

ผลของการใช้แป้งฟลาวร์จากถั่วมะแฮะ น้ำตาลไอโซมอลทูลูโลส และอินูลินเป็นสารทดแทนแป้งสาลี น้ำตาลและไขมันในผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้ก

IMPACT OF PIGEON PEA FLOUR, ISOMALTULOSE AND INULIN AS A SUBSTITUTE FOR WHEAT FLOUR, SUGAR AND FAT IN TOFFEE CAKE PRODUCTS

วรารณ์ ศรีเดช*, วิภาพร พลกลาง, ปภาวี ผู้มีธรรม, รชต เหลือจันทร์, ทองกร พลอยเพชร, ศิริพร บุตรสีโคตร

Waraporn Sorndech*, Wipaporn Ponklang, Papawee Pumetum, Rachata Lueachan, Thongkorn Ploypetchara, Siriporn Budseekhot

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมอาหารสุขภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

Expert Center of Innovative Health Food, Thailand Institute of Scientific and Technological Research.

*Corresponding author, e-mail: waraporn_s@tistr.or.th

Received: 16 August 2023; **Revised:** 8 January 2024; **Accepted:** 16 January 2024

บทคัดย่อ

ถั่วมะแฮะ (*Cajanus cajan*) เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีโปรตีนสูง ไขมันต่ำ และยังมีกรดอะมิโนหลายชนิดในปริมาณสูงกว่าถั่วเหลือง เพื่อให้เกิดประโยชน์จากการนำถั่วมะแฮะมาใช้ในการนำมาพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำแป้งฟลาวร์จากถั่วมะแฮะซึ่งมีโปรตีนสูงไปใช้ในผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพ โดยใช้ทดแทนแป้งสาลี รวมทั้งใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลูโลสและอินูลินเป็นสารทดแทนสารแทนน้ำตาลและไขมัน ตามลำดับ มีการวางแผนการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method, RSM) และออกแบบการทดลองชนิดบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดมาทำการทดลองต่อไป จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าทอฟฟี่เค้กสูตรที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮะ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก การทดแทนน้ำตาลด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลูโลส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก และทดแทนไขมันด้วยอินูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับสูงที่สุด เมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่เหมาะสมของสูตรทอฟฟี่เค้กที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสมากที่สุด พบว่าองค์ประกอบของสูตรทอฟฟี่เค้กที่เหมาะสม คือ แป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮะ ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก น้ำตาลไอโซมอลทูลูโลส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก และอินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ปริมาณแป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮะมีผลทำให้โพรงอากาศของทอฟฟี่เค้กมีการกระจายตัว และขนาดของรูพรุนที่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งฟลาวร์มากขึ้นจะทำให้ขนาดโพรงอากาศหรือรูพรุนของเนื้อเค้กเล็กลง แต่มีการกระจายตัวของโพรงอากาศเพิ่มมากขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของทอฟฟี่เค้ก พบว่ามีค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าความทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการโดยวิเคราะห์จากสูตรที่มีคะแนนความชอบเนื้อสัมผัส และการยอมรับสูงที่สุด ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟลาวร์ถั่วมะแฮะ ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก การทดแทนน้ำตาลด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลูโลส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก และทดแทนไขมันด้วยอินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก มีปริมาณโปรตีน 8.52 กรัม ต่อ 100 กรัม นอกจากนี้ยังมีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าสูตรควบคุม ร้อยละ 34 มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

12.63 กรัม ต่อ 100 กรัม ทอฟฟี่เค้กสูตรเพื่อสุขภาพที่มีส่วนผสมของแป้งพลาว์ถั่วมะแฮะที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

คำสำคัญ: ถั่วมะแฮะ; แป้งพลาว์โปรตีนสูง; ทอฟฟี่เค้ก; เบเกอรี่เพื่อสุขภาพ

Abstract

Pigeon pea (*Cajanus cajan*) is a legume that is high in protein, low in fat, and contains higher amounts of several amino acids as compared to soybeans. In order to utilize pigeon pea in a healthy diet, the purpose of this research was to apply high-protein flour from pigeon pea to a healthy toffee cake product by substituting wheat flour. Moreover, the healthy ingredients for sugar and fat substitutes were added by using isomaltulose and inulin. The response surface method (RSM) experiment was planned, and the Box-Behnken experiment was designed in order to select the appropriate recipes for further analysis. Sensory evaluation of all toffee cake recipes showed that the toffee cake recipe with 4.0% (w/w) pigeon pea flour, 5.2% (w/w) isomaltulose, and 0.2% (w/w) inulin was highly accepted by the panelists (100% consumer acceptance). In addition, the appropriate toffee cake recipe, which was determined by the sensory and textural liking score, found that the suitable components of the toffee cake formula were 6.0% (w/w) pigeon pea flour, 5.2% (w/w) isomaltulose, and 0.5% (w/w) inulin. For toffee cake appearance and microstructure, which were determined by SEM, an increase in pigeon pea flour tends to change air pocket distribution and size of the toffee cake texture. The texture characteristics of the healthy toffee cake recipes showed that the hardness, gumminess, and chewiness were increased as compared to the control. The appropriate toffee cake recipe, which was determined by the sensory textural liking score (6.0% (w/w) pigeon pea flour, 5.2% (w/w) isomaltulose, and 0.5% (w/w) inulin), was chosen for nutritional analysis. The results showed that it contained 8.52 grams of protein per 100 grams. It also contains 34% less sugar than the control recipe (the healthy toffee cake formula has a total sugar content of 12.63 grams per 100 g). Hence, the healthy toffee cake formula containing pigeon pea flour obtained from this research can be further developed for commercial distribution.

Keywords: Pigeon Pea; High Protein Flour; Toffee Cake; Healthy Bakery

บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เบเกอรี่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภควัยรุ่น และวัยทำงานจากพฤติกรรมผู้บริโภคในเมืองที่มีชีวิตที่รีบเร่งและต้องการความสะดวกสบายในการรับประทานอาหารว่าง โดยมีการคาดการณ์ว่าตลาดเบเกอรี่ในประเทศไทยจะยังคงขยายตัวเติบโตอย่างต่อเนื่องจากการฟื้นตัวของกิจกรรมทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ปัจจัยบวกที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมเบเกอรี่ประกอบด้วยปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ความสะดวกสบาย ตลาดเบเกอรี่มีโอกาสดีโตได้อีกมาก [1] จากพฤติกรรมของผู้บริโภคที่ต้องการความสะดวกสบายและต้องการอาหารพร้อมรับประทานมากขึ้น เบเกอรี่จึงเข้ามามีบทบาทในแง่ของการเป็นอาหารว่างรองท้องที่ผู้บริโภคสามารถซื้อรับประทาน และพกพาออกไปนอกบ้านได้บ่อยมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้บริโภคยังสนใจผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทางเลือกที่ดีต่อสุขภาพ ทำให้ผู้บริโภคมองหาเบเกอรี่ที่มีส่วนผสมที่ดีต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งในแง่ของความทันสมัยและกระแสความนิยมของสังคม ผู้บริโภคยังคงมองหาประสบการณ์ใหม่ในการบริโภคเบเกอรี่เพื่อนำเสนอในสื่อสังคมออนไลน์ให้รู้ว่าเป็นคนที่ได้ทดลองผลิตภัณฑ์ใหม่ก่อนใคร การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ทันสมัย

และมีเรื่องราวน่าสนใจจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ควรให้ความสนใจ [2] การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยนวัตกรรมของอุตสาหกรรมเบเกอรี่จึงมีความจำเป็นมากขึ้น เพื่อให้ได้เบเกอรี่ที่ตอบโจทย์ผู้บริโภคที่มีความต้องการที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ใหม่จะช่วยให้สามารถผลิตเบเกอรี่ที่มีความน่าสนใจ ตอบโจทย์ความต้องการที่เปลี่ยนไป รวมไปถึงการลดต้นทุนในระยะยาวได้ ผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ชนิดหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมมาก ประกอบไปด้วยแป้งสาลี เนย น้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก และยังเป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย ซึ่งอาหารที่ดีจะมาจากการใช้วัตถุดิบที่ดี ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาสูตรเบเกอรี่รวมทั้งผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพมากขึ้น จากงานวิจัยของ Zeng และคณะ (2023) ที่ได้ศึกษาผลของการใช้แป้งฟลาวร์จากเมล็ดเกาลัด ซึ่งมีใยอาหารสูงในการผลิตเป็นเค้กเนย พบว่าสามารถใช้แทนที่แป้งสาลีได้ถึงร้อยละ 50 และสามารถลดค่าดัชนีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ลงได้ [3] นอกจากนี้ด้วยกระแสอาหารจากพืช (Plant-Based Food) ที่กำลังมาแรง จึงได้มีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาสูตรขนมปังที่มีการใช้แป้งจากธัญพืช รวมทั้งแป้งจากถั่วเพื่อแทนที่แป้งสาลี เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่อย่างยั่งยืนอีกด้วย [4]

ถั่วมะแสะ (Pigeon Pea) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Cajanus cajan* เป็นพืชตระกูลถั่วธัญพืช ซึ่งส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่เขตร้อนและกึ่งเขตร้อนของเอเชีย แอฟริกา และละตินอเมริกา ในแอฟริกา มีการปลูกพืชเพื่อวัตถุประสงค์หลายประการ ได้แก่ ความมั่นคงทางอาหาร การสร้างรายได้ อาหารสัตว์ [5] และในประเทศไทยมีการเพาะปลูกทั่วทุกภาค ถั่วมะแสะมีศักยภาพสูงที่จะใช้เป็นอาหารแห่งอนาคต เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่ทดแทนถั่วเหลืองได้ มีปริมาณใยอาหาร 15 กรัม ไขมัน 1.49 กรัม และโปรตีน 22.7 กรัม อีกทั้งมีข้อดีคือ มีไขมันในปริมาณที่ต่ำกว่าถั่วเหลือง [5] นอกจากนี้ยังมียาคะมีโนหลายชนิดในปริมาณสูงกว่าถั่วเหลืองซึ่งกรดอะมิโน 3 ชนิดแรกที่มีปริมาณสูงประกอบด้วย เมไทโอนีน (Methionine) ช่วยย่อยสลายไขมัน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ลดระดับสารฮีสเตامينในเลือด ซิสทีน (Cystine) ช่วยป้องกันสารพิษจากทองแดงที่สะสมในไต สมอ และตา ช่วยขัดขวางและป้องกันร่างกายจากโลหะหนักที่เป็นอันตราย และกรดแอสพาทิก (Aspartic Acid) ช่วยส่งเสริมกระบวนการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นพลังงานภายในเซลล์ช่วยลดอาการอ่อนเพลียได้อีกด้วย [6] มีการศึกษาการนำแป้งจากถั่วมะแสะไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง โดยใช้แทนที่แป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 20 พบว่าขนมปังมีปริมาณโปรตีนและค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้แป้งสาลีเพียงชนิดเดียว อย่างไรก็ตามยังพบว่าปริมาณแป้งถั่วมะแสะที่ใส่ในขนมปังที่ผู้บริโภคยอมรับประทานจะอยู่ที่ร้อยละ 5-10 [7] นอกจากนี้ยังมีการนำแป้งถั่วมะแสะไปผสมกับแป้งมันฝรั่งหวานและแป้งสาลีในการผลิตเค้กอีกด้วย ซึ่งผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเค้กประกอบด้วยแป้งถั่วมะแสะต่อแป้งมันฝรั่งหวานต่อแป้งสาลี คือ 20:10:70 [8] ดังนั้นจากผลการวิจัยที่ผ่านมาทำให้พบว่า แป้งฟลาวร์จากถั่วมะแสะมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของทอฟฟี่เค้กที่ใช้ฟลาวร์ถั่วมะแสะทดแทนแป้งสาลีใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสและอินนูลิน ทดแทนน้ำตาลและไขมัน เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่นิยมรับประทานผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งฟลาวร์ถั่วมะแสะ

นำถั่วมะแสะผ่านการกะเทาะเปลือกแล้วจากสวนป่านะ Food Security 4.0 มาบดด้วยเครื่องบดผงละเอียด (รุ่น PG1500, ยี่ห้อ สปริง กรีน อีโวลูชัน) จากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรกร่อนขนาด 100 mesh เพื่อเตรียมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กต่อไป

2. การหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพ

ศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดยออกแบบการทดลองแบบ Box – Behken โดยใช้สูตรทอฟฟี่เค้กควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 1 กำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีการออกแบบส่วนผสมโดยหาอัตราส่วนของปริมาณ พลาวิคัวมะและที่ใช้แทนแป้งสาลี สารทดแทนน้ำตาลทรายโดยใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอส และการทดแทนไขมัน ด้วยอินูลิน ดังตารางที่ 2 โดยเตรียมผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เนื้อเค้ก ทำโดยการนำไข่แดง น้ำตาล และผงกาแฟผสมให้เข้ากันตีด้วยเครื่องผสมอาหารแบบมือถือ ใส่ส่วนผสมแห้งลงไป ได้แก่ แป้งเค้ก แป้งโฮลวีต เกลือ ผงฟู เบคกิ้งโซดา และผงโกโก้ ผสมให้เข้ากันจากนั้นพักไว้ในชามผสม ตีไข่ขาวและครีมออฟฟัททาร์ ตีจนตั้งยอด ผสมกับส่วนผสมของแป้ง เกล็ดในพิมพ์ที่เตรียมไว้แล้วอบในเตาอบไฟฟ้า (Modular Electric Ovens, Salva, Lezo, Spain) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที นำออกจากเตาอบและพักไว้บนตะแกรง ส่วนที่ 2 สำหรับหน้าทอฟฟี่เค้ก นำวิปปิ้งครีม น้ำมันรำข้าว ผงกาแฟ เกลือ น้ำตาลทรายแดง และแป้งเค้ก ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปตั้งไฟกลาง คนจนส่วนผสมมีลักษณะเป็นคาราเมล ใส่เม็ดมะม่วงหิมพานต์ คนให้เข้ากัน แล้วราดลงบนเค้กที่เตรียมไว้ อบในเตาอบไฟฟ้า (Modular Electric Ovens, Salva, Lezo, Spain) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที จากนั้นพักให้เย็นแล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่อไป

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของสูตรทอฟฟี่เค้กควบคุม

องค์ประกอบสูตรควบคุม	ปริมาณ (ร้อยละ)
ส่วนเนื้อเค้ก	
แป้งเค้ก	14.5
แป้งสาลีโฮลวีต	4.8
ผงฟู	0.2
เกลือ	0.1
เบคกิ้งโซดา	0.2
น้ำตาลทรายแดง	8.0
ผงโกโก้	2.6
ผงกาแฟ	2.6
นมจืด	25.6
ไข่แดง	11.9
ไข่ขาว	17.9
น้ำมันรำข้าว	11.2
ครีมออฟฟัททาร์	0.2
กลิ่นวานิลลา	0.2
มะและ	0.0

ตารางที่ 1 (ต่อ) องค์ประกอบของสูตรทอฟฟี่ควมคุม

องค์ประกอบสูตรควมคุม	ปริมาณ (ร้อยละ)
ไอโซมอลทูลอส	0.0
อินูลิน	0.0
รวมส่วนเนื้อเค้ก	100.0
ส่วนหน้าเค้ก	
นมจืด	38.1
น้ำมันรำข้าว	0.3
เกลือ	0.1
ผงกาแฟ	0.6
น้ำตาลทราย	35.8
แป้งเค้ก	3.6
เม็ดมะม่วงหิมพานต์	21.5
รวมส่วนหน้าเค้ก	100

การวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง และออกแบบการทดลองแบบ Box – Behken สำหรับ 3 ปัจจัย จำนวนทั้งสิ้น 15 การทดลอง โดยเป็นการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ผลการทดลองที่ได้จากปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยจะถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความเหมาะสมของภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลอง โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ แสดงดังสมการที่ 1

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^n \beta_{ij} X_i X_j \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ β_0 , β_i , β_{ii} , β_{ij} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ X_i คือ ตัวแปรอิสระซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษาในการพัฒนาสูตรทอฟฟี่เค้ก ประกอบด้วยปริมาณแป้งฟลาวาร์ถั่วมะแะ (X_1) ปริมาณอินูลิน (X_2) และปริมาณน้ำตาลไอโซมอลทูลอส (X_3) โดยกำหนดค่าของตัวแปรต้น ดังนี้ X_1 มีค่าร้อยละ 4, 6 และ 8 ตามลำดับ X_2 มีค่าร้อยละ 0.2, 0.5 และ 0.8 ตามลำดับ และ X_3 มีค่าร้อยละ 4.0, 5.2 และ 6.4 ตามลำดับ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ได้ทำการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาสูตรมาก่อนแล้ว และตัวแปรตาม (Y) ที่ต้องการศึกษา คือ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบเนื้อสัมผัส

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้นในการหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพ

ปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้น	รหัส	ระดับของปัจจัย (ร้อยละ)		
		-1	0	+1
แป้งฟลาวาร์ถั่วมะแะ	X_1	4	6	8
อินูลิน	X_2	0.2	0.5	0.8
น้ำตาลไอโซมอลทูลอส	X_3	4.0	5.2	6.4

หมายเหตุ: X_1 คือ แบงก์ฟลาวร์ถั่วมะแะ, X_2 อินูลิน, X_3 น้ำตาลไอโซมอลทูลอส, -1 คือ ค่าต่ำสุดของฟลาวร์ถั่วมะแะอินูลิน และน้ำตาลไอโซมอลทูลอส, 0 คือ ค่ากลางของฟลาวร์ถั่วมะแะอินูลิน และน้ำตาลไอโซมอลทูลอส, 1 คือ ค่าสูงสุดของฟลาวร์ถั่วมะแะอินูลิน และน้ำตาลไอโซมอลทูลอส

3. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) วางแผนการทดลองโดยประเมินการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน 30 คน ซึ่งเป็นพนักงานและลูกจ้างจากศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมอาหารสุขภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS Statistical 17.0 แล้วนำความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มาเปรียบเทียบความชอบของทอฟฟี่เค้กถั่วมะแะทั้ง 15 สูตร และเลือกตัวอย่าง 6 ตัวอย่างที่มีคะแนนการยอมรับมากกว่าร้อยละ 90 เพื่อศึกษาในขั้นตอนถัดไป

4. การวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของส่วนเนื้อทอฟฟี่เค้กด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (Field Emission Scanning Electron Microscopy; FE-SEM) (JSM 7800F, JEOL LTD., USA) ที่กำลังขยาย 1,000, 6,000 และ 30,000 เท่า เตรียมตัวอย่างใช้ไบมัดโกนเนียนเนื้อเค้กให้มีขนาด $1 \times 1 \times 0.2$ เซนติเมตร จากนั้นติดกาบสองหน้าลงบนด้านหนึ่งของ Stub ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร วางตัวอย่างลงบน Stub แล้วฉาบทองด้วยเครื่อง Sputter Coater (JEOL Smart Coater, JEOL LTD., USA)

5. การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของทอฟฟี่เค้กโดยใช้เนื้อเค้ก เตรียมตัวอย่างขนาด 3×3 ซม. แล้ววัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Stable Micro Systems Texture Analyzer TA-XT plus, UK) หัววัดขนาด P/100 โดยจะวัดค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความสามารถเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) ค่าความเหนียวเป็นยางหรือกาว (Gumminess) และค่าการทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) วัดทั้งหมด 5 ซ้ำ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS Statistical 17.0 รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน

6. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

6.1 ค่าพลังงาน วิเคราะห์ค่าพลังงานหรือปริมาณแคลอรีโดยใช้เครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter, Parr Instrument Company, USA) โดยเตรียมตัวอย่างน้ำหนัก 1 กรัม และบดให้เป็นชิ้นเล็ก จากนั้นนำตัวอย่างอาหารใส่ลงในเครื่องวัด และทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานของตัวอย่าง

6.2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด วิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด โดยวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงตามวิธีการของ Dubois et al. (1956) [9] ชั่งตัวอย่าง 2 มิลลิกรัม เติมน้ำละลาย ร้อยละ 5 ฟีนอล 1 มิลลิกรัม ลงในหลอดทดลองเขย่าให้สารละลายเข้ากัน จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5 มิลลิกรัม ลงในหลอดทดลองอย่างรวดเร็วยกตัวอย่างให้สารละลายเข้ากันปิดฝาหลอดทดลองวางไว้ที่อุณหภูมิห้องในตู้ดูดควัน 30 นาที โดยทำการเขย่าทุก ๆ 10 นาที เมื่อครบเวลานำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์บันทึกข้อมูลและนำมาคำนวณตามสมการในกราฟมาตรฐานกลูโคส

6.3 ปริมาณโปรตีน วิเคราะห์ตามวิธีการ AOAC (2019) [10] ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม ที่บดละเอียดแล้วและใส่ตัวอย่างลงในกระดาศกรอง และนำไปใส่หลอดย่อยขนาด 250 มิลลิกรัม วางหลอดกลั่นในตู้ดูดควันและเติมตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นเติม H_2S ปลอຍให้ปฏิกิริยายุติลง และวางหลอดกลั่นในเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 410 องศาเซลเซียส เครื่องย่อยต้องอยู่ในตู้ดูดควัน ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 45 นาที จากนั้นนำหลอดออกและปล่อยให้เย็น

10 นาที กลั่นด้วยไอน้ำจนถึง 100-125 มิลลิลิตร (สารละลายที่ดูดซับจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวจาก NH_3 ที่ปลดปล่อย) ถอดท่อย่อยและขวดรับออกจากเครื่อง ทำการไทเทรตด้วย 0.2 N HCl ให้ถึงจุดยุติและบันทึกปริมาตรกรดที่ใช้ จากนั้นคำนวณหาปริมาณโปรตีน

6.4 ปริมาณไขมันทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดโดยวิธี AOAC (2019) [10] โดยชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมหีทิลแอลกอฮอล์ 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก 10 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน และปิดด้วยกระจกนาฬิกา บ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-40 นาที เมื่อครบเวลาทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วเทส่วนผสมสารละลายลงใน Mojonnier Tube ล้างด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติมหีทิลแอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตร โดยล้างสารละลายในบีกเกอร์ลงใน Mojonnier Tube ล้างบีกเกอร์ด้วยไดเอทิลอีเทอร์ 25 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายลงใน Mojonnier Tube ปิดจุกเขย่าเบา ๆ 1 นาที ล้างบีกเกอร์ซ้ำด้วยไดเอทิลอีเทอร์ อีก 1 รอบ ถ่ายสารละลายลงใน Mojonnier Tube ปิดจุกเขย่าแรง ๆ 1 นาที จากนั้นทำให้สารละลายแยกชั้น โดยปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เก็บสารละลายส่วนใสในขวดแก้วกันแบน ขนาด 15 มิลลิลิตร นำไประเหยให้แห้ง อบขวดแก้วที่มีไขมันในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ ประมาณ 1-2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก (w_1) จากนั้นล้างไขมันในขวดแก้ว ออกโดยปิโตรเลียมอีเทอร์ 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วนำขวดแก้วไปอบให้แห้งและทำให้เย็นในตู้ดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก (w_2) และคำนวณผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักของไขมัน

6.5 ความชื้น วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อนตามวิธีของ AOAC (2019) [10] โดยนำตัวอย่าง ไปชั่งน้ำหนักก่อนอบ แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักหลังอบ โดยทำการอบ จนน้ำหนักนิ่ง จึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้น

6.6 เถ้า วิเคราะห์โดยชั่งตัวอย่าง 5-10 กรัม ลงในถ้วย จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้ปิดเตาเผา รอจนกว่าอุณหภูมิจะลดลง เหลือ 250 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างออกจากเตาเอาใส่ในโถดูดความชื้น และปล่อยให้ตัวอย่างเย็นลง ก่อนชั่งน้ำหนัก บันทึกข้อมูล และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเถ้า

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดยออกแบบ การทดลองแบบ Box – Behken จากนั้นคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS version 17

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค็กเพื่อสุขภาพโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง และออกแบบการทดลองแบบ Box – Behken

การเปลี่ยนแปลงคะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัส ศึกษาโดยการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 9-point Hedonic Scale ซึ่งเป็นการวัดความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อสูตรทอฟฟี่เค็กที่มีการแทนที่แป้งสาลี ด้วยฟลาวร์ถั่วมะพร้าว รวมทั้งมีการใช้อินูลิน และน้ำตาลไอโซมอลทูลอสในสูตรผลิตภัณฑ์เพื่อแทนที่ไขมันและน้ำตาลทรายแดงแสดงในตารางที่ 3 โดยการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behken เป็นการออกแบบการทดลองที่มี 3 ระดับ คือ สูง กลาง และต่ำ คล้ายกับการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับศึกษาปัจจัยตั้งแต่ 2 ระดับ ที่มีการกำหนดตำแหน่งค่ากลาง แต่จะไม่มีมีการทดลองที่ตำแหน่งมุม ดังนั้นเมื่อออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัย 3 ระดับ ในการทดลองนี้ จึงทำให้องค์ประกอบของสูตรที่ 13-15 มีปริมาณเท่ากัน ผลการทดลองที่แสดงในตาราง ของสูตรที่ 13-15 จึงเป็นการรายงานผลค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อลดความแปรปรวนของผลการประเมิน

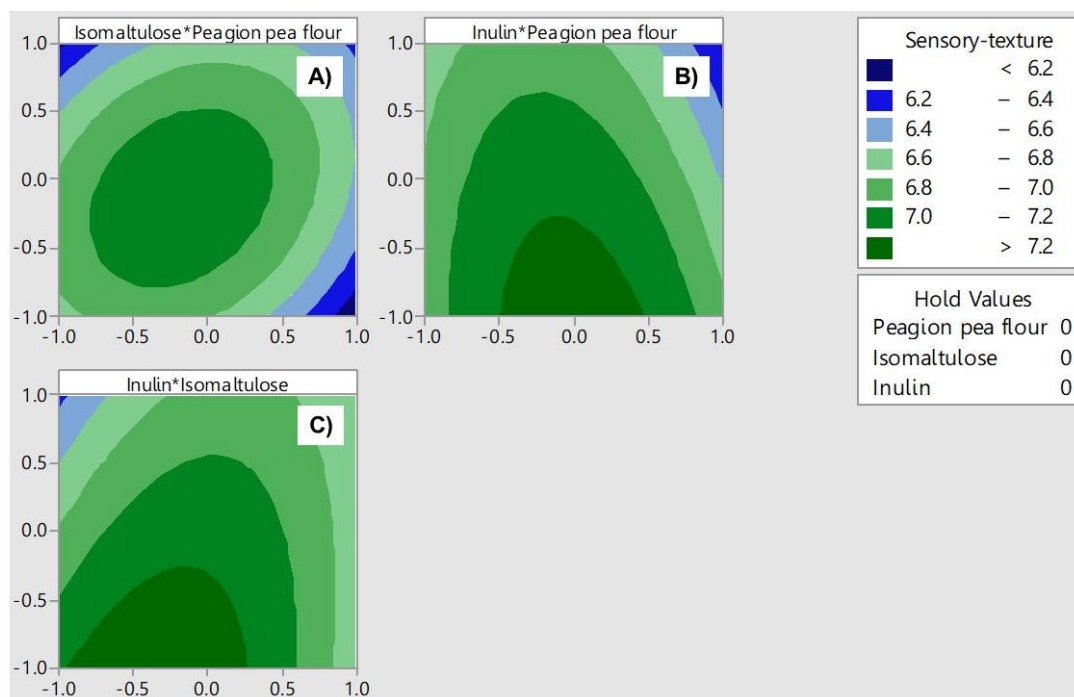
ทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนมาก่อน ผลการทดลองพบว่า คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสของทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 5.93-7.14 ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยสูตรที่มีคะแนนความชอบสูงที่สุดคือสูตรที่มีการใช้แป้งฟลาวัวร์ถั่วมะแฮะทดแทนแป้งสาลีปริมาณร้อยละ 6.0-8.0 (สูตรที่ 6, 9 และ 13) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการยอมรับสูตรผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดในช่วงร้อยละ 93-100 ของจำนวนผู้ทดสอบชิม

ตารางที่ 3 ความชอบเนื้อสัมผัสและการยอมรับของทอฟฟี่เค้กที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behken

สูตรที่	ระดับปัจจัยการทดลอง จาก Box-Behnken			ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			คะแนน ความชอบ เนื้อสัมผัส	คะแนน ความชอบ โดยรวม	ร้อยละ การ ยอมรับ
	X ₁	X ₂	X ₃	ฟลาวัวร์ถั่ว	อินูลิน	ไอโซมอล	hedonic	hedonic	
				มะแฮะ (X ₁)	(X ₂)	ทูโลส (X ₃)	scale) ^{ns} (Y)	scale) ^{ns}	
1	-1	-1	0	4.0	0.5	4.0	6.86±1.21	7.20±1.21	100
2	1	-1	0	8.0	0.5	4.0	5.93±1.39	6.33±1.29	73
3	-1	1	0	4.0	0.5	6.4	6.26±1.16	7.26±1.13	87
4	1	1	0	8.0	0.5	6.4	6.21±2.04	6.42±1.99	93
5	-1	0	-1	4.0	0.2	5.2	6.92±1.76	7.07±1.54	100
6	1	0	-1	8.0	0.2	5.2	7.14±1.83	7.35±1.94	100
7	-1	0	1	4.0	0.8	5.2	6.38±1.79	6.76±1.74	92
8	1	0	1	8.0	0.8	5.2	6.15±1.72	6.38±1.50	100
9	0	-1	-1	6.0	0.2	4.0	7.00±2.01	7.30±1.87	100
10	0	1	-1	6.0	0.2	6.4	6.50±1.74	6.15±2.01	71
11	0	-1	1	6.0	0.8	4.0	6.50±1.79	7.07±1.63	86
12	0	1	1	6.0	0.8	6.4	6.78±2.03	6.92±1.76	93
13	0	0	0	6.0	0.5	5.2	7.14±1.97	7.21±1.89	93
14	0	0	0	6.0	0.5	5.2	7.14±1.97	7.21±1.89	93
15	0	0	0	6.0	0.5	5.2	7.14±1.97	7.21±1.89	93

หมายเหตุ: ns คือ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, X₁ คือ แป้งฟลาวัวร์ถั่วมะแฮะ, X₂ คือ อินูลิน, X₃ คือ น้ำตาลไอโซมอลทูลอส

เมื่อพิจารณาการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้น คือ แป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮ อินูลิน และน้ำตาลไอโซมอลทูโลส และตัวแปรตาม คือ คะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสดังแสดงในภาพที่ 1 โดยภาพที่ 1 A) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลไอโซมอลทูโลส และฟลาวร์ถั่วมะแฮ ผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้น้ำตาลไอโซมอลทูโลส และฟลาวร์ถั่วมะแฮในสูตรทอฟฟี่เค้กที่อยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5 มีผลทำให้คะแนนความชอบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสมีค่าคะแนนสูงที่สุด โดยมีคะแนนความชอบ 7.2 คะแนน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความชอบปานกลาง สัมพันธ์กับปริมาณฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 5.0 - 7.0 โดยน้ำหนัก และปริมาณน้ำตาลไอโซมอลทูโลส ร้อยละ 4.6 - 5.8 โดยน้ำหนัก จากภาพที่ 1 B) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินูลินและฟลาวร์ถั่วมะแฮ พบว่าการใช้อินูลินช่วง -1.0 ถึง -0.25 (คิดเป็นปริมาณอินูลิน ร้อยละ 0.2 - 0.275 โดยน้ำหนัก) และฟลาวร์ถั่วมะแฮในสูตรทอฟฟี่เค้กที่อยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5 (คิดเป็นปริมาณฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 5.0 - 7.0 โดยน้ำหนัก) มีผลทำให้คะแนนความชอบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสมีค่าคะแนนสูงที่สุด โดยมีค่าคะแนนมากกว่า 7.2 อยู่ในเกณฑ์คะแนนความชอบปานกลาง และจากภาพที่ 1 C) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินูลินและน้ำตาลไอโซมอลทูโลส พบว่าการใช้อินูลินช่วง -1.0 ถึง 0.25 (คิดเป็นปริมาณอินูลิน ร้อยละ 0.2 - 0.275 โดยน้ำหนัก) และน้ำตาลไอโซมอลทูโลสช่วง -1.0 ถึง 0.25 (คิดเป็นปริมาณไอโซมอลทูโลส ร้อยละ 4.0 - 5.5 โดยน้ำหนัก) มีผลทำให้คะแนนความชอบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสมีค่าคะแนนมากกว่า 7.2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คะแนนความชอบปานกลาง ดังนั้นปริมาณปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ส่งผลให้มีคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสทอฟฟี่เค้กสูงที่สุด คือ ปริมาณฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 5.0 - 7.0 โดยน้ำหนัก, ปริมาณอินูลิน ร้อยละ 0.2 - 0.275 โดยน้ำหนัก และปริมาณไอโซมอลทูโลส ร้อยละ 4.0 - 5.5 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 1 แผนภาพคอนทัวร์ของการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้น คือ แป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮ อินูลิน และน้ำตาลไอโซมอลทูโลส และตัวแปรตาม คือ คะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัส โดย

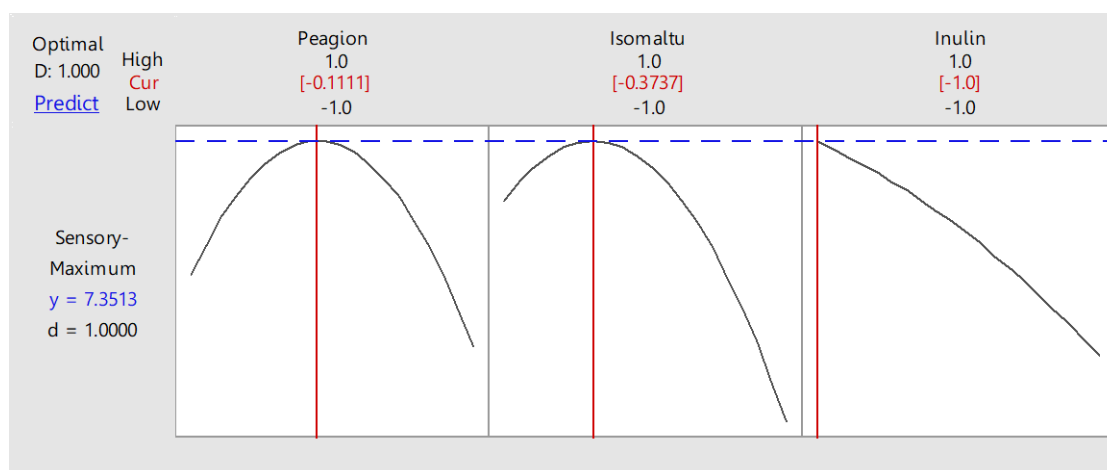
A) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลไอโซมอลทูโลส และฟลาวร์ถั่วมะแฮ

B) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินูลินและฟลาวร์ถั่วมะแฮ

C) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินูลินและน้ำตาลไอโซมอลทูโลส

เมื่อวิเคราะห์ผล Response Surface Regression พบว่า 2-Way Interaction หรือผลของคู่ตัวแปรแต่ละคู่ต่อเนื้อสัมผัส มีค่า P-Value ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มากกว่า 0.05 นั่นคือสมการของปัจจัยนั้นไม่ส่งผลต่อพื้นผิวผลตอบสนอง กล่าวคืออิทธิพลของแต่ละตัวแปรนั้นเป็นอิสระต่อกัน จากผลการทดลองพบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวของค่าความผิดพลาดเป็นการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability Plot) รวมทั้งยังมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาด (Versus Fit) สม่่าเสมอกัน และลักษณะของแผนภูมิควบคุม (Versus Order) มีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นข้อมูลชุดนี้จึงมีความน่าเชื่อถือเมื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการรีเกรสชันขององค์ประกอบทอฟฟี่เค้ก โดยสมการรีเกรสชันขององค์ประกอบทอฟฟี่เค้กที่เหมาะสมคือ $Y = 7.140 - 0.1238 X_1 - 0.0675 X_3 - 0.2187 X_2 - 0.436 X_1^2 - 0.389 X_3^2 - 0.056 X_2^2 + 0.220 X_1 X_3 - 0.112 X_1 X_2 + 0.195 X_3 X_2$

จากภาพที่ 2 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่เหมาะสมของสูตรทอฟฟี่เค้กที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้คะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสมากที่สุดดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าองค์ประกอบของสูตรทอฟฟี่เค้กที่เหมาะสมคือ คือ ฟลาวร์ถั่วมะแะ (cur = -0.1111) คือ ร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส (cur = -0.3737) คือ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และอินูลิน (cur = -1.0) คือ ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก

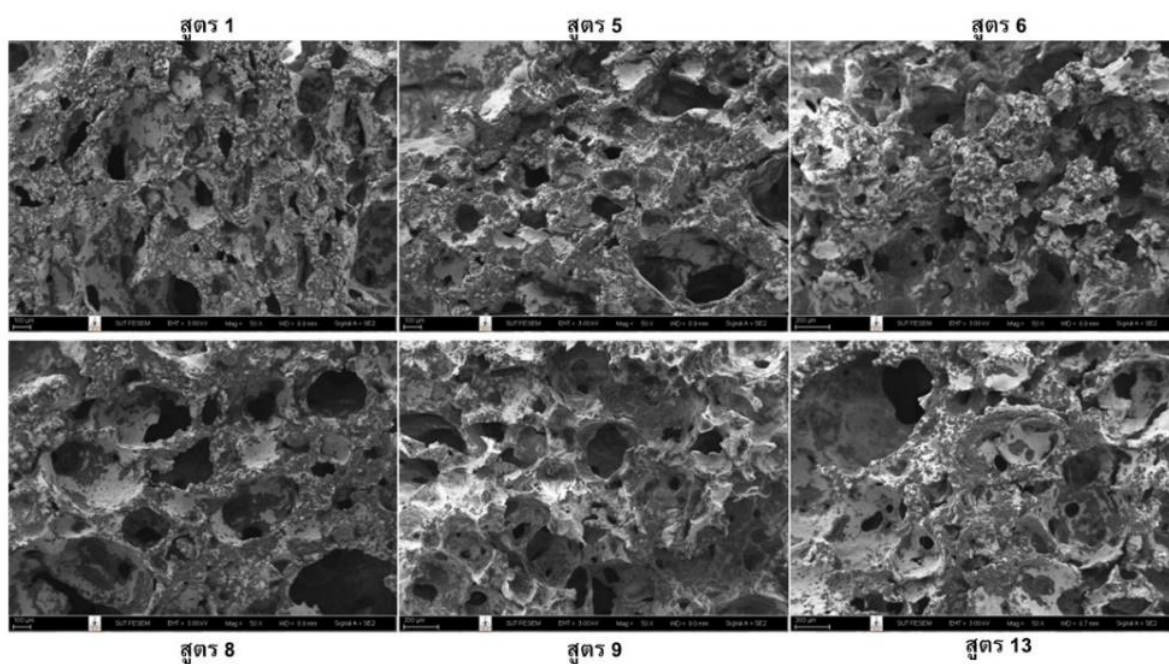


ภาพที่ 2 ค่าความเหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้นที่ตอบสนองต่อคะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัส

2. ลักษณะปรากฏและโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพ

จากการศึกษาสูตรที่เหมาะสมของการผลิตผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพโดยวิธีการใช้พื้นที่ผิวตอบสนอง ทำให้ได้สูตรที่ได้รับร้อยละการยอมรับมากที่สุด (ตารางที่ 3) ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาศึกษาเชิงลึกต่อ ประกอบด้วย สูตรที่ 1, 5, 6, 8, 9 และ 13 โดยภาพที่ 3 แสดงลักษณะปรากฏและโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพของผลิตภัณฑ์ตามสูตรดังกล่าว ผลการทดลองพบว่า ทอฟฟี่เค้กสูตรที่ 8 (ฟลาวร์ถั่วมะแะ ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) และสูตรที่ 13 (ฟลาวร์ถั่วมะแะ ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) มีขนาดของรูพรุนและจำนวนการกระจายตัวของรูพรุนมากกว่าสูตรอื่น ๆ สัมพันธ์กับปริมาณฟลาวร์ถั่วมะแะและอินูลินที่ใช้ปริมาณมากกว่าสูตรอื่น ในขณะที่สูตรอื่น ๆ มีความแน่นเนื้อมากกว่า ทั้งนี้เกิดจากเมื่อมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยฟลาวร์จากถั่วมะแะจะทำให้เนื้อทอฟฟี่เค้กมีปริมาณโปรตีนกลูเตนที่ลดลง โดยกลูเตนเป็นไกลโคโปรตีนที่พบในข้าวสาลี เกิดจากการรวมตัวของโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) โดยมีการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ทำให้กลูเตนมีลักษณะเหนียว และยืดหยุ่น เพิ่มการเกาะตัวกันของโครงสร้างขนมอบ

ต่าง ๆ เช่น ขนมอบัง เค้ก ได้ดีขึ้น ดังนั้นเมื่อปริมาณกลูเตนลดลงจึงทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของทอฟฟี่เค้กเกิดรูพรุนขนาดใหญ่ และมีจำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Olanipekun และคณะ (2018) [7] ที่ได้นำแป้งฟลาวร์จากถั่วมะแฮมาแทนที่แป้งสาลี ผลการทดลองพบว่า ปริมาตรของขนมอบังลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮ ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดโพรงอากาศที่ลดลงทำให้เนื้อขนมอบังแน่นมากขึ้น ดังนั้นการใช้ปริมาณแป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮปริมาณสูงจะมีผลให้ปริมาตรของเนื้อเค้กแน่นมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้การใช้ปริมาณน้ำตาลไอโซมอลทูลอสที่สูงขึ้นก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ขนาดและการกระจายตัวของโพรงอากาศในเนื้อทอฟฟี่เค้กมีมากขึ้น (สูตรที่ 5, 8 และ 13) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kweon et al. (2016) [11] ที่ได้ศึกษาผลของการใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสแทนที่น้ำตาลทรายในผลิตภัณฑ์เค้ก ผลการทดลองพบว่า การใช้น้ำตาลทรายซึ่งละลายได้เร็วจะทำให้โครงสร้างเค้กยุบตัวลงมากกว่าปกติ ในขณะที่น้ำตาลไอโซมอลทูลอสมีความสามารถในการละลายน้อยกว่าน้ำตาลทราย ดังนั้นจึงส่งผลให้โครงสร้างเค้กไม่ยุบตัวแต่จะทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดใหญ่ได้



ภาพที่ 3 ภาพโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของทอฟฟี่เค้กถั่วมะแฮสูตรที่ 1 (ฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก) ทอฟฟี่เค้กถั่วมะแฮสูตรที่ 5 (ฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) ทอฟฟี่เค้กถั่วมะแฮสูตรที่ 6 (ฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) ทอฟฟี่เค้กถั่วมะแฮสูตรที่ 8 (ฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) ทอฟฟี่เค้กถั่วมะแฮสูตรที่ 9 (ฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก) และทอฟฟี่เค้กถั่วมะแฮสูตรที่ 13 (ฟลาวร์ถั่วมะแฮ ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก)

3. เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพ

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กถั่วมะแะที่มีการทดแทนแป้งสาลีเนกประสงค์ ด้วยแป้งฟลวาร์ถั่วมะแะ ทดแทนน้ำตาลทรายด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลอส และทดแทนไขมันด้วย อินูลินมีผลต่อ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าสูตรทอฟฟี่เค้กที่มีการใช้ฟลวาร์ถั่วมะแะมีค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยืดติด และค่าความต้านทานการเคี้ยวสูงกว่าสูตรควบคุม โดยทอฟฟี่เค้กสูตรที่ 8 (ฟลวาร์ถั่วมะแะ ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) และสูตรที่ 13 (ฟลวาร์ถั่วมะแะ ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) มีค่าความแข็ง และค่าความเหนียวยืดติดไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับลักษณะขนาดรูพรุนที่ใหญ่และมีการกระจายตัวของ รูพรุนมากกว่าสูตรอื่น ๆ สัมพันธ์กับปริมาณ ฟลวาร์ถั่วมะแะและอินูลินที่ใช้ในปริมาณมากกว่าสูตรอื่น เมื่อพิจารณา ทอฟฟี่เค้กถั่วมะแะสูตรที่ 1 ที่มีทดแทนแป้งสาลี ฟลวาร์ถั่วมะแะ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก, และน้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก พบมีค่าความแข็งเท่ากับ 4,945.29 กรัม ค่าความเหนียวยืดติด 2,489.04 กรัม และความต้านทานการเคี้ยว 2,105.57 มิลลิจูล ซึ่งมีความมากกว่าสูตรอื่น ๆ แต่มีค่า การยืดเกาะ (0.50) ต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบของสูตรส่วนผสมทำให้โครงสร้างมีความแน่น และแข็งกว่าสูตรอื่น ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้สัมพันธ์กับขนาดและการกระจายตัวของโพรงอากาศในเนื้อเค้กที่มีขนาดรู พรุนเล็กและเนื้อแน่นที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าการยืดเกาะ (Cohesiveness) พบว่า ทุกสูตรมีค่าน้อยกว่าสูตรควบคุม ค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าความต้านทานการเคี้ยว (Chewiness) ของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กถั่วมะแะทุกสูตรสูงกว่าสูตรควบคุม แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กที่มีการใช้ แป้งฟลวาร์จากถั่วมะแะมีลักษณะหนึบและมีความต้านทานต่อการเคี้ยวมากกว่าการใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเกิดจากสตาร์ชจากถั่วมะแะมีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 29.15 [12] ซึ่งสูงกว่าปริมาณอะไมโลส จากสตาร์ชข้าวสาลีที่มีปริมาณเพียงร้อยละ 21.5% [13] ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของเนื้อเค้กมีค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าความต้านทานการเคี้ยว (Chewiness) สูงขึ้นเนื่องจากปริมาณอะไมโลสที่สูงสามารถทำให้เกิด กระบวนการคืนตัว (Retrogradation) ได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ นอกจากนี้ชนิดและปริมาณโปรตีน ของฟลวาร์ถั่วมะแะจะมีองค์ประกอบของโปรตีนอัลบูมิน (Albumin) ร้อยละ 15-27 โปรตีนโกลบูลิน (Globulins) ร้อยละ 50-72, โปรตีนโพรลามีน (Prolamin) 0.2-3.0 และโปรตีนกลูเตลิน (Glutelin) ร้อยละ 5-23 [14] ซึ่งจะส่งผลให้ เนื้อเค้กมีค่าการยืดเกาะ (Cohesiveness) ที่ลดลงเนื่องจากโปรตีนเหล่านี้ไม่มีคุณสมบัติเหมือนโปรตีนกลูเตนที่มีความ ยืดเกาะดีกว่าโปรตีนชนิดอื่น

ตารางที่ 4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กจากฟลวาร์ถั่วมะแะ

สูตรที่	ลักษณะเนื้อสัมผัส			
	ความแข็ง (Hardness, กรัม)	การยืดเกาะ (Cohesiveness)	ความเหนียวยืดติด (Gumminess, กรัม)	ความต้านทานการเคี้ยว (Chewiness, มิลลิจูล)
ควบคุม	876.16 ± 60.59 ^a	0.72 ± 0.03 ^e	631.28 ± 59.98 ^a	582.48 ± 61.54 ^a
1	4,945.29 ± 294.79 ^e	0.50 ± 0.03 ^a	2,489.04 ± 27.14 ^e	2,105.57 ± 53.89 ^f
5	3,036.74 ± 286.54 ^c	0.57 ± 0.03 ^{de}	1,739.49 ± 123.17 ^c	1,508.87 ± 101.86 ^c
6	3,921.94 ± 176.35 ^d	0.52 ± 0.01 ^{ab}	2,077.46 ± 106.02 ^d	1,827.91 ± 87.05 ^d
8	3,147.59 ± 259.44 ^c	0.56 ± 0.00 ^{cd}	1,761.13 ± 140.72 ^c	1,605.24 ± 51.81 ^{cd}
9	2,224.93 ± 280.03 ^b	0.53 ± 0.01 ^{abc}	1,183.76 ± 152.42 ^b	1,023.58 ± 121.93 ^b
13	3,139.06 ± 173.87 ^c	0.61 ± 0.03 ^d	1,923.01 ± 58.28 ^{cd}	1,680.60 ± 36.87 ^d

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก (a-c) ที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงถึงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีสูตรส่วนผสมดังนี้ ทอฟฟี่เค้กกัวมะแะสูตรที่ 1 (ฟลาวร์กัวมะแะ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก) ทอฟฟี่เค้กกัวมะแะสูตรที่ 5 (ฟลาวร์กัวมะแะ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอ ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) ทอฟฟี่เค้กกัวมะแะสูตรที่ 6 (ฟลาวร์กัวมะแะ ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอ ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) ทอฟฟี่เค้กกัวมะแะสูตรที่ 8 (ฟลาวร์กัวมะแะ ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอ ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) ทอฟฟี่เค้กกัวมะแะสูตรที่ 9 (ฟลาวร์กัวมะแะ ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก) และทอฟฟี่เค้กกัวมะแะสูตรที่ 13 (ฟลาวร์กัวมะแะ ร้อยละ 6.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอ ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก)

4. คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพ

เมื่อทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการโดยคัดเลือกสูตรที่ 5 (ฟลาวร์กัวมะแะ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก, อินูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก, น้ำตาลไอโซมอลทูลอ ร้อยละ 5.2 โดยน้ำหนัก) ซึ่งเป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.07 คะแนนจากคะแนนเต็ม 9 คะแนน) พบว่าปริมาณแคลอรีมีค่า 333.27 กิโลแคลอรี/100 กรัม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุม มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 35.85 กรัม/100 กรัม โปรตีนทั้งหมด 8.52 กรัม/100 กรัม ไขมันทั้งหมด 17.31 กรัม/100 กรัม ความชื้น 36.70 กรัม/100 กรัม เถ้า 1.62 กรัม/100 กรัม โยอาหารทั้งหมด 2.09 กรัม/100 กรัม อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาล พบว่าทอฟฟี่เค้กเพื่อสุขภาพมีปริมาณน้ำตาลลดลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม โดยมีปริมาณ 12.63 กรัม/100 กรัม ในขณะที่ทอฟฟี่เค้กสูตรควบคุมมีปริมาณ 19.13 กรัม/100 กรัม ซึ่งสามารถลดน้ำตาลลงจากสูตรควบคุมได้ถึงร้อยละ 34 เนื่องจากการทดแทนน้ำตาลด้วยน้ำตาลไอโซมอลทูลอ ที่มีโครงสร้างคล้ายกับน้ำตาลทรายมากที่สุด แตกต่างตรงที่ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดแอลฟา-1,6 (α -1,6 Glycosidic Bond) มีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 38 จึงถูกจัดเป็นอาหารที่อยู่ในกลุ่มดัชนีน้ำตาลต่ำ ส่งผลให้ร่างกายใช้เวลาย่อยและดูดซึมนานกว่าน้ำตาลทรายถึง 4 เท่า และมีรสชาติหวานน้อยกว่าน้ำตาลทรายครึ่งหนึ่ง ดังที่แสดงในตารางที่ 5 ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Olatunde และคณะ (2019) [8] ที่ได้นำแป้งฟลาวร์จากกัวมะแะมาแทนที่แป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง ผลการทดลองพบว่า การใช้แป้งฟลาวร์กัวมะแะสามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนในขนมปังให้สูงขึ้นได้ ดังนั้นการใช้แป้งฟลาวร์จากกัวมะแะจึงเป็นทางเลือกที่ดีของการพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพที่มีโปรตีนสูงและต้นทุนต่ำได้

ตารางที่ 5 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กจากฟลาวร์กัวมะแะเพื่อสุขภาพ

องค์ประกอบทางเคมี	สูตรผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้ก	
	สูตรควบคุม	สูตรฟลาวร์กัวมะแะ
ค่าพลังงาน (กิโลแคลอรี/100 กรัม)	346.34	333.27
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	36.29	35.85
โปรตีน (ร้อยละของ Nx6.25, กรัม/100 กรัม)	8.22	8.52
ไขมันทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	18.70	17.31
ความชื้น (กรัม/100 กรัม)	35.41	36.70
เถ้า (กรัม/100 กรัม)	1.38	1.62

ตารางที่ 5 (ต่อ) คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้กจากฟลาวร์ถั่วมะแฮะเพื่อสุขภาพ

องค์ประกอบทางเคมี	สูตรผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้ก	
	สูตรควบคุม	สูตรฟลาวร์ถั่วมะแฮะ
ใยอาหารทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	2.07	2.09
น้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100 กรัม)	19.13	12.63

สรุปและอภิปรายผล

การพัฒนาการใช้แป้งชนิดฟลาวร์โปรตีนสูงจากถั่วมะแฮะเพื่อทดแทนแป้งสาลี และใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสและอินนูลิน ทดแทนน้ำตาลและไขมันในผลิตภัณฑ์ทอฟฟี่เค้ก โดยใช้วิธีการทดลองแบบพื้นที่ผิวผลตอบสนองแบบ Box-Behken พบว่าเมื่อใช้เกณฑ์คะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสมากำหนดการสร้างสมการจะได้ องค์ประกอบของสูตรทอฟฟี่เค้กที่เหมาะสม คือ แป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮะ ร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก น้ำตาลไอโซมอลทูลอส ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และอินนูลิน ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก และคัดเลือกสูตรทอฟฟี่เค้กที่ได้รับร้อยละการยอมรับมากที่สุดมาศึกษาเชิงลึกต่อไป ผลการทดลองพบว่า ทอฟฟี่เค้กสูตรที่ 5 (แป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮะ ร้อยละ 4.0 โดยน้ำหนัก) และสูตรที่ 8 (แป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮะ ร้อยละ 8.0 โดยน้ำหนัก) มีจำนวนการกระจายตัวของรูพรุนมากกว่าสูตรอื่น ๆ และมีความแน่นเหนือน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับภาพพื้นผิวของทอฟฟี่เค้กโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่พบว่าสูตรที่ 5 และ 8 มีขนาดของรูพรุนใหญ่กว่าสูตรอื่น สูตรทอฟฟี่เค้กที่มีการใช้แป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮะทดแทนแป้งสาลีทุกสูตรมีค่าความแข็ง ค่าความเหนียวยืดติด และค่าความต้านทานการเคี้ยวสูงกว่าสูตรควบคุม เมื่อทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการโดยคัดเลือกสูตรที่ 5 ซึ่งเป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด พบว่าปริมาณน้ำตาลของสูตรที่มีการใช้แป้งฟลาวร์ถั่วมะแฮะน้อยกว่าสูตรควบคุม โดยมีปริมาณ 12.63 กรัม/100 กรัม ในขณะที่ทอฟฟี่เค้กสูตรควบคุมมีปริมาณน้ำตาล 19.13 กรัม/100 กรัม ซึ่งสามารถลดน้ำตาลลงจากสูตรควบคุมได้ถึงร้อยละ 34 ดังนั้นการใช้แป้งชนิดฟลาวร์โปรตีนสูงจากถั่วมะแฮะเพื่อทดแทนแป้งสาลี และใช้น้ำตาลไอโซมอลทูลอสและอินนูลิน ทดแทนน้ำตาลและไขมันจึงเป็นทางเลือกของการพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าทางโภชนาการดีขึ้นได้โดยมีปริมาณโปรตีนสูงและจัดเป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nicolosi, A., Laganà, V. R., and Di Gregorio, D. (2023). Habits, health and environment in the purchase of bakery products: Consumption preferences and sustainable inclinations before and during COVID-19. *Foods*, 12(8), Article number 1661.
- [2] Mickiewicz, B., and Britchenko, I. (2022). Main trends and development forecast of bread and bakery products market. *VUZF Review*, 7, 113-123.
- [3] Zeng, X., Wang, M., Chen, L., and Zheng, B. (2023). Impact of using whole chestnut flour as a substitute for cake flour on digestion, functional and storage properties of chiffon cake: A Potential application study. *Food Chemistry*, 432, Article number 137016.
- [4] Wang, Y., and Jian, C. (2022). Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. *NPJ science of food*, 6(1), Article number 49.
- [5] Abebe, B. (2022). The Dietary use of pigeon pea for human and animal diets. *Scientific World Journal*, 2022, Article Number 4873008.

- [6] Saxena, K., Kumar, R., and Sultana, R. (2010). Quality nutrition through pigeonpea—a review. *Health*, 2, 1335-1344.
- [7] Olanipekun, B., Abioye, V., Oyelade, J., and Osemobor, C. (2018). Potentials of pigeon pea-wheat flour mixes in bread production. *Asian Food Science Journal*, 4, 1-8.
- [8] Olatunde, S., Ajayi, O. M., Ogunlakin, G., and Ajala, A. (2019). Nutritional and sensory properties of cake made from blends of pigeon pea, sweet potato and wheat flours. *Food Research*, 3, 456-462.
- [9] Dubois, M., Gills, K. A., Hamilton, J. K., Reber, P. A., and Smith, F. (1956). Colorimetric methods for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-355.
- [10] AOAC. (2019). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists: Official methods of analysis of AOAC International. 21st Edition, AOAC, Washington DC.
- [11] Kweon, M., Slade, L., and Levine, H. (2016). Cake baking with alternative carbohydrates for potential sucrosereplacement. I. Functionality of small sugars and their effects on high-ratio cake-baking performance. *Cereal Chemistry*, 93, 562-567.
- [12] Guleria, P., and Yadav, B. S. (2022). Effect of chemical treatments on the functional, morphological and rheological properties of starch isolated from pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Current Research in Food Science*, 5, 1750-1759.
- [13] Nawaz, H., and Arêas, E. (2013). Chemistry and applications of polysaccharide solutions in strong electrolytes/dipolar aprotic solvents: An overview. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 18, 1270-1313.
- [14] Locali-Pereira, A. R., Boire, A., Berton-Carabin, C., Taboga, S. R., Solé-Jamault, V., and Nicoletti, V. R. (2023). Pigeon Pea, an emerging source of plant-based proteins. *ACS Food Science & Technology*, 3(11), 1777-1799.