



ผลิตภัณฑ์ขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว
Madeleine Dessert Products Substituted Wheat Flour with
White Kidney Beans Flour

ชวิน เสร็จกิจ¹ เจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์² จักรวาล ภู่อสม² ศิวกร ตลับนาค² และจักรกฤษณ์ ทองคำ^{2*}

¹สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กรุงเทพมหานคร 10300

²สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กรุงเทพมหานคร 10300

Chawin Setkit¹, Jetniphat Bunyasawat², Chakkrawut Bhoosem², Siwakron Talapnark²,
and Chukkrit Thongkham^{2*}

¹Home Economics Program, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon, Bangkok 10300

²Department Food and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon, Bangkok 10300

*Corresponding author: Chukkrit.t@rmutp.ac.th

Received: 3 September 2025/ Revised: 3 December 2025/ Accepted: 8 December 2025

บทคัดย่อ

ถั่วขาวมีสารฟอสโฟลัมเบินยับยั้งเอนไซม์อะไมเลสที่ช่วยลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด อีกทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขนมมาเดอลีน โดยใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีในระดับต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร เพื่อประเมินผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณสมบัติทางกายภาพ คุณค่าทางโภชนาการ และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ผลการศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าการใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 50 ได้รับคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ไม่แตกต่างจากสูตรพื้นฐานอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยอยู่ในระดับความชอบปานกลาง ด้านคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งถั่วขาวส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ลักษณะเนื้อสัมผัสแสดงค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้น และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) น้ำหนักที่หายไปหลังการอบเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาตรและปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ด้านคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าการเพิ่มแป้งถั่วขาวส่งผลให้ปริมาณโปรตีนใยอาหาร และเส้นใย เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) โดยสูตรที่เหมาะสมที่สุด (MD50) มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 6.38 เป็นร้อยละ 8.34 ใยอาหารเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.41 เป็นร้อยละ 1.48 และเส้นใยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.42 เป็นร้อยละ 1.96 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ใช้แป้งถั่วขาวทดแทนร้อยละ 50 ไม่แสดงฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งถั่วขาว และยังเป็นส่งเสริมการ

ใช้แป้งถั่วขาวในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และมีความหลากหลายเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การพัฒนา มาเดอลีน แป้งถั่วขาว

Abstract

White kidney bean contains phaseolamine, inhibits the enzyme amylase. The blood sugar and lipid levels of this nutritional quality part to develop Madeleine pastry. By using white kidney bean flour in different levels of wheat flour, including 0, 25, 50 and 75 of the weight of wheat flour in the formula to evaluate the effect on the sensory quality, main properties, nutritional value and nutrition in inhibiting the enzyme alpha-amylase (α -amylase). The results of the sensory clinical research study. White kidney bean for wheat flour in parts of 50, the score is mainly the appearance of color, aroma, taste and texture that are different in the basic formula, no statistical significance ($p>0.05$), especially the neutral texture for the outstanding properties of the white flour content shows the value of the medium (L^*). Check the redness (a^*) and yellowness (b^*) values more ($p\leq 0.05$), the texture shows the values of the region (hardness), university and city (Springiness) significantly ($p\leq 0.05$). The story that disappears after baking increases. Taste consideration and thought were not different ($p>0.05$). In terms of nutritional value, it was found that the white bean protein components in the amount of protein, dietary fiber and protein content ($p\leq 0.05$). The most appropriate formula (MD50) had a protein content of 6.388 8.34 from this part, dietary fiber increased from 0.41 to 1.48 and additional details from the center 1.42 to 1.96. Previously, the basic formula, meaning white bean flour itself, 50 did not show any inhibitory activity against the enzyme alpha-amylase. This research is important in the development of food products from white bean flour and the campaign for the use of white bean flour in various food products to increase nutritional value and importantly to most consumers.

Keywords: Development, Madeleine, White Bean Flour

บทนำ

โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable diseases; NCDs) เป็นปัญหาสาธารณสุขระดับโลกที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชากรและก่อให้เกิดภาระทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาล โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) รายงานว่าโรค NCDs เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตมากกว่าร้อยละ 70 ของการเสียชีวิตทั้งหมดทั่วโลก โดยเฉพาะโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และโรคอ้วน [1] ในประเทศไทย สถานการณ์โรคเบาหวานและโรคอ้วนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากรายงานของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2566) พบว่าประชากรไทยอายุ 15 ปีขึ้นไป มีอัตราการเป็นโรคเบาหวานร้อยละ 10-12 และมีภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วนมากกว่าร้อยละ 40 [2] โรคเหล่านี้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับพฤติกรรมการบริโภคอาหาร โดยเฉพาะการบริโภคอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index: GI) สูง เช่น ข้าวขาว [3] ของหวานชนิดต่าง ๆ [4] และผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ [5]

ขนมมาเดอลีน (Madeleine) เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ในกลุ่มเค้กที่มีต้นกำเนิดจากฝรั่งเศส องค์ประกอบหลักของมาเดอลีนประกอบด้วยแป้ง น้ำตาล ไข่ เนย และสารเพิ่มความฟู ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้อาจมีผลต่อสุขภาพหากบริโภคในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำตาล ไขมัน และแป้งขัดขาว ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรค



อ้วน โรคเบาหวาน และโรคหัวใจ จากข้อมูลวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การบริโภคน้ำตาล และไขมันในปริมาณมากสามารถเพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะ metabolic syndrome และโรคหัวใจได้ [6, 7] ขณะเดียวกันการบริโภคแป้งขัดขาวในปริมาณสูงก็อาจมีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดและความเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน [8] ปัจจุบันแนวทางการพัฒนาอาหาร โดยการใช้วัตถุดิบจากพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วขาว (White kidney bean) ซึ่งมีสารสำคัญชื่อ “ฟาซีโอลามิน” (Phaseolamin) ที่สามารถยับยั้งเอนไซม์อะไมเลส ทำให้การย่อยแป้งเป็นน้ำตาลลดลง ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหารเพิ่มขึ้นช้าลงและช่วยลดการสะสมไขมันในร่างกาย [9] นอกจากนี้ถั่วขาวยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยให้พลังงาน 333 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ประกอบด้วยโปรตีน 23.40 กรัม ไขมัน 0.85 กรัม คาร์โบไฮเดรต 60.30 กรัม โยอาหาร 15.20 กรัม แคลเซียม 240 มิลลิกรัม และมีวิตามินบีรวมหลายชนิด เช่น โทอะมิน ไบโอฟลาวัน และไนอะซิน [10, 11]

การนำแป้งถั่วขาวมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ การประยุกต์ใช้ถั่วขาวซึ่งมีสารฟาซีโอลามิน โปรตีน เส้นใยอาหาร และวิตามินสูง จึงสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด เช่น ผู้ป่วยเบาหวาน หรือผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในขนมมาเดอลีน

1.1 ขั้นตอนการเตรียมแป้งถั่วขาว

- ขั้นตอนในการเตรียมถั่วขาวด้วยวิธีการให้ความร้อนขึ้น ตัดแปลงจากพรทิพย์ และเดือนฉาย [12] ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้
- (1) ชั่งถั่วขาว (ตราไร้พิภพ) ปริมาณ 1,500 กรัม และนำถั่วขาวที่ชั่งแล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง
 - (2) นำถั่วขาวไปแช่น้ำประปาในอัตราส่วนระหว่างถั่วกับน้ำ 1 ต่อ 3 แช่ทิ้งไว้ประมาณ 10 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำขึ้นมาล้างด้วยน้ำประปา 2 ครั้ง
 - (3) นำถั่วขาวไปนึ่งในตู้อบลมร้อนระบบหมุนเวียนที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที
 - (4) นำถั่วขาวที่สุกแล้วมาบดในเครื่องบดผสมความเร็วสูงนาน 1 นาที
 - (5) นำถั่วขาวที่บดแล้วเกลี่ยใส่ถาดนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 70°C โดยเกลี่ยและพลิกกลับถั่วขาวทุก 1 ชั่วโมง เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง
 - (6) อบถั่วขาวจนกระทั่งมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) น้อยกว่า 0.6
 - (7) พักถั่วขาวให้เย็นแล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงนาน 1 นาที หยุดและปั่นต่ออีก 1 นาที
 - (8) นำถั่วขาวมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน (micron)
 - (9) นำแป้งถั่วขาวที่ได้มาผสมในขนมมาเดอลีนตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 1

1.2 ขั้นตอนการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในขนมมาเดอลีน

นำผลิตภัณฑ์ขนมมาเดอลีน สูตรพื้นฐาน [13] แสดงดังตารางที่ 1 มาศึกษาการทดแทนแป้งถั่วขาวในอัตราส่วนร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตรพื้นฐาน ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

- (1) ชั่งส่วนผสมตามสูตร ดังในตารางที่ 1 สูตรขนมมาเดอลีนที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วขาว 4 ระดับ
- (2) ร่อนแป้งสาลี แป้งถั่วขาว และผงฟู ลงในชามผสมสแตนเลส แล้วพักไว้
- (3) ละลายเนยด้วยวิธีการหม้อต้มสองชั้น (Double boiler) ใช้อุณหภูมิประมาณ 50°C แล้วพักไว้ให้เย็น
- (4) นำไข่ไก่ กล้วย น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลทรายแดง มาตีให้ละลายและเข้ากันในเครื่องผสมด้วยความเร็วระดับ 4 นาน 30 วินาที หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วเป็นระดับ 8 นาน 1 นาที
- (5) เมื่อส่วนผสมที่อยู่ภายในโถปั่นผสมเข้ากันดีแล้ว จึงเติมกลิ่นวานิลลา กลิ่นนมเนย แป้งและผงฟูที่ร่อนเตรียมไว้ จากนั้นตีต่อด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 1 นาที
- (6) เติมน้ำมันที่ละลายทิ้งไว้และนมสด และตีด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 1 นาที



(7) พักส่วนผสมอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

(8) ทาเนยลงบนพิมพ์เพฟลอนที่ใช้สำหรับอบขนมมาเดอลีน แล้วบีบแป้งที่ผสมไว้ ลงตรงกลางพิมพ์ 15 กรัมต่อชิ้น

(9) นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 13 นาที

2. การศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมมาเดอลีนที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว

นำผลิตภัณฑ์ขนมมาเดอลีนบรรจุใส่ถุงซีลด้วยเครื่องสุญญากาศ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2-5°C จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการทดสอบแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9 Points Hedonic Test) โดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 70 คน ซึ่งเป็นอาจารย์และนักศึกษา สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร นำสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้ชิมวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase)

ตารางที่ 1 สูตรขนมมาเดอลีนที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วขาว 4 ระดับ

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมแป้งถั่วขาวในแต่ละสูตร							
	MDC		MD25		MD50		MD75	
	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ	กรัม	ร้อยละ
แป้งสาลี	240	25.23	180	18.92	120	12.62	60	6.31
แป้งถั่วขาว	0	0	60	6.31	120	12.62	180	18.92
ไข่ไก่	220	23.13	220	23.13	220	23.13	220	23.13
น้ำตาลทรายขาว	100	10.51	100	10.51	100	10.51	100	10.51
น้ำตาลทรายแดง	100	10.51	100	10.51	100	10.51	100	10.51
เนยเค็มแท้	250	26.28	250	26.28	250	26.28	250	26.28
นมสด	30	3.15	30	3.15	30	3.15	30	3.15
ผงฟู	7	0.75	7	0.75	7	0.75	7	0.75
เกลือ	0.5	0.05	0.5	0.05	0.5	0.05	0.5	0.05
กลิ่นวานิลลา	2.5	0.26	2.5	0.26	2.5	0.26	2.5	0.26
กลิ่นนมเนย	1.25	0.13	1.25	0.13	1.25	0.13	1.25	0.13

หมายเหตุ: MDC MD25 MD50 MD75 หมายถึง ขนมมาเดอลีนสูตรพื้นฐาน ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ตามลำดับ

3. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของขนมมาเดอลีนที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของขนมมาเดอลีนที่มีการทดแทนด้วยแป้งถั่วขาว มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 วิเคราะห์ค่าสี (Color analysis)

วัดค่าสีของขนมมาเดอลีนที่มีการทดแทนด้วยแป้งถั่วขาวในระบบ CIELAB ด้วยเครื่องวัดค่าสี (ยี่ห้อ KONIKA MINOLTA รุ่น CM-3500d) วัดค่า L^* a^* และ b^* โดยนำขนมมาเดอลีนบดให้ละเอียดรวมกันแล้ววัดตัวอย่างละ 5 กรัม วัดโดยตรงจากผลิตภัณฑ์ขนมมาเดอลีน

3.2 วิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ (Baking loss)

ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างขนมมาเดอลีนหลังอบด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยมสองตำแหน่ง โดยชั่งน้ำหนักขนมมาเดอลีนที่พักจนเย็นแล้ว บันทึกน้ำหนักของขนมมาเดอลีนด้วยหน่วยกรัม (g)



3.3 วิเคราะห์ปริมาตรของขนมหลังการอบ (Volume)

วัดปริมาตรตัวของตัวอย่าง โดยการแทนที่ด้วยเมล็ดงาขาว ตัดแปลงวิธีจาก AACC [14] เริ่มจากวัดปริมาตรของภาชนะที่จะใช้วัดปริมาตรของขนมมาเดอลีน (ภาชนะที่สามารถใส่ตัวอย่างขนมมาเดอลีนได้ทั้งชิ้น) โดยใส่เมล็ดงาขาวให้เต็มภาชนะ แล้วปาดผิวด้านบนให้เรียบ เทเมล็ดงาออกจากภาชนะ จากนั้นนำตัวอย่างขนมมาเดอลีนวางลงในภาชนะเดิมเทเมล็ดงาขาวลงไปให้เต็มภาชนะ แล้วปาดผิวด้านบนให้เรียบวัดปริมาตรของเมล็ดงาขาวที่เหลืออยู่โดยใช้กระบอกตวงบันทึกปริมาตรเมล็ดงาขาวที่เหลืออยู่เป็นค่าปริมาตรของตัวอย่างขนมมาเดอลีนในหน่วยของ 1 มิลลิลิตร (mL) โดย 1 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³)

3.4 วิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมมาเดอลีน (Specific volume)

คำนวณค่าปริมาตรจำเพาะของตัวอย่างขนมมาเดอลีนในหน่วยของกรัมต่อมิลลิลิตร (g/mL) ดังสมการที่ (1)

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (g/mL)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างขนมมาเดอลีน (g)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างขนมมาเดอลีน (mL)}} \quad (1)$$

(จากข้อ 3.3)

3.5 วิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analysis)

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis, TPA) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (ยี่ห้อ Stable Micro Systems รุ่น TA.XT plus) ด้วยหัววัดอลูมิเนียมทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. (P/100) การทดสอบเป็นการบีบอัดสองรอบ (double compression) โดยตั้งความเร็วหัววัดที่ 1.0 มม./วินาที และบีบลงจนตัวอย่างถูกยุบเป็นร้อยละ 50 ของความสูงเริ่มต้นของตัวอย่าง ขนมมาเดอลีนแต่ละชิ้น ทำการตรวจวัดตัวอย่างละ 10 ชิ้น ค่าแรงจากโค้งแรง-เวลาใช้คำนวณค่าความแข็ง (hardness; ได้จากจุดสูงสุดของแรงในการกดครั้งแรก) และค่าความยืดหยุ่น (springiness; คำนวณตามสัดส่วนการคืนตัวระหว่างการบีบครั้งแรกและครั้งที่สอง) วิธีการนี้ดัดแปลงจาก Bourne [15] และปรับพารามิเตอร์เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดและโครงสร้างของตัวอย่าง โดยอ้างอิงตามแนวทางของ Casas-Moreno et al. [16] และคู่มือของ Stable Micro Systems [17]

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ในขนมมาเดอลีนที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ในขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis)

โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) (รุ่น FD115, Binder, German) วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนแบบ Kjeldahl (รุ่น Vapodest 20, Gerhardt, German) วิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (รุ่น SER148, velp scientifica, Italy) วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารหยาบ (VELP SCIENTIFICA, Italy) และวิเคราะห์ปริมาณเถ้าด้วยเตาเผาวิเคราะห์เถ้า (Lenton, England) จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต และพลังงาน ตามวิธีการของ AOAC [18, 19] ตามสูตรที่ (2) และ (3)

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต} = [100 - (\text{ความชื้น} + \text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{ใยอาหารหยาบ} + \text{เถ้า})] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{พลังงาน} &= (\text{ร้อยละของปริมาณโปรตีน} \times 4) + (\text{ร้อยละของปริมาณคาร์โบไฮเดรต} \times 4) \\ &+ (\text{ร้อยละของปริมาณไขมัน} \times 9) \end{aligned} \quad (3)$$

[กิโลแคลอรี] (kcal)/100 กรัม

4.2 วิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (Alpha-amylase)

โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ 2-chloro-4-nitrophenol colorimetric ในการทดลองเริ่มจากการชั่งตัวอย่างมาเดอลินเฉลี่ย 13 g แล้วละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 30 mL จากนั้นเจือจางสารละลายตัวอย่างให้ได้ความเข้มข้น 40 และ 80 mg/mL สำหรับเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Acarbose ที่ความเข้มข้น 40 mg/mL ในขณะที่เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ถูกเตรียมให้มีความเข้มข้น 0.4 U/mL โดยละลายในน้ำกลั่น การทดสอบแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ Negative control (น้ำ DI 75 μ L), Positive control (น้ำ DI 50 μ L ร่วมกับเอนไซม์ 25 μ L), Sample reaction (น้ำ DI 25 μ L, เอนไซม์ 25 μ L และสารตัวอย่างหรือ Acarbose 25 μ L) และ Blank of sample (น้ำ DI 50 μ L และสารตัวอย่างหรือ Acarbose 25 μ L) จากนั้นนำสารละลายทั้ง 4 กลุ่มไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 10 นาที แล้วเติมสารตั้งต้น 2-chloro-4-nitrophenyl- α -D-maltotriose (CNPG3) ที่ความเข้มข้น 4 mM ปริมาตร 25 μ L ในแต่ละหลุม ผสมให้เข้ากัน และบ่มต่อที่อุณหภูมิห้องอีก 10 นาที สุดท้ายทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 nm ด้วยเครื่อง microplate reader ยี่ห้อ BioTek รุ่น Synergy LX (BioTek) และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Acarbose เพื่อประเมินประสิทธิภาพของตัวอย่างมาเดอลินในการยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าว

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูป (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS) IBM SPSS Statistics Version 29

5.1 การวิเคราะห์การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design, RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance, ANOVA) รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) [20]

5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ คุณสมบัติทางกายภาพ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design, CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance, ANOVA) รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($p \leq 0.05$) [20]

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวในขนมมาเดอลิน

การทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาปริมาณแป้งข้าวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และนำไปประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการชิมแบบให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) โดยให้ผู้ชิมจำนวน 70 คน ซึ่งเป็นอาจารย์และนักศึกษาศาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูป (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS)

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าคะแนนทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมมาเดอลินที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าว ผู้ทดสอบให้การยอมรับสูงสุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมที่ MD25 ค่าคะแนนอยู่ที่ 8.37 8.23 8.06 8.13 และ 7.91 ตามลำดับ อยู่ในระดับชอบมากถึงชอบปานกลาง ขณะที่ด้านเนื้อสัมผัสผู้ทดสอบให้การยอมรับสูงสุดที่ MD50 ค่าคะแนนอยู่ที่ 7.83 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติพบว่า ระหว่าง MD25 และ MD50 ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ



ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ค่าคะแนนความชอบเฉลี่ย			
	MDC	MD25	MD50	MD75
ลักษณะปรากฏ	8.11 ± 0.94 ^{ab}	8.37 ± 0.62 ^a	8.17 ± 0.78 ^{ab}	7.97 ± 1.02 ^b
สี	8.01 ± 0.92 ^{ab}	8.23 ± 0.73 ^a	7.97 ± 0.74 ^{ab}	7.83 ± 0.98 ^b
กลิ่น	7.83 ± 0.99 ^a	8.06 ± 0.76 ^a	8.04 ± 0.91 ^a	7.86 ± 1.12 ^a
รสชาติ	7.86 ± 0.87 ^{ab}	8.13 ± 0.82 ^a	8.01 ± 0.83 ^{ab}	7.76 ± 1.07 ^b
เนื้อสัมผัส	7.67 ± 0.97 ^a	7.81 ± 0.86 ^a	7.83 ± 0.90 ^a	7.26 ± 1.25 ^b
ความชอบโดยรวม	7.76 ± 0.92 ^a	7.91 ± 0.94 ^a	7.33 ± 1.09 ^b	7.39 ± 1.24 ^b

หมายเหตุ: ^{a,b} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

MDC MD25 MD50 MD75 หมายถึง ขนมมาเดอลีนสูตรพื้นฐาน ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ตามลำดับ

และเนื้อสัมผัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับ MD50 และ MD75 ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ MD75 มีเนื้อสัมผัสแตกต่างจากสูตรพื้นฐาน MD25 และ MD 50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งในทางปฏิบัติพบว่า MD75 มีความแข็งไม่คงลักษณะที่ดีของขนมมาเดอลีน ดังนั้นจึงไม่สามารถทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในสัดส่วนร้อยละ 75 ผู้วิจัยจึงใช้การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 50 ในการทำวิจัยขั้นต่อไป

2. ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว

นำขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร มาทำการศึกษาคูณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* , b^*) น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ ปริมาตร-ปริมาตรจำเพาะ และค่าเนื้อสัมผัสของขนมมาเดอลีนหลังการอบ ดังแสดงในตารางที่ 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ

2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ต่างกัน 4 ระดับ

การใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีส่งผลต่อค่าสีของขนมมาเดอลีน จากตารางที่ 3 พบว่าค่าสี (L^* และ b^*) ของขนมมาเดอลีนทั้ง 4 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน ขณะที่ a^* พบว่าที่ MD50 ไม่แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน (MCD) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลงในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐานดังภาพที่ 1

ตารางที่ 3 ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ต่างกัน 4 ระดับ

ระดับการทดแทน	สี		
	L^*	a^*	b^*
MDC	59.32 ± 0.01 ^a	11.69 ± 0.02 ^c	34.45 ± 0.19 ^d
MD25	58.69 ± 0.05 ^b	11.79 ± 0.02 ^b	36.06 ± 0.10 ^c
MD50	58.67 ± 0.02 ^b	11.72 ± 0.01 ^c	36.37 ± 0.04 ^b
MD75	57.83 ± 0.03 ^c	12.27 ± 0.02 ^a	36.89 ± 0.02 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b,c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

MDC MD25 MD50 MD75 หมายถึง ขนมมาเดอลีนสูตรพื้นฐาน ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ตามลำดