยละ 92.16 ของอาสาสมัครทั้งหมด โดยมีอาสาสมัครจำนวน 4 คน ที่แพ้อาหาร ได้แก่ แพ้กุ้ง แพ้ปู แพ้นมผง ทั้งนี้โรคประจำตัวและอาการแพ้อาหารดังกล่าว คณะผู้วิจัยพิจารณาแล้วว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อาสาสมัครทั้งหมดไม่มีภาวะตาบอดสี และมีประสาทสัมผัสในการรับรสและกลิ่นที่เป็นปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คุณลักษณะพื้นฐานของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร จำนวน 51 คน

ข้อมูลพื้นฐาน	จำนวนอาสาสมัคร (คน)	ร้อยละ
เพศ		
- ชาย	11	21.57
- หญิง	40	78.43
อายุ (ปี)	Mean 21.10	SD ± 2.84
โรคประจำตัว		
- มี	5	9.80
- ไม่มี	46	90.20
ประวัติการแพ้อาหาร		
- แพ้อาหาร	4	7.84
- ไม่แพ้อาหาร	47	92.16
ภาวะตาบอดสี		
- ปกติ	51	100.00
ประสาทสัมผัสในการรับรสและกลิ่น		
- ปกติ	51	100.00

จากตารางที่ 4-2 แสดงค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของอาสาสมัครที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตรโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ 5-point Hedonic Scale โดยมีคะแนนเต็ม 5 คะแนน และใช้สถิติ One-way ANOVA ตามด้วย Duncan's post hoc test ในการทดสอบความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ พบว่า ข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้ข้าวหลามสูตรมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติมากกว่าข้าวหลามสูตรผสมบุกและข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนข้าวหลามสูตรผสมบุกมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติมากกว่าข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ความชอบโดยรวมของข้าวหลามสูตรมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากข้าวหลามสูตรผสมบุก ($p > 0.05$) แต่สูงกว่าข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตรด้วยกราฟใยแมงมุมแสดงในภาพที่ 4-2 อย่างไรก็ตามเมื่อแปลผลระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของอาสาสมัครที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร ดังแสดงในตารางที่ 4-3 พบว่าผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตรมีระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของอาสาสมัครอยู่ในเกณฑ์พอใจมากทุกด้าน แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตรได้รับการยอมรับจากอาสาสมัคร

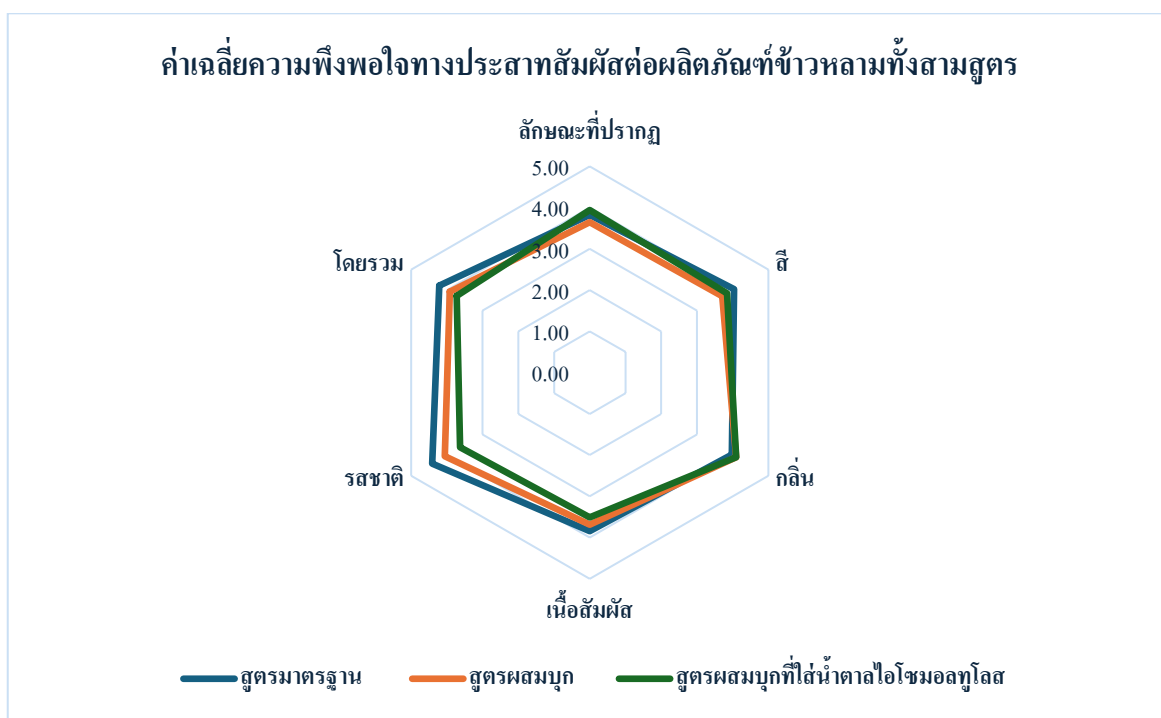
ตารางที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของอาสาสมัครที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัส			p-value
	ข้าวหลาม สูตรมาตรฐาน	ข้าวหลาม สูตรผสมบุก	ข้าวหลามสูตรผสมบุก ที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส	
ลักษณะปรากฏ	3.82±0.89 ^a	3.65±0.84 ^a	3.94±0.90 ^a	0.239
สี	4.04±0.75 ^a	3.71±0.83 ^a	3.84±0.99 ^a	0.149
กลิ่น	3.98±0.86 ^a	4.10±0.81 ^a	4.10±0.94 ^a	0.734
รสชาติ	4.41±0.73 ^a	4.06±0.86 ^b	3.63±1.02 ^c	<0.001*
เนื้อสัมผัส	3.84±0.95 ^a	3.69±0.99 ^a	3.51±1.03 ^a	0.237
ความชอบโดยรวม	4.22±0.64 ^a	3.92±0.80 ^{ab}	3.73±0.92 ^b	0.008*

หมายเหตุ: ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จำนวน n=51; ^(a-c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4-3 แปลผลระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของอาสาสมัครที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร

คุณลักษณะ	ระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัส		
	ข้าวหลามสูตรมาตรฐาน	ข้าวหลามสูตรผสมบุก	ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส
ลักษณะปรากฏ	พอใจมาก	พอใจมาก	พอใจมาก
สี	พอใจมาก	พอใจมาก	พอใจมาก
กลิ่น	พอใจมาก	พอใจมาก	พอใจมาก
รสชาติ	พอใจมาก	พอใจมาก	พอใจมาก
เนื้อสัมผัส	พอใจมาก	พอใจมาก	พอใจมาก
ความชอบโดยรวม	พอใจมาก	พอใจมาก	พอใจมาก



ภาพที่ 4-2 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร

4.1.3 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบทั่วไปของอาหาร (Proximate analysis)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปของอาหาร (Proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า พบว่าในข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) มีค่าเท่ากับร้อยละ 50.12 ± 0.17 , 3.31 ± 0.21 , 6.18 ± 0.06 และ 0.95 ± 0.00 กรัม ตามลำดับ ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) มีค่าเท่ากับร้อยละ 57.12 ± 0.22 , 2.74 ± 0.08 , 6.02 ± 0.09 และ 1.00 ± 0.01 กรัม ตามลำดับ ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าเท่ากับร้อยละ 59.49 ± 0.14 , 2.90 ± 0.15 , 5.59 ± 0.03 และ 0.97 ± 0.01 กรัม ตามลำดับ

โดยผลการวิเคราะห์ทั้งปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า พบว่ามีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) **ดังแสดงในตารางที่ 4-4** เมื่อนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปในอาหารมาคำนวณหาค่าพลังงาน แสดงในหน่วยกิโลแคลอรีต่อ 100 กรัมตัวอย่าง พบว่ามีค่าพลังงานของข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) สูตรผสมบุก (KS) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) เท่ากับ 226.63 ± 0.43 , 196.41 ± 1.24 และ 186.08 ± 0.69 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และเมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) สูตรผสมบุก (KS) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) เท่ากับร้อยละ 39.44 ± 0.27 , 32.81 ± 0.19 และ 31.05 ± 0.17 กรัม ตามลำดับ ค่าพลังงานและปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวหลามทั้งสามสูตร พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหาร (Dietary fiber)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร (Total dietary fiber) ในตัวอย่างข้าวหลามทั้งสามสูตร คือ ข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) สูตรผสมบุก (KS) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 1.03 ± 0.02 , 1.26 ± 0.06 และ 1.08 ± 0.05 กรัม ตามลำดับ **ดังแสดงในตารางที่ 4-4** และปริมาณเส้นใยอาหารในข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ทางผู้วิจัยได้นำบุกรูปข้าวส่งวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหาร ด้วยวิธี In-house method T995 based on AOAC (2023) พบว่ามีค่าร้อยละ 3.59 กรัม

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของข้าวหลามทั้งสามสูตร

องค์ประกอบทางเคมี	ตัวอย่างข้าวหลาม			p-value
	สูตรมาตรฐาน	สูตรผสมบุก	สูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส	
ความชื้น (%)	50.12 ± 0.17^c	57.12 ± 0.22^b	59.49 ± 0.14^a	<0.001*
พลังงานในอาหาร (Kcal/100g)	226.63 ± 0.43^a	196.41 ± 1.24^b	186.08 ± 0.69^c	<0.001*
คาร์โบไฮเดรต (g/100g)	39.44 ± 0.27^a	32.81 ± 0.19^b	31.05 ± 0.17^c	<0.001*
โปรตีน (g/100g)	3.31 ± 0.21^a	2.74 ± 0.08^b	2.90 ± 0.15^b	0.010*
ไขมัน (g/100g)	6.18 ± 0.06^a	6.02 ± 0.09^b	5.59 ± 0.03^c	<0.001*
เถ้า (g/100g)	0.95 ± 0.00^c	1.00 ± 0.01^a	0.97 ± 0.01^b	0.002*
เส้นใยอาหาร (g/100g)	1.03 ± 0.02^a	1.26 ± 0.06^b	1.08 ± 0.05^a	0.020*

หมายเหตุ: ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จำนวน $n=3$; ^(a-c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.5 ผลการวิเคราะห์สี (Color)

การวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-400 ของ KONICA MINOLTA โดยค่า L^* แสดงถึงความสว่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 100 โดยที่ค่า $L^* = 0$ คือสีดำ $L^* = 100$ คือสีขาว ค่า a^* แสดงถึงสีแดง เมื่อค่า a^* เป็นบวก และแสดงถึงสีเขียว เมื่อค่า a^* เป็นลบ และค่า b^* แสดงถึงสีเหลือง เมื่อค่า b^* มีค่าเป็นบวก และแสดงถึงสีน้ำเงิน เมื่อค่า b^* เป็นลบ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4-5

จากผลการทดลองพบว่า ค่า L^* ของข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) สูตรผสมบุก (KS) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าเท่ากับ 54.26 ± 0.57 , 54.16 ± 1.03 และ 48.76 ± 0.76 ตามลำดับ โดยค่า L^* หรือค่าความสว่างของข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) และสูตรผสมบุก (KS) ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่สูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) จะมีค่า L^* น้อยกว่า และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่าสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส มีสีที่มืดกว่า หรือมีความสว่างน้อยกว่า ส่วนค่า a^* ของข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) สูตรผสมบุก (KS) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าเท่ากับ -0.09 ± 0.30 , -0.18 ± 0.34 และ 2.40 ± 0.21 ตามลำดับ โดยตัวอย่างข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่า a^* เป็นบวก และมีค่าความเป็นสีแดงมากกว่าสูตร CO และ KS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง หรือค่า b^* ของข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) สูตรผสมบุก (KS) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าเท่ากับ 3.91 ± 0.82 , 2.28 ± 0.11 และ 24.12 ± 0.58 ตามลำดับ ซึ่งค่า b^* ของตัวอย่างข้าวหลามพบว่ามีค่าเป็นบวก และตัวอย่างข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด สอดคล้องกับลักษณะปรากฏของข้าวหลามสูตรนี้

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, A_w)

จากการวิเคราะห์ค่า a_w ด้วยเครื่อง Water activity meter รุ่น AQUALAB 4TE พบว่าข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) สูตรผสมบุก (KS) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่า a_w เท่ากับ 0.9666 ± 0.01 , 0.9724 ± 0.00 และ 0.9732 ± 0.00 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยค่า a_w ของข้าวหลามทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-5 ซึ่งจากการวิเคราะห์หาค่า a_w ของข้าวหลามทั้ง 3 สูตร พบว่ามีค่ามากกว่า 0.90 ดังนั้น จึงจัดอยู่ในอาหารประเภทอาหารที่มีความชื้นสูง (High moisture food)

ตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของข้าวหลามทั้งสามสูตร

องค์ประกอบทางกายภาพ	ตัวอย่างข้าวหลาม			p-value
	สูตรมาตรฐาน	สูตรผสมบุก	สูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส	
ค่าสี				
L*	54.26±0.57 ^a	54.16±1.03 ^a	48.76±0.76 ^b	<0.001*
a*	-0.09±0.30 ^b	-0.18±0.34 ^b	2.40±0.21 ^a	<0.001*
b*	3.91±0.82 ^b	2.28±0.11 ^c	24.12±0.58 ^a	<0.001*
ปริมาณน้ำอิสระ (a _w)**	0.9666±0.01 ^a	0.9724±0.00 ^a	0.9732±0.00 ^a	0.321

หมายเหตุ: ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จำนวน n=3; **ผลการวิเคราะห์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส; ^(a-c) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.1.7 ผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดและระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัคร

การศึกษานี้มีผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยเป็นอาสาสมัคร อายุ 18-35 ปี จำนวน 44 ราย ได้ทำการรับประทานข้าวหลามในสูตรทดลองที่แตกต่างกันจำนวน 3 สูตร และสูตรควบคุม คือ การรับประทานสารละลายน้ำตาลกลูโคส โดยรูปแบบของการศึกษา คือ double-blinded, randomized, controlled, cross-over intervention study with 1-week washout period โดยข้าวหลามในสูตรทดลองจำนวน 3 สูตร ประกอบไปด้วย ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส สามารถรายงานผลการศึกษารายตัวแปรได้ดังนี้

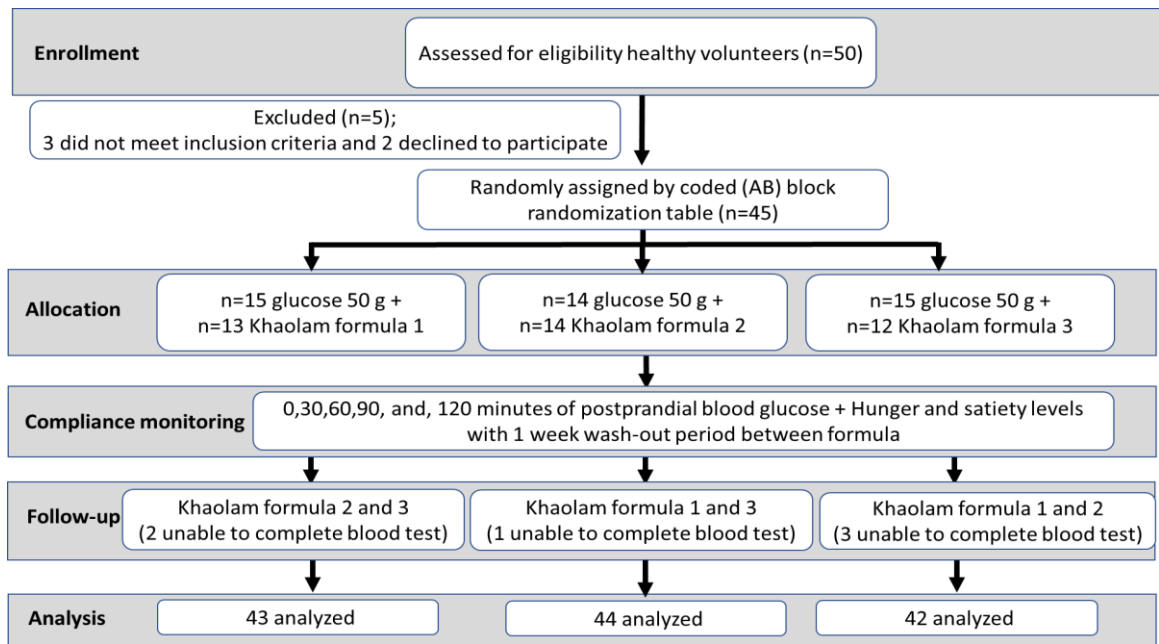
4.1.8 ลักษณะพื้นฐานของอาสาสมัครที่ทดลองทางคลินิก (Baseline characteristics)

อาสาสมัครที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสิ้นจำนวน 44 ราย จากอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้าและเกณฑ์การคัดออก (Inclusion and exclusion criteria) จำนวน 45 ราย โดยที่อาสาสมัคร 1 ราย ขอถอนตัวจากงานวิจัยนี้ในช่วงสัปดาห์แรกที่รับประทานสารละลายกลูโคส เนื่องจากไม่สามารถทนต่อการเจาะเลือดทางเส้นเลือดดำเป็นระยะเวลาต่อเนื่องจำนวนได้ ส่วนอาสาสมัครรายที่ 2 ขอถอนตัวจากงานวิจัยนี้ในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ที่อาสาสมัครต้องรับประทานข้าวหลามสูตรปกติและข้าวหลามผสมบุกที่ผสม

น้ำตาลไอโซมอลทูลอส เนื่องจากไม่สามารถทนต่อการเจาะเลือดทางเส้นเลือดดำเป็นระยะเวลาต่อเนื่องได้ และอาสาสมัครรายที่ 3 ขอดอนตัวจากงานวิจัยนี้ในช่วงสัปดาห์ที่ 4 ที่อาสาสมัครต้องรับประทานข้าวหลามผสมบุกที่ผสมน้ำตาลไอโซมอลทูลอส เนื่องจากไม่สามารถทนต่อการเจาะเลือดทางเส้นเลือดดำเป็นระยะเวลาต่อเนื่องจำนวนได้ ทำให้จำนวนอาสาสมัครที่รับประทานสารละลายกลูโคสและข้าวหลามแต่ละสูตรเป็นดังนี้ อาสาสมัครที่รับประทานสารละลายน้ำตาลกลูโคส (Glucose solution, GLU) จำนวน 44 คน ข้าวหลามสูตรปกติ (Control Khaolam, CO) จำนวน 43 คน ข้าวหลามสูตรผสมบุก (Konjac with normal sugar Khaolam, KS) จำนวน 44 คน ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (Konjac with isomaltulose Khaolam, KI) จำนวน 42 คน โดยอาสาสมัครทั้งหมดนั้น ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 73 % และเพศชาย ร้อยละ 27% (เพศหญิง 32 คน เพศชาย 12 คน) ข้อมูลอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย การศึกษาข้อมูลองค์ประกอบร่างกายโดยใช้เครื่อง Bioelectrical impedance analysis (BIA) ประกอบไปด้วย ร้อยละของไขมัน (Percent body fat, PBF) มวลไขมัน (Fat mass, FM) มวลกล้ามเนื้อ (Muscle mass, MM) มวลเกลือแร่ (Mineral) อัตราส่วนความกว้างรอบเอวต่อความกว้างรอบสะโพก (Waist to hip ratio, WHR) ระดับไขมันอวัยวะภายในเฉลี่ย (Visceral fat level, VFL) และการเผาผลาญพลังงานพื้นฐานขณะพัก (Basal metabolic rate, BMR) **ดังแสดงในตารางที่ 4-6** และรูปแบบของการดำเนินการวิจัยทางคลินิกทั้งหมดจะแสดงผลในรูปแบบ CONSORT diagram **ดังแสดงในภาพที่ 4-3**

ตารางที่ 4-6 คุณลักษณะพื้นฐานโดยทั่วไปด้าน สัดส่วน องค์ประกอบ การกระจายของไขมันในร่างกาย และการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย

ลักษณะข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร	จำนวนอาสาสมัคร (n=44)
อายุ (ปี)	21.30±2.23
เพศ: ชาย/หญิง (%)	12/32 (27/73)
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	55.60±10.60
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	164.48±8.67
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร)	20.42±2.48
มวลกล้ามเนื้อ (กิโลกรัม)	21.99±5.57
มวลไขมัน (กิโลกรัม)	15.14±4.81
เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (%)	27.35±7.11
ปริมาณน้ำในร่างกาย (ลิตร)	29.62±6.64
ระดับไขมันอวัยวะภายในเฉลี่ย	6.20±3.01
อัตราส่วนเส้นรอบวงเอวต่อสะโพก	0.85±0.05
การเผาผลาญพลังงานพื้นฐานขณะพัก (กิโลแคลอรี/วัน)	1,243.82±195.32



ภาพที่ 4-3 แผนผังการทดลองทางคลินิก (Flow diagram outlining the clinical study design and participant progression)

4.1.9 ผลการทดลองของการรับประทานข้าวหลามสูตรปกติ (CO) ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) ต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด (Glycemic responses)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือด พบว่า อาสาสมัครที่รับประทานสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีระดับน้ำตาลในเลือดเริ่มต้นไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามหลังการรับประทานข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส พบว่าหลังการรับประทานข้าวผสมบุก และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลของระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครหลังรับประทานสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ในนาที่ที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครหลังรับประทานสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ในนาที่ที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที

เวลา/นาที	GLU (n=44)	CO (n=43)	KS (n=44)	KI (n=42)
0	82.02±9.13	83.44±7.42	81.43±7.13	82.45±8.17
30	125.80±19.28 ^{a,c,d}	109.77±16.23 ^{*,a,c,d}	107.48±16.29 ^{*,a,c,d}	113.95±12.95 ^{*,b,c}
60	135.84±31.49 ^{a,b}	116.14±28.84 ^{*,a,d}	114.07±27.26 ^{*,a,d}	119.76±19.96 ^{*,b,d}
90	110.45±30.78 ^{a,b,c}	103.29±22.37 ^{a,c}	98.80±27.96 ^{a,c}	103.60±27.95 ^{a,c}
120	94.41±27.95 ^{a,b,c,d}	90.95±24.64 ^{a,b,c,d}	87.66±24.00 ^{a,b,c}	91.36±22.31 ^{a,c,d}

GLU = สารละลายกลูโคส, CO = ข้าวหลามสูตรปกติ, KS = ข้าวหลามสูตรผสมบุก, KI= ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส

*แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายกลูโคส (GLU) ($p < 0.05$)

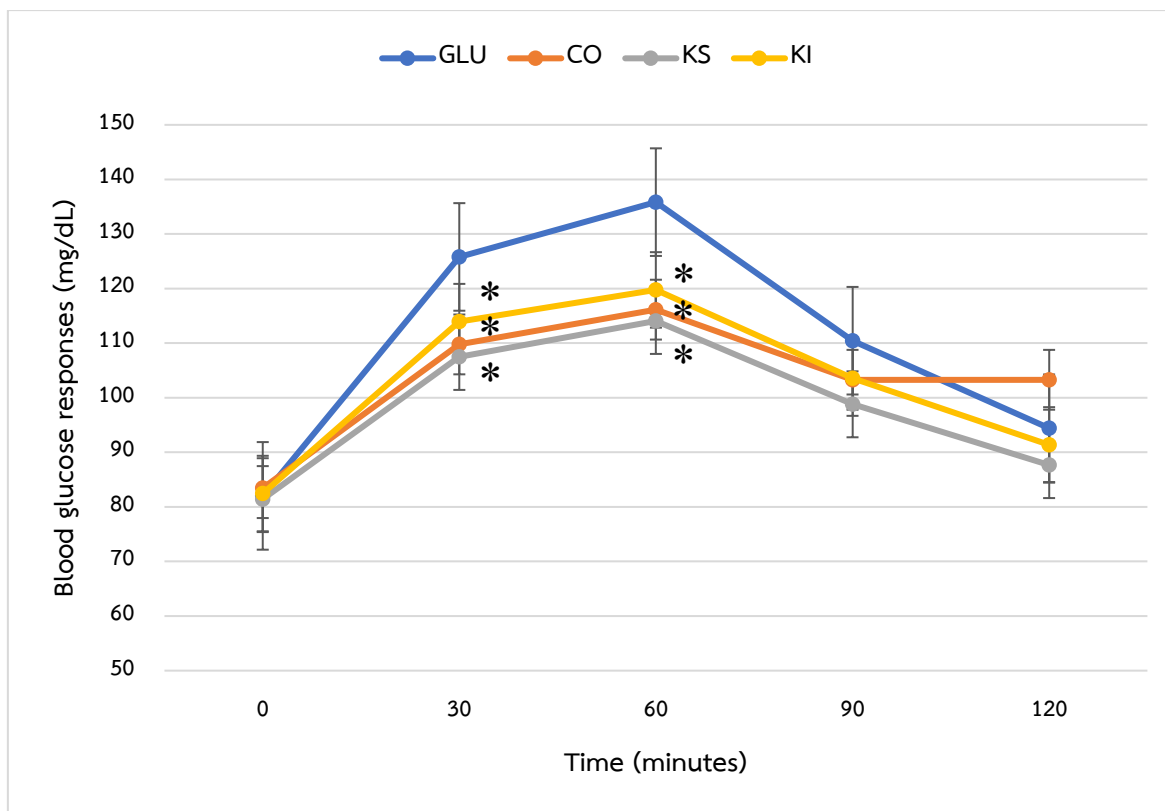
a, แตกต่างภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับนาที่ที่ 0 ($p < 0.05$)

b, แตกต่างภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับนาที่ที่ 30 ($p < 0.05$)

c, แตกต่างภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับนาที่ที่ 60 ($p < 0.05$)

d, แตกต่างภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับนาที่ที่ 90 ($p < 0.05$)

จากภาพที่ 4-4 ระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครระหว่างกลุ่มในช่วงก่อนและหลังรับประทานสารละลายกลูโคส (GLU) ข้าวหลามสูตรปกติ (CO) ข้าวหลามผสมบุก (KS) และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) จากนาที่ที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 พบว่า หลังอาสาสมัครรับประทานข้าวหลามทั้ง 3 สูตร (CO, KS, KI) จะมีระดับน้ำตาลในเลือดที่ต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในนาที่ที่ 30 ($p < 0.001$), ($p < 0.001$), และ ($p = 0.007$) และในนาที่ที่ 60 ($p = 0.005$), ($p = 0.018$), และ ($p = 0.034$) ตามลำดับ



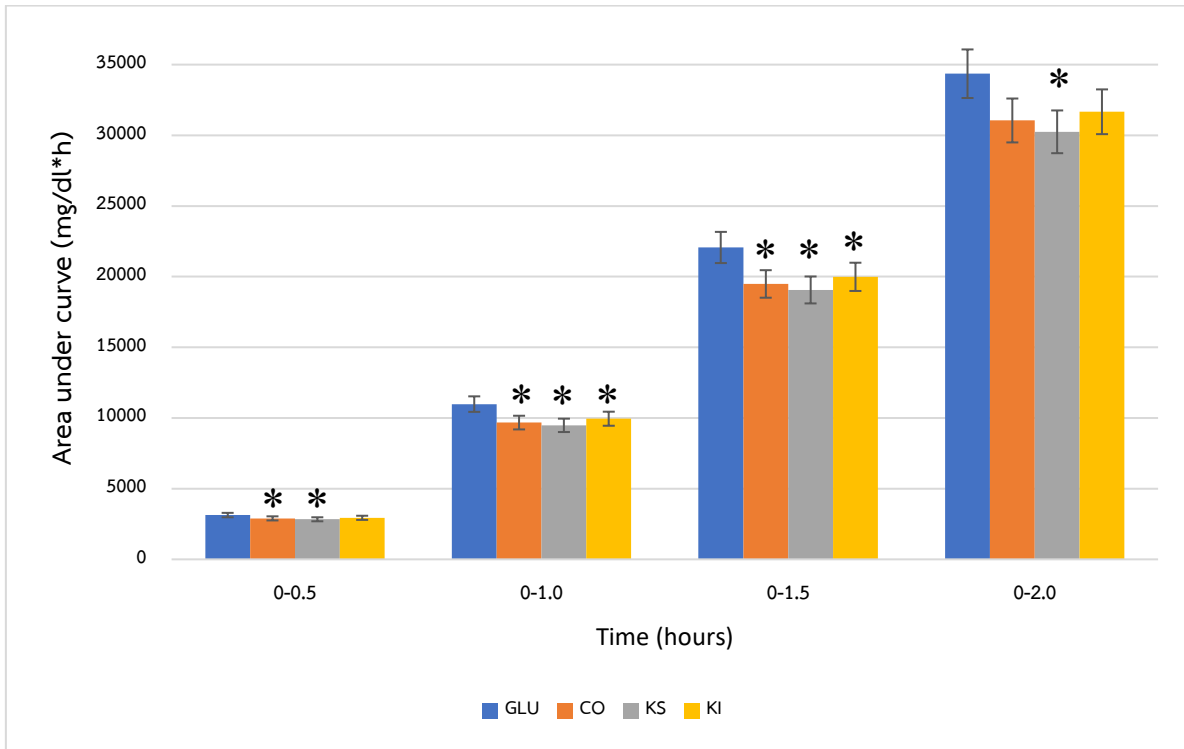
GLU = สารละลายกลูโคส, CO = ข้าวหลามสูตรปกติ, KS = ข้าวหลามสูตรผสมบุก, KI= ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส

*แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายกลูโคส (GLU) ($p < 0.05$)

ภาพที่ 4-4 กราฟแสดงระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครระหว่างกลุ่มในช่วงก่อนและหลังรับประทานสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามสูตรผสมบุก และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสในนาที่ที่ 0, 30, 60, 90 และ 120

จากภาพที่ 4-5 พื้นที่ใต้กราฟที่สูงขึ้น (incremental area under the curve, iAUC) แสดงถึงค่าที่เปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครระหว่างก่อนและหลังรับประทานสารละลายกลูโคส (GLU) ข้าวหลามสูตรปกติ (CO) ข้าวหลามผสมบุก (KS) และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) ในช่วงเวลาที่ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ชั่วโมง พบว่าค่าพื้นที่ใต้กราฟที่เวลา 0-0.5 ชั่วโมงหลังการรับประทานข้าวหลามในสูตรปกติ (CO) และข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) ต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคส (GLU) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p=0.016$) และ ($p=0.001$) ตามลำดับ และในช่วงเวลาที่ 0-1.0 ชั่วโมง พบว่าค่าของพื้นที่ใต้กราฟหลังการรับประทานข้าวหลามในสูตรปกติ (CO) ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) ต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคส (GLU) อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ ($p=0.002$), ($p<0.001$), และ ($p=0.008$) ตามลำดับ ส่วนในช่วงเวลาที่ 0-1.5 ชั่วโมง พบว่าค่าพื้นที่ใต้กราฟหลังการรับประทานข้าวหลามในสูตรปกติ (CO) ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) ต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคส (GLU) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p=0.021$), ($p=0.003$), และ ($p=0.047$) ตามลำดับ และในช่วงเวลาที่ 0-2.0 ชั่วโมง พบว่าค่าพื้นที่ใต้กราฟหลังการรับประทาน ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) ต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคส (GLU) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p=0.029$)



GLU = สารละลายกลูโคส, CO = ข้าวหลามสูตรปกติ, KS = ข้าวหลามสูตรผสมบุก, KI= ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส

*แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ iAUC ของสารละลายกลูโคส (GLU) ($p<0.05$)

ภาพที่ 4-5 พื้นที่ใต้กราฟแสดงระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครระหว่างกลุ่มหลังการรับประทานสารละลายกลูโคส (GLU) ข้าวหลามสูตรปกติ (CO) ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) เมื่อเปรียบเทียบที่ 0-0.5 ชั่วโมง 0-1.0 ชั่วโมง 0-1.5 ชั่วโมง และ 0-2.0 ชั่วโมง

ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) ของสารละลายกลูโคส (GLU) เท่ากับ 100 ซึ่งถือว่าเป็นสารละลายที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง (High glycemic index, HGI) (34) ส่วนข้าวหลามสูตรปกติ (CO) มีค่า GI = 90 ข้าวหลามผสมบุก (KS) มีค่า GI = 88 และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่า GI = 92 โดยถ้าเปรียบเทียบค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหลาม 3 ชนิด พบว่า ข้าวหลามผสมบุกมีดัชนีน้ำตาลต่ำที่สุด รองลงมาคือข้าวหลามสูตรปกติ และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีดัชนีน้ำตาลสูงที่สุด ซึ่งค่าดัชนีน้ำตาลและระดับของค่าดัชนีน้ำตาลของสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (ตารางที่ 4-8)

ตารางที่ 4-8 ค่าดัชนีน้ำตาลและระดับของค่าดัชนีน้ำตาลของสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามสูตรผสมบุก และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส

ชนิดของอาหาร (Food type)	ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index)	ระดับของค่าดัชนีน้ำตาล (35) (Glycemic index type)
สารละลายกลูโคส (GLU)	100	High
ข้าวหลามสูตรปกติ (CO)	90	High
ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS)	88	High
ข้าวหลามสูตรผสมบุก ที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI)	92	High

4.1.10 ผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามต่อระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัคร (Hunger and satiety levels)

ผลของสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสต่อระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัคร (Hunger and satiety levels) ในช่วงก่อนรับประทาน (นาฬิกาที่ 0) ไม่มีความแตกต่างกันในด้านคะแนนการประเมินระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัครในแต่ละข้อ ส่วนหลังการรับประทานอาหารทดสอบทั้ง 4 ชนิดในนาฬิกาที่ 30 พบว่ามีเพียงคำถามจากแบบประเมินความหิว-ความอิ่มข้อที่ 4 “ตอนนี้คุณคิดว่าจะรับประทานอาหารจำนวนมากขึ้นแค่ไหน” เพียงข้อเดียวเท่านั้นที่ผลการประเมินแตกต่างกัน ซึ่งการรับประทานข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีความนึกคิดที่จะรับประทานอาหารจำนวนน้อยกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p=0.003$, $p=0.044$, และ $p=0.003$ ตามลำดับ

ส่วนในนาที่ที่ 60 พบว่ามีเพียงคำถามจากแบบประเมินความหิว-ความอิ่มข้อที่ 4 “ตอนนี้คุณคิดว่าจะรับประทานอาหารจำนวนมากน้อยแค่ไหน” เพียงข้อเดียวเท่านั้นที่ผลการประเมินแตกต่างกันระหว่างการรับประทานสารละลายกลูโคสและข้าวหลามสูตรปกติ โดยอาสาสมัครที่รับประทานข้าวหลามสูตรปกติมีแนวโน้มที่จะรับประทานอาหารจำนวนน้อยกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p=0.025$ และในนาที่ที่ 90 พบว่ามีเพียงคำถามจากแบบประเมินความหิว-ความอิ่มข้อที่ 4 “ตอนนี้คุณคิดว่าจะรับประทานอาหารจำนวนมากน้อยแค่ไหน” เพียงข้อเดียวเท่านั้นที่ผลการประเมินแตกต่างกันระหว่างการรับประทานสารละลายกลูโคสและข้าวหลามสูตรปกติ และการรับประทานสารละลายกลูโคสและข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลออสโดยอาสาสมัครที่รับประทานข้าวหลามสูตรปกติและข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลออสมีแนวโน้มที่จะรับประทานอาหารจำนวนน้อยกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p=0.034$ และ $p=0.042$ ตามลำดับ ส่วนในนาที่ที่ 120 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านคะแนนการประเมินระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัครในแต่ละข้อ (ตารางที่ 4-9)

ตารางที่ 4-9 ระดับความหิว-ความอึมของอาสาสมัครระหว่างกลุ่มในช่วงก่อนและหลังรับประทานสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส

แบบประเมินความหิว-ความอึม	ระยะเวลา	ระดับความหิว-ความอึม			
		GLU (n=44)	CO (n=43)	KS (n=44)	KI (n=42)
1. คุณมีความรู้สึกหิวมากน้อยแค่ไหน	นาที่ที่ 0	50.25±26.54	54.77±26.07	50.34±22.69	51.94±25.28
	นาที่ที่ 30	43.75±21.38	34.65±22.40	35.18±21.02	36.31±21.07
	นาที่ที่ 60	40.95±24.02	35.26±20.29	36.18±19.82	36.07±21.85
	นาที่ที่ 90	42.68±22.58	36.98±22.55	37.95±22.37	39.64±21.79
	นาที่ที่ 120	47.84±27.27	38.95±25.32	42.86±23.23	41.67±23.23
2. คุณมีความรู้สึกอึมมากน้อยแค่ไหน	นาที่ที่ 0	29.32±24.98	31.63±22.25	34.55±24.13	35.24±22.47
	นาที่ที่ 30	45.80±24.52	57.91±23.51	57.95±21.41	58.45±23.05
	นาที่ที่ 60	46.61±23.94	56.91±21.79	58.55±21.62	53.38±21.60
	นาที่ที่ 90	44.34±24.15	51.40±23.84	55.57±21.65	51.79±20.77
	นาที่ที่ 120	43.95±27.19	47.95±26.21	52.05±23.03	48.33±21.03
3. คุณมีความรู้สึกไร้เรี่ยวแรงหรือไม่เวลาได้ รับประทานอาหาร	นาที่ที่ 0	71.48±23.69	58.02±24.52	60.00±27.39	56.90±28.99
	นาที่ที่ 30	68.41±20.90	63.84±21.54	67.84±19.03	64.76±20.51
	นาที่ที่ 60	68.93±19.91	62.21±20.88	66.36±19.57	65.26±21.03
	นาที่ที่ 90	69.95±20.76	62.35±23.55	67.61±20.53	64.90±20.53
	นาที่ที่ 120	70.64±21.03	64.77±23.98	66.59±21.83	65.86±20.83
4. ตอนนี้คุณคิดว่าจะรับประทานอาหารจำนวน มากน้อยแค่ไหน	นาที่ที่ 0	60.11±23.54	56.74±24.47	55.80±25.29	56.55±26.07
	นาที่ที่ 30	57.68±22.99	38.95±25.11*	43.98±23.93*	39.29±23.85*
	นาที่ที่ 60	54.63±24.76	38.98±24.89*	54.00±72.80	41.45±24.79
	นาที่ที่ 90	57.95±25.00	42.49±25.90*	44.77±23.25	43.57±23.33*
	นาที่ที่ 120	58.86±24.54	48.49±26.60	51.39±24.27	50.02±27.62
5. ขณะนี้คุณมีความรู้สึกว่ามีแรงกระตุ้นที่ทำให้ อยากรับประทานอาหารหรือไม่	นาที่ที่ 0	48.07±29.38	51.05±27.27	49.09±27.37	51.19±26.59
	นาที่ที่ 30	45.91±25.84	34.42±21.75	31.18±23.88	35.48±23.00
	นาที่ที่ 60	46.02±24.79	36.63±23.97	38.63±22.96	35.83±22.66
	นาที่ที่ 90	50.00±28.20	36.54±22.54	38.98±22.56	41.19±22.41
	นาที่ที่ 120	51.75±28.10	45.47±25.88	41.70±26.87	44.40±26.87
6. คุณเป็นคนที่นึกถึงอาหารตลอดเวลาหรือไม่	นาที่ที่ 0	48.07±28.41	43.60±26.49	44.80±27.25	43.93±26.52
	นาที่ที่ 30	47.34±26.67	37.09±22.18	38.41±22.82	37.62±22.96
	นาที่ที่ 60	44.89±24.03	36.40±21.72	37.95±23.73	37.38±22.67
	นาที่ที่ 90	44.66±24.79	35.84±22.17	38.64±24.34	39.40±22.31
	นาที่ที่ 120	48.16±25.56	43.19±25.35	41.70±24.28	42.73±24.75

GLU = สารละลายกลูโคส, CO = ข้าวหลามสูตรปกติ, KS = ข้าวหลามสูตรผสมบุก, KI = ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส

*แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายกลูโคส (GLU) ($p < 0.05$)

4.2 อภิปรายผล

4.2.1 ผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม

จากผลการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของอาสาสมัครที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตร พบว่า ข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และอยู่ในระดับพึงพอใจมากทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามสูตรผสมบุกและข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสแม้จะมีเนื้อสัมผัสเหลวกว่าสูตรมาตรฐาน รวมถึงสามารถสังเกตเห็นเม็ดบุกรูปข้าวที่แทรกอยู่ได้นั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อระดับการยอมรับในการบริโภคของอาสาสมัคร นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสที่มีสีเหลืองเข้มกว่าและมีกลิ่นคาราเมลที่ชัดเจนกว่าอีกสองสูตร กลับได้รับการยอมรับในการบริโภคจากอาสาสมัครเช่นกัน อ้างอิงจากข้อเสนอแนะของอาสาสมัครหลายคนที่ยื่นขอความคาราเมลของผลิตภัณฑ์ที่ให้ความรู้สึกแปลกใหม่ เนื่องจากน้ำตาลไอโซมอลทูลอสสามารถเกิดปฏิกิริยา Caramelization และ Maillard Reaction ได้ง่ายกว่าน้ำตาลทราย ทำให้มีสีน้ำตาลและมีกลิ่นหอมคาราเมลมากกว่าอีกสองสูตรที่ใช้น้ำตาลทราย

ทั้งนี้ความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) เรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ ข้าวหลามสูตรมาตรฐาน (CO) ข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) ตามลำดับ เนื่องจากน้ำตาลไอโซมอลทูลอสที่ห่อหุ้มที่นไลท์ (สูตรสีเขียว) ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ประกอบด้วย ไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 99.75 และผสมซูคราโลส ร้อยละ 0.25 ทำให้มีระดับความหวานมากกว่าอีกสองสูตรที่ใช้น้ำตาลทรายเมื่อใส่ในปริมาณที่เท่ากัน นอกจากนี้ความชอบโดยรวมของข้าวหลามสูตรมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากข้าวหลามสูตรผสมบุก ($p>0.05$) แต่สูงกว่าข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติและความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามทั้งสามสูตรแม้จะแตกต่างกันทางสถิติ แต่แปลผลอยู่ในระดับพึงพอใจมากทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ทุกสูตรได้รับการยอมรับในการบริโภคจากอาสาสมัคร

4.2.2 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบทั่วไปในอาหารและเส้นใยอาหาร

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทั่วไปในอาหาร พบว่าค่าพลังงานของข้าวหลามสูตรควบคุม (CO) มีค่ามากที่สุด เนื่องจากในข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) และสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีการทดแทนข้าวเหนียวด้วยการเติมบุกรูปข้าว (Rice shaped konjac) ลงไปประมาณร้อยละ 33.33 จึงส่งผลให้ค่าพลังงาน (กิโลแคลอรี) ของทั้งสองสูตรลดลง อีกทั้งการทดแทนข้าวเหนียวด้วยการเติมบุกรูปข้าวยังส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของทั้งสองสูตร (KS และ KI) ลดลงด้วย การทดแทนบุกรูปข้าวลงในข้าว

หลาม ส่งผลต่อการเพิ่มของปริมาณเส้นใยอาหารในข้าวหลามสูตรเต็มบุก (KS) โดยมีค่าเส้นใยอาหารมากกว่าสูตรมาตรฐาน เท่ากับ 22.33% หรือมากกว่า 1.22 เท่า

บุก (Konjac) จะประกอบด้วยกลูโคแมนแนนเป็นองค์ประกอบหลัก (ประมาณ 49-60%) ซึ่งเป็นชนิดเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ประเภทเฮมิเซลลูโลส มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้สูง (36) จึงส่งผลให้ปริมาณความชื้นของข้าวหลามสูตรที่มีการทดแทนข้าวเหนียวด้วยบุก คือ สูตรผสมบุก (KS) กับผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีปริมาณความชื้นสูงกว่าสูตรควบคุม (CO) นอกจากนี้ บุกยังประกอบด้วยแร่ธาตุอนินทรีย์ ประมาณร้อยละ 2.6-7 ได้แก่ แคลเซียม อะลูมิเนียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก โครเมียม และโคบอลต์ เป็นต้น (37) จึงส่งผลให้ปริมาณเถ้า (Ash) ในตัวอย่างข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) กับผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐาน นอกจากนี้ จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber, TDF) ใน ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) พบว่ามีค่าต่ำกว่าสูตรผสมบุก (KS) ซึ่งในการพัฒนาสูตร ได้มีการเติมบุกูปข้าวในปริมาณที่เท่ากัน แต่หลังจากส่งตรวจวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด พบว่ามีค่าน้อยกว่าสูตร KS ดังนั้น จากผลการทดลองที่ได้ ทางผู้วิจัยคาดว่าเกิดจากหลายสาเหตุ ดังนี้ ขั้นตอนหรือวิธีของการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารที่อาจจะไม่จำเพาะหรือไม่เหมาะสมในตัวอย่างที่มีการเติมไอโซมอลทูลอส หรือการเติมน้ำตาลไอโซมอลทูลอส อาจส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาอาจเร่งปฏิกิริยา Maillard และอาจทำให้ใยอาหารบางส่วนเสื่อมสภาพได้เมื่อผ่านความร้อนสูง ในระหว่างการเผาข้าวหลาม

4.2.3 ผลการวิเคราะห์หาค่าสี และปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

จากผลการวิเคราะห์หาค่าสีของตัวอย่างข้าวหลามทั้งสามสูตร พบว่าข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีลักษณะสีของข้าวเหนียวน้ำตาลเหลืองเข้ม และมีสีที่มืดกว่า สอดคล้องกับค่า L^* ที่ต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน (CO) และสูตรผสมบุก (KS) และมีค่า b^* (ค่าความเป็นสีเหลือง) เป็นบวกและมีค่าสูงกว่าสูตรมาตรฐาน (CO) และสูตรผสมบุก (KS) เนื่องจากสูตร KI มีการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลอส ของพาลาทีนไลท์ (สูตรสีเขียว) ซึ่งจะประกอบด้วย ไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 99.75 และผสมกับซูคราโลส ร้อยละ 0.25 โดยไอโซมอลทูลอสจะเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) และเกิด Maillard Reaction ได้ง่ายกว่าน้ำตาลทราย โดยช่วงอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) ของไอโซมอลทูลอส อยู่ที่อุณหภูมิ 123-124 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำตาลทรายจะเกิดได้ที่อุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงส่งผลให้ข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (KI) มีลักษณะปรากฏที่มีสีน้ำตาลคาราเมล มีกลิ่นหอมคาราเมล มากกว่าสูตรที่ใช้ น้ำตาลทราย เนื่องจากเกิด Caramelization และ Maillard Reaction ได้ง่ายกว่า

จากผลการวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำอิสระ หรือค่า a_w พบว่าค่า a_w ของข้าวหลามทั้ง 3 สูตร มีค่ามากกว่า 0.90 ดังนั้น จึงจัดว่าข้าวหลามอยู่ในอาหารประเภทอาหารที่มีความชื้นสูง (High moisture food) อายุการเก็บรักษาสั้น ประมาณ 1-3 วัน เนื่องจากปริมาณค่า a_w เป็นค่าที่ใช้ในการบ่งชี้การเสื่อมเสียของอาหาร ค่า a_w ที่สูง แสดงว่ามีปริมาณน้ำอิสระในอาหารสูง เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีและ

เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้สูง อาหารจึงเสื่อมเสียได้ง่าย นอกจากนี้ค่า a_w ที่วิเคราะห์ได้ของทั้งสามสูตร สอดคล้องกับงานวิจัยของศรีธญา จังโส (2563) ศึกษาข้าวแอดอร์แอกทิวิตี (a_w) ของข้าวหอมในอำเภอ เมือง จังหวัดนครปฐม พบว่ามีค่ามากกว่า 0.90 โดยพบว่ายู่ในช่วง 0.94-0.95 (38)

4.2.4 ผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือด

ระดับน้ำตาลในเลือดหลังการรับประทานข้าวหอมสูตรปกติ ข้าวหอมผสมบุก ข้าวหอมผสมบุก ที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส จะมีระดับต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคสในนาที่ที่ 30 และ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Shah, R.B., และคณะ ที่ให้อาสาสมัครรับประทานบุกแล้วช่วยลดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดในนาที่ที่ 30 เป็นต้นไป (39) เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Xie, J., และคณะ ที่ได้ทบทวนวรรณกรรม (literature review) เกี่ยวกับการรับประทานน้ำตาลไอโซมอลทูลอส ซึ่งพบว่ารับประทานน้ำตาลไอโซมอลทูลอสจะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อเปรียบเทียบกับรับประทานน้ำตาลทราย (sucrose) ในนาที่ที่ 30 และ 60 ตามลำดับ (40) โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวหอมที่ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดประกอบไปด้วย 1) ข้าวเหนียว 2) น้ำตาลทราย 3) บุก 4) น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ส่วนการรับประทานกะทิ (coconut milk) จะไม่ส่งผลต่อระดับในเลือดหลังอดอาหารโดยตรง เนื่องจากการรับประทานไขมันอิ่มตัวนั้นส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดน้อยมาก (41) ซึ่งส่วนประกอบแรกและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตข้าวหอมคือ ข้าวเหนียว (glutinous rice) ซึ่งจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate) ชนิดอะไมโลเพกติน (amylopectin) ในปริมาณที่สูง และมีคาร์โบไฮเดรตชนิดอะไมโลส (amylose) ต่ำ (42) โดย amylopectin จะถูกย่อยโดยเอนไซม์อะไมเลส (amylase) จากต่อมน้ำลาย (salivary gland) และตับอ่อน (pancreatic) (43) โดยเปรียบเทียบกับสารละลายกลูโคสที่ไม่ต้องผ่านการย่อยในทางเดินอาหาร (gastrointestinal track, GIT) และสามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ทันที (readily absorb) ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานสารละลายกลูโคสเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้วัดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดหลังการรับประทานอาหาร คือ ค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index, GI) โดยการแบ่งเกณฑ์ค่าดัชนีน้ำตาลอ้างอิงจากการศึกษาของ Ahmed J., และคณะ ที่ระบุว่าค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ คือ ค่า GI < 55 ค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง คือ ค่า GI 56-69 และค่าดัชนีน้ำตาลสูง คือ ค่า GI > 70 (44) ซึ่งน้ำตาลกลูโคสมีค่าดัชนีน้ำตาล (GI) เท่ากับ 100 ส่วนข้าวเหนียวมีค่าดัชนีน้ำตาล (GI) ตั้งแต่ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำไปจนถึงค่าดัชนีน้ำตาลสูง (GI=48-94) ซึ่งการระบุค่าดัชนีน้ำตาลดังกล่าวแล้วแต่สายพันธุ์ของข้าวเหนียวที่ใช้ในการบริโภค (45) โดยสายพันธุ์ของข้าวเหนียวที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการทดลอง คือ ข้าวเหนียวเขี้ยวงู (*Oryza sativa* var. glutinosa) (46) ซึ่งข้าวเหนียวสายพันธุ์ดังกล่าวมีค่าดัชนีน้ำตาล (GI) ประมาณ 92-94 ซึ่งจัดเป็นอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง (47) ส่งผลให้ข้าวหอมที่มีข้าวเหนียวเป็นองค์ประกอบหลัก คือ ข้าวหอมสูตรปกตินั้นจะควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ค่อนข้างยาก เพราะมีค่าดัชนีน้ำตาล (GI) ที่สูง และส่วนวัตถุดิบต่อมาที่ใช้ในการทดแทนปริมาณข้าวเหนียวในการทำข้าวหอมผสมบุกเพื่อลดค่าดัชนีน้ำตาลลง คือ บุกหรือข้าว (rice

shaped konjac) ซึ่งหลายการศึกษาเกี่ยวกับบุกบ่งชี้ว่า การบริโภคบุก (konjac) เป็นประจำจะช่วยลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดในผู้ที่มีสุขภาพดี ซึ่งบุกนับเป็นวัตถุดิบที่ให้พลังงานต่ำ (low calories) และมีใยอาหาร (dietary fiber) ชนิดใยอาหารละลายน้ำ (water soluble fiber) สูง สามารถช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดผ่านทางกลไกการดูดซึมของน้ำตาลในอาหารเข้าสู่กระแสเลือด (48) และวัตถุดิบสุดท้ายที่ต้องการศึกษาผลการรับประทานต่อระดับน้ำตาลในเลือดในผลิตภัณฑ์ข้าวหลาม คือ น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการสกัดน้ำตาลทราย (sucrose) ที่มาจากน้ำผึ้ง (honey) และน้ำอ้อย (sugar cane) ให้ได้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส โดยปกติแล้วน้ำตาลไอโซมอลทูลอสไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ที่อยู่ในทางเดินอาหารของมนุษย์ (49) ทำให้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสเองมีค่าของดัชนีน้ำตาล (GI) ที่ต่ำเพียง 32.8 (50) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสจะช่วยให้ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีขึ้น เนื่องจากมีค่าดัชนีน้ำตาลที่ต่ำกว่าน้ำตาลทราย (GI = 68) (46) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการรับประทานข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส นั้นไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของการตอบสนองของระดับน้ำตาลภายใน 120 นาที ซึ่งถ้าดูแนวโน้มของระดับน้ำตาลในเลือดแล้ว ข้าวหลามผสมบุกจะมีแนวโน้มของเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดต่ำที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมาจากการใช้บุกทดแทนข้าวเหนียวบางส่วนจะช่วยลดระดับ GI ได้ ทำให้ GI โดยรวมลดลงจากข้าวหลามสูตรปกติที่มี GI = 90 มาเป็นข้าวหลามผสมบุกที่มี GI = 88 ซึ่งจะส่งผลให้ร่างกายควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีขึ้น ส่วนข้าวหลามผสมบุกที่ผสมน้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีค่า GI สูงขึ้นจาก 90 เป็น 92 อาจเนื่องมาจากความร้อนสูงที่ใช้ในการเผาข้าวหลาม โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่สูงเกิน 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที ตลอดระยะเวลาที่เผาข้าวหลามนั้นจะทำให้เกิดกระบวนการสร้างคาราเมล (caramelization) ในน้ำตาลทราย (sucrose) ได้ (51) ซึ่งน้ำตาลไอโซมอลทูลอสจะเกิดกระบวนการสร้างคาราเมลได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 124 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลกลูโคสที่จะเกิดคาราเมลที่อุณหภูมิ 160-185 องศาเซลเซียส (49) ซึ่งข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสที่มีระยะเวลาการเผาข้าวหลามประมาณ 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่หน้าเตาเผาข้าวหลามประมาณ 150 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดกระบวนการสร้างคาราเมลขึ้นได้มากกว่าข้าวหลามสูตรปกติ ทำให้มีสีเข้ม และรสชาติหวานมากขึ้น โดยกระบวนการสร้างคาราเมลนั้นเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น ซึ่งดูได้จากการที่ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีค่าดัชนีน้ำตาล (GI = 92) ที่สูงขึ้นกว่าข้าวหลามสูตรปกติ (GI = 90) โดยความร้อน (heat) ที่สูงขึ้นทำให้เกิดการสลายโมเลกุลจากน้ำตาลไอโซมอลทูลอสเป็นน้ำตาลกลูโคสได้ ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (52, 53) ส่วนพื้นที่ใต้กราฟ (incremental area under the curve, iAUC) หลังรับประทานสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส พบว่าข้าวหลามสูตรผสมบุก (KS) จะมีพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคส (GLU) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา (0-0.5, 0-1.0, 0-1.5 และ 0-2.0 ชั่วโมง) ($p < 0.05$) ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yoshida, A., และคณะ ที่ให้อาสาสมัครรับประทานข้าวผสมบุก (glucomannan with rice) จำนวน 250 กรัม ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 75 กรัม พบว่ามีการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดจากพื้นที่ใต้กราฟ (iAUC) ต่ำกว่าการรับประทานข้าวแต่เพียงอย่างเดียว และยังเพิ่มปริมาณบุกที่รับประทานมากขึ้นเท่าไร

การลดระดับน้ำตาลในเลือดจะตีมากขึ้นเท่านั้น (54) ซึ่งข้าวหลามสูตรปกติและข้าวหลามผสมบุกก็มีพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) ที่ต่ำกว่าสารละลายกลูโคสในช่วง 0-0.5, 0-1.0 และ 0-1.5 ชั่วโมงตามลำดับ โดยพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) ตั้งแต่ช่วง 0-2.0 ชั่วโมงของข้าวหลามผสมบุกจะมีพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) ที่น้อยที่สุดเท่ากับ 30,246.14 mg/dL*hour ส่วนพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) ของสารละลายกลูโคสจะมากที่สุดเท่ากับ 34,356.48 mg/dL*hour ซึ่งนับว่าการรับประทานบุกในข้าวหลามผสมบุกจะช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีกว่าสารละลายกลูโคสตลอด 2 ชั่วโมงหลังการรับประทาน ส่วนการที่ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีกระบวนการสร้างคาราเมลหลังเผาข้าวหลามด้วยความร้อนสูงเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้ค่า GI สูงขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) ตลอด 2 ชั่วโมง หลังการรับประทานข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส มีพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) เท่ากับ 31,664.64 mg/dL*hour ซึ่งมากกว่าข้าวหลามสูตรปกติซึ่งมีการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดจากพื้นที่ใต้กราฟ (iAUC) เท่ากับ 31,049.3 mg/dL*hour แต่อย่างไรก็ตาม พื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) ของข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีแนวโน้มที่จะควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีกว่าข้าวหลามสูตรปกติในช่วง 0-1.5 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) ในช่วง 0-2.0 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sridonpai, P. และคณะ ที่ศึกษาผลของการรับประทานอาหารเข้าที่ประกอบไปด้วยไอโซมอลทูลอสต่อระดับน้ำตาลในเลือด และ พื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของระดับน้ำตาลในเลือด (iAUC) ในช่วง 0-2.0 ชั่วโมงไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม (55) ดังนั้น การปรับสูตรในการผลิตข้าวหลามให้มีปริมาณบุกที่เพิ่มมากขึ้น ลดการใช้น้ำตาลทรายในปริมาณที่สูง อาจจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดียิ่งขึ้น

4.2.5 ผลของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามต่อระดับความหิวอิ่มของอาสาสมัคร

ผลของสารละลายกลูโคส ข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสต่อระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัคร (Hunger and satiety levels) ในช่วงก่อนรับประทาน (นาฬิกาที่ 0) ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากอาสาสมัครได้รับคำแนะนำให้อดอาหารเท่ากันทุกคนคือ 8-12 ชั่วโมงก่อนการทดลองในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งการทำงานของระบบทางเดินอาหารและสมอง (gut-brain signaling) มีส่วนสำคัญในการควบคุมระดับความหิวและระดับความอิ่มของอาสาสมัคร (56) ส่วนนาฬิกาที่ 30 หลังการรับประทานข้าวหลามสูตรปกติ ข้าวหลามผสมบุก ข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ทำให้อาสาสมัครรู้สึกว่าจะรับประทานอาหารเพิ่มเติมจากคำถามในข้อที่ 4 ของแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม ได้คะแนนน้อยกว่าสารละลายกลูโคสเนื่องจากในข้าวหลามมีสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน มากกว่าสารละลายกลูโคสที่มีแต่คาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียว (57) โดยการที่รับประทานอาหารจำนวนมากขึ้นจะส่งผลให้ความรู้สึกอยากรับประทานอาหารลดลง ส่วนในนาฬิกาที่ 60 พบว่าข้าวหลามสูตรปกติทำให้อาสาสมัครรู้สึกว่าจะรับประทานอาหารเพิ่มเติมจากคำถามในข้อที่ 4 ของแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม ได้คะแนนน้อยกว่าสารละลายกลูโคส แต่อย่างไรก็ตาม

การรับประทานข้าวหลามผสมบุก ไม่ส่งผลต่อระดับความหิวและระดับความอิ่มของอาสาสมัครเมื่อเปรียบเทียบกับการรับประทานสารละลายกลูโคส โดยการศึกษาของ Au-Yeung F และคณะ ที่ศึกษาผลของการรับประทานพาสต้าที่ผสมบุก 50% พบว่า ระดับความหิวและระดับความอิ่มของอาสาสมัครไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับพาสต้าสูตรปกติ ส่วนการรับประทานพาสต้าสูตรที่ทำจากบุก 100% กลับส่งผลให้ระดับความหิวเพิ่มขึ้น ระดับความอิ่มลดลง รวมถึงความอยากรับประทานอาหารเพิ่มขึ้น (58) และในนาที่ที่ 90 พบว่าข้าวหลามสูตรปกติ และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่ไอโซมอลทูโลส ทำให้อาสาสมัครรู้สึกว่าจะรับประทานอาหารเพิ่มเติมจากคำถามในข้อที่ 4 ของแบบประเมินระดับความหิวและระดับความอิ่ม ได้คะแนนน้อยกว่าสารละลายกลูโคสเนื่องจากการรับประทานข้าวหลามที่เป็นอาหารที่แข็ง (solid food) จะมีความอิ่มที่มากกว่าการรับประทานของเหลว (liquid food) จากสารละลายกลูโคส (59) เลยทำให้อาสาสมัครมีความรู้สึกที่อยากรับประทานอาหารเพิ่มเติมจากเดิมน้อยกว่า ส่วนในนาที่ที่ 120 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านคะแนนการประเมินระดับความหิวและความอิ่มของอาสาสมัครในแต่ละข้อ เนื่องจากเป็นช่วงระยะเวลาที่อาหารเดินทางผ่านพ้นกระเพาะอาหารไปยังลำไส้เล็กหมดแล้วจึงไม่ส่งผลต่อระดับความหิวและระดับความอิ่มของอาสาสมัคร ซึ่งอาหารที่รับประทานปกติจะใช้ระยะเวลา 2-3 ชั่วโมง ที่เคลื่อนที่ผ่านกระเพาะอาหารไปได้ (58)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามเพื่อสุขภาพลดพลังงานและน้ำตาล โดยผสมบุกและใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ศึกษาระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหลามแต่ละสูตรในอาสาสมัครจำนวน 50 คน และศึกษาผลของข้าวหลามผสมบุกต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดในอาสาสมัครสุขภาพดี อายุ 18-40 ปี จำนวน 45 คน โดยเป็นการทดลองแบบ double-blinded, randomized, controlled, cross-over intervention study with 1-week washout period

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลิตภัณฑ์ข้าวหลามสูตรผสมบุก และข้าวหลามสูตรผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสที่พัฒนาขึ้นได้รับการยอมรับในการบริโภคจากอาสาสมัคร เนื่องจากมีระดับความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสในทุกด้านอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก อีกทั้งข้าวหลามสูตรที่พัฒนาขึ้นยังให้พลังงานและคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่มิโยอาหารสูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่งผลให้มีความชื้นสูงกว่าสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ส่วนการวิจัยทางคลินิกพบว่าหลังการรับประทานข้าวหลามสูตรที่พัฒนาขึ้นอาสาสมัครมีระดับน้ำตาลในเลือดในนาที่ที่ 30 และ 60 ต่ำกว่าการรับประทานสารละลายกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวหลามทั้งสามสูตร พบว่าข้าวหลามผสมบุกมีดัชนีน้ำตาลต่ำที่สุด (GI=88) รองลงมาคือข้าวหลามสูตรปกติ (GI=90) และข้าวหลามผสมบุกที่ใส่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีดัชนีน้ำตาลสูงที่สุด (GI=92) ทั้งนี้ข้าวหลามทุกสูตรจัดว่ามีค่าดัชนีน้ำตาลในระดับสูง อย่างไรก็ตามการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหลามสูตรลดพลังงานโดยผสมบุกหยาบข้าวทดแทนข้าวเหนียว และใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารท้องถิ่นของไทยให้ดีต่อสุขภาพมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรเปลี่ยนน้ำตาลไอโซมอลทูลอสเป็นสารให้ความหวานชนิดอื่นที่ทนความร้อนสูง เพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลและความหวานที่เพิ่มขึ้นจากการแตกตัวของน้ำตาลไอโซมอลทูลอสเมื่อได้รับความร้อนสูงมากในการเผาข้าวหลาม
- ควรปรับเพิ่มสัดส่วนบุกหยาบข้าวทดแทนข้าวเหนียว เพื่อลดปริมาณพลังงานและคาร์โบไฮเดรต และเพิ่มใยอาหารมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีค่าดัชนีน้ำตาลที่ต่ำลงอีก
- ควรปรับลดระดับความหวานของผลิตภัณฑ์สูตรพัฒนาอีก เนื่องจากอาสาสมัครส่วนใหญ่ให้ข้อเสนอแนะว่ามีรสชาติหวานเกินไป

5.3 ปัญหาและอุปสรรคของการวิจัย

- พบอุปสรรคในการจัดหาวัตถุดิบและวัสดุอุปกรณ์สำหรับผลิตข้าวหลาม ได้แก่ บุกรูปข้าวที่ยกเลิกการจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า ทำให้ต้องจัดซื้อจากโรงงานผลิตโดยตรง และกระบอกไม้ไผ่ที่ขาดแคลนในช่วงที่มีน้ำท่วมหลายพื้นที่
- พบปัญหาในการศึกษาทางคลินิก เรื่องเลือดแข็งตัวตรงบริเวณเข็ม catheter ที่คาไว้สำหรับเก็บเลือดอาสาสมัครในแต่ละจุดเวลา ซึ่งส่งผลให้อาสาสมัครจำเป็นต้องถูกเจาะเลือดซ้ำ ดังนั้นจึงควรกำกับดูแลตำแหน่งการวางแขนของอาสาสมัคร รวมถึงขั้นตอนปฏิบัติต่างๆ อย่างใกล้ชิด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเจาะเลือดซ้ำหลายครั้ง และส่งผลให้อาสาสมัครถอนตัวระหว่างการวิจัยมากขึ้น

บรรณานุกรม

1. Organization WH. Noncommunicable diseases: progress monitor 2022. 2022.
2. กรมควบคุมโรค. รายงานสถานการณ์โรค NCDs เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง พ.ศ. 2562 [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี; 2562 [เข้าถึงเมื่อ 17 ธันวาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaincd.com/document/file/download/knowledge/รายงานสถานการณ์โรคNCDs63update.pdf>
3. Davis O, Lindmeier C. WHO calls on countries to reduce sugars intake among adults and children. World Health Organization [Internet]. 2015.
4. ชาลีตา บรมพิชัยชาติกุล และคณะ. คู่มือการใช้ประโยชน์จากบุก. [อินเทอร์เน็ต]. สำนักงานพัฒนาการวิจัยเพื่อการเกษตร; 2559. [เข้าถึงเมื่อ 17 ธันวาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.arda.or.th/datas/file/frman06.pdf>
5. Chearskul S, Sangurai S, Nitiyanant W, Kriengsinyos W, Kooptiwut S, Harindhanavudhi T. Glycemic and lipid responses to glucomannan in Thais with type 2 diabetes mellitus. Medical journal of the Medical Association of Thailand. 2007;90(10):2150.
6. ศุภิสรา พิสุทธิโกศล, พัชรพร จิรแพศยสุข และ วรางคณา สมพงษ์. การผลิตลูกชิ้นปลาเสริมเจลาบุกและสมุนไพร. Thai Science and Technology Journal. 2018:224-35.
7. ฉวีวรรณ พันธุ์ไชยศรี, อุมาพร ศิริพินทุ์ และ วิจิตรา แดงปรก. การผลิตกุนเชียงไขมันต่ำจากเจลาบุก. วารสารอาหาร 2551;38:355-362.
8. Lina B, Jonker D, Kozianowski G. Isomaltulose (Palatinose®): a review of biological and toxicological studies. Food and Chemical Toxicology. 2002;40(10):1375-81.
9. Sawale PD, Shendurse AM, Mohan MS, Patil G. Isomaltulose (palatinose)—an emerging carbohydrate. Food bioscience. 2017;18:46-52.
10. Augustin LS, Kendall CW, Jenkins DJ, Willett WC, Astrup A, Barclay AW, et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: an International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). Nutrition, Metabolism and cardiovascular diseases. 2015;25(9):795-815.
11. Holub I, Gostner A, Theis S, Nosek L, Kudlich T, Melcher R, et al. Novel findings on the metabolic effects of the low glycaemic carbohydrate isomaltulose (Palatinose™). British Journal of Nutrition. 2010;103(12):1730-7.
12. Jang J, Jo K, Hong K-B, Jung EY. Animal and Clinical Studies Evaluating Blood Glucose Control With Palatinose-Based Alternative Sweeteners. Frontiers in Nutrition. 2020;7:52.

13. Charoenphun N, Wangtueai S. Development of Sticky Rice in Bamboo for Value-added Local Agricultural Products in Sakaeo Province Area. *Journal of Food Technology, Siam University*. 2017;12(1):48-58.
14. ชัยยศ ปานเพชร. ข้าวหลามหนองมน | Bamboo Rice Nongmon. *PULINET Journal*. 2016;3(3).
15. อลงกต สิงห์โต, อุไรภรณ์ บุรณสุขสกุล, รังสิมา ตรุณพันธ์, นริศา เรืองศรี และ อารีย์ ประจันสุวรรณ. การยอมรับและความพึงพอใจต่อตำรับข้าวหลามที่ใช้ไอโซมอลทูลออสเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาล: Acceptability and satisfaction toward the developed Khao Lam, steamed sticky rice in bamboo, recipes using isomaltulose as sweeteners instead of sugar. *บุรพา เวช สาร*. 2023;10(1):18-28.
16. Livesey G, Taylor R, Hulshof T, Howlett J. Glycemic response and health—a systematic review and meta-analysis: relations between dietary glycemic properties and health outcomes. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2008;87(1):258S-68S.
17. Sabarathinam S. A glycemic diet improves the understanding of glycemic control in diabetes patients during their follow-up. *Future Sci OA*. 2023;9(3):Fso843.
18. Brouns F, Bjorck I, Frayn KN, Gibbs AL, Lang V, Slama G, et al. Glycaemic index methodology. *Nutr Res Rev*. 2005;18(1):145-71.
19. Vega-López S, Venn BJ, Slavin JL. Relevance of the Glycemic Index and Glycemic Load for Body Weight, Diabetes, and Cardiovascular Disease. *Nutrients*. 2018;10(10).
20. Livesey G, Taylor R, Hulshof T, Howlett J. Glycemic response and health—a systematic review and meta-analysis: the database, study characteristics, and macronutrient intakes. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2008;87(1):223S-36S.
21. Augustin LSA, Kendall CWC, Jenkins DJA, Willett WC, Astrup A, Barclay AW, et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 2015;25(9):795-815.
22. Hättönen KA, Virtamo J, Eriksson JG, Sinkko HK, Sundvall JE, Valsta LM. Protein and fat modify the glycaemic and insulinaemic responses to a mashed potato-based meal. *Br J Nutr*. 2011;106(2):248-53.
23. Cummings DE, Weigle DS, Frayo RS, Breen PA, Ma MK, Dellinger EP, et al. Plasma ghrelin levels after diet-induced weight loss or gastric bypass surgery. *N Engl J Med*. 2002;346(21):1623-30.
24. Gerontiti E, Shalit A, Stefanaki K, Kazakou P, Karagiannakis DS, Peppas M, et al. The role of low glycemic index and load diets in medical nutrition therapy for type 2 diabetes: an update. *Hormones (Athens)*. 2024;23(4):655-65.

25. มงคล เกษประเสริฐ. บุกและการใช้ประโยชน์จากบุกในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ ลำดับที่ 22/2547. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร. 2547.
26. Vasques CA, Rossetto S, Halmenschlager G, Linden R, Heckler E, Fernandez MSP, et al. Evaluation of the pharmacotherapeutic efficacy of *Garcinia cambogia* plus *Amorphophallus konjac* for the treatment of obesity. *Phytotherapy Research*. 2008;22(9):1135-40.
27. Guardamagna O, Abello F, Cagliero P, Visioli F. Could dyslipidemic children benefit from glucomannan intake? *Nutrition*. 2013;29(7-8):1060-5.
28. Maeda A, Miyagawa Ji, Miuchi M, Nagai E, Konishi K, Matsuo T, et al. Effects of the naturally-occurring disaccharides, palatinose and sucrose, on incretin secretion in healthy non-obese subjects. *Journal of diabetes investigation*. 2013;4(3):281-6.
29. GANTI A. Central Limit Theorem (CLT): Definition and Key Characteristics [Internet] 2023 [2023 Dec. 17]. Available from: https://www.investopedia.com/terms/c/central_limit_theorem.asp.
30. AOAC. (2023). Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists. 21st Edition, Washington DC.
31. Chusak C, Pasukamonset P, Chantarasinlapin P, Adisakwattana S. Postprandial glycemia, insulinemia, and antioxidant status in healthy subjects after ingestion of bread made from anthocyanin-rich riceberry rice. *Nutrients*. 2020;12(3):782.
32. Dodd H, Williams S, Brown R, Venn B. Calculating meal glyceic index by using measured and published food values compared with directly measured meal glyceic index¹²³. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2011;94(4):992-6.
33. Okoduwa SIR, Abdulwaliyu I. Dietary approach for management of Type-2 diabetes: An overview of glyceic indices of commonly consumed foods in Nigeria. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 2023;17(1):102698.
34. Atkinson FS, Brand-Miller JC, Foster-Powell K, Buyken AE, Goletzke J. International tables of glyceic index and glyceic load values 2021: a systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2021;114(5):1625-32.
35. Jenkins DJA, Kendall CWC, Augustin LSA, Franceschi S, Hamidi M, Marchie A, et al. Glyceic index: overview of implications in health and disease^{1,2,3,4}. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2002;76(1):266S-73S.
36. Jain, A., Sarsaiya, S., Gong, Q., Wu, Q., & Shi, J. (2025). *Amorphophallus konjac*: traditional uses, bioactive potential, and emerging health applications. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1530814.

37. Gomez, B., Miguez, B., Yanez, R., & Alonso, J. L. (2017). Manufacture and properties of glucomannans and glucomannooligosaccharides derived from konjac and other sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(10), 2019-2031.
38. ศรีณยา จังโสภา. (2020). การพัฒนากระบวนการผลิต และยืดอายุการเก็บรักษาข้าวหลามในอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม. *วารสารวิจัยและพัฒนาวิจัยโดยองค์กรในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 15(2), 1-16.
39. Jian X, Jian S, Deng B. Konjac Glucomannan: A functional food additive for preventing metabolic syndrome. *Journal of Functional Foods*. 2024;115:106108.
40. Xie J, Li J, Qin Q, Ning H, Long Z, Gao Y, et al. Effect of Isomaltulose on Glycemic and Insulinemic Responses: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Adv Nutr*. 2022;13(5):1901-13.
41. Dhanasekara CS, Nelson A, Spradley M, Wynn A, Robohm-Leavitt C, Shen C-L, et al. Effects of consumption of coconut oil or coconut on glycemic control and insulin sensitivity: A systematic review and meta-analysis of interventional trials. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 2022;32(1):53-68.
42. Wang B, Xu J, Guo D, Long C, Zhang Z, Cheng Y, et al. Research on the Relationship between the Amylopectin Structure and the Physicochemical Properties of Starch Extracted from Glutinous Rice. *Foods*. 2023;12(3).
43. Livesey G. Carbohydrate Digestion, Absorption, and Fiber. Reference Module in Biomedical Sciences: Elsevier; 2014.
44. Ahmed J, Riaz M, Imtiaz R. Glycemic index and Glycemic load values. *Pak J Med Sci*. 2021;37(4):1246-7.
45. Ohbayashi K, Sugiyama Y, Nohmi T, Nishimura K, Nakazaki T, Sato Y-I, et al. Anekomochi glutinous rice provides low postprandial glycemic response by enhanced insulin action via GLP-1 release and vagal afferents activation. *The Journal of Physiological Sciences*. 2024;74(1):47.
46. Azkia MN, Cahyanto MN, Mayangsari Y, Brilliantama A, Palma M, Setyaningsih W. Enhancement of phenolic profile and antioxidant activity of black glutinous rice (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) due to tape fermentation. *Arabian Journal of Chemistry*. 2023;16(11):105275.
47. Kaur B, Ranawana V, Henry J. The Glycemic Index of Rice and Rice Products: A Review, and Table of GI Values. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2016;56(2):215-36.
48. Shah BR, Li B, Wang L, Liu S, Li Y, Wei X, et al. Health benefits of konjac glucomannan with special focus on diabetes. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2015;5(2):179-87.

49. Sawale PD, Shendurse AM, Mohan MS, Patil GR. Isomaltulose (Palatinose) – An emerging carbohydrate. *Food Bioscience*. 2017;18:46-52.
50. Atkinson FS, Foster-Powell K, Brand-Miller JC. International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008. *Diabetes Care*. 2008;31(12):2281-3.
51. Luna M, Aguilera J. Kinetics of Colour Development of Molten Glucose, Fructose and Sucrose at High Temperatures. *Food Biophysics*. 2013;9:61-8.
52. Kotańska M, Wojtaszek K, Kubacka M, Bednarski M, Nicosia N, Wojnicki M. The Influence of Caramel Carbon Quantum Dots and Caramel on Platelet Aggregation, Protein Glycation and Lipid Peroxidation. *Antioxidants (Basel)*. 2023;13(1).
53. CAMELIZED CARBOHYDRATES IN DIABETES. *Journal of the American Medical Association*. 1924;82(2):128-.
54. Yoshida A, Kimura T, Tsunekawa K, Araki O, Ushiki K, Ishigaki H, et al. Glucomannan Inhibits Rice Gruel-Induced Increases in Plasma Glucose and Insulin Levels. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2020;76(4):259-67.
55. Sridonpai P, Komindr S, Kriengsinyos W. Impact of Isomaltulose and Sucrose Based Breakfasts on Postprandial Substrate Oxidation and Glycemic/Insulinemic Changes in Type-2 Diabetes Mellitus Subjects. *J Med Assoc Thai*. 2016;99(3):282-9.
56. Amin T, Mercer JG. Hunger and Satiety Mechanisms and Their Potential Exploitation in the Regulation of Food Intake. *Current Obesity Reports*. 2016;5(1):106-12.
57. Anderson GH, Woodend D. Consumption of sugars and the regulation of short-term satiety and food intake²³. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003;78(4):843S-9S.
58. Au-Yeung F, Jovanovski E, Jenkins AL, Zurbau A, Ho HVT, Vuksan V. The effects of gelled konjac glucomannan fibre on appetite and energy intake in healthy individuals: a randomised cross-over trial. *British Journal of Nutrition*. 2018;119(1):109-16.
59. Mills BM, Keesing CT, Haszard JJ, Venn BJ. The effect on satiety of ingesting isosweet and isoenergetic sucrose- and isomaltulose-sweetened beverages: a randomised crossover trial. *British Journal of Nutrition*. 2020;124(2):225-31.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ข. เอกสารใบรับรองจริยธรรม

สำเนา

ที่ IRB1-075/2567



เอกสารรับรองผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้พิจารณาโครงการวิจัย

รหัสโครงการวิจัย : HS033/2567
โครงการวิจัยเรื่อง : ผลของข้าวหลามผสมบุกและไอโซมอลทูลอส์ต่อการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดในอาสาสมัคร
รสุภาพดี
หัวหน้าโครงการวิจัย : นายหนูอุดม มณีสิงห์
หน่วยงานที่สังกัด : คณะสหเวชศาสตร์
ผู้ร่วมวิจัย : นางสาวรังสิมา ดรุณพันธ์
หน่วยงานที่สังกัด : คณะสหเวชศาสตร์
ผู้ร่วมวิจัย : นางสาวพุทธิดา คงอิติเลิศ
หน่วยงานที่สังกัด : คณะสหเวชศาสตร์
วิธีพิจารณา : Exemption Determination Expedited Reviews Full Board

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้พิจารณาแล้วเห็นว่า โครงการวิจัยดังกล่าวเป็นไปตามหลักการของจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โดยที่ผู้วิจัยเคารพสิทธิและศักดิ์ศรีในความเป็นมนุษย์ไม่มีการล่วงละเมิดสิทธิ สวัสดิภาพ และไม่ก่อให้เกิดภัยอันตรายแก่ตัวอย่างการวิจัยและผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยในขอบข่ายของโครงการวิจัยที่เสนอได้ (ดูตามเอกสารตรวจสอบ)

1. แบบเสนอเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ฉบับที่ 2 วันที่ 8 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2567
2. เอกสารโครงการวิจัยฉบับภาษาไทย ฉบับที่ 2 วันที่ 8 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2567
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ฉบับที่ 2 วันที่ 8 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2567
4. เอกสารแสดงความยินยอมของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ฉบับที่ 2 วันที่ 8 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2567
5. แบบเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น แบบบันทึกข้อมูล (Data Collection Form)
แบบสอบถาม หรือสัมภาษณ์ หรืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ฉบับที่ 1 วันที่ 22 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567
6. เอกสารอื่น ๆ
 - 6.1 คู่มือการใช้งาน InBody 270 ฉบับที่ 1 วันที่ 22 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567
 - 6.2 ประกาศเชิญชวนเข้าร่วมโครงการ ฉบับที่ 2 วันที่ 8 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2567

วันที่รับรอง : วันที่ 15 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2567

วันที่หมดอายุ : วันที่ 15 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2568

ภาคผนวก ค. ภาพการดำเนินโครงการวิจัย



ภาพการเตรียมวัสดุดิบข้าวหลามโดยผู้ช่วยวิจัย



ภาพวัตถุดิบข้าวหลามที่เตรียมไว้



ภาพการกรอกกะทิลงในกระบอกรับข้าวหลามโดยผู้ช่วยวิจัย



ภาพข้าวหลามที่เตรียมไว้สำหรับการเผาด้วยเตาแก๊ส



ภาพข้าวหลามที่เตรียมเผาด้วยเตาแก๊ส



ภาพการเผาข้าวหลามด้วยเตาแก๊ส



ภาพผลิตภัณฑ์ข้าวหลามที่ทดสอบเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกสูตรที่ใช้ในการศึกษา



ภาพการทดสอบความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของอาสาสมัคร



ภาพการเจาะเลือดอาสาสมัคร โดยทีมพยาบาลวิชาชีพ และการดูแลอาสาสมัครโดยผู้ช่วยวิจัย



ภาพการทดสอบระดับน้ำตาลในเลือดและระดับความหิวอึดของอาสาสมัครหลังการรับประทานข้าวหลาม
และการดูแลอาสาสมัครโดยผู้ช่วยวิจัย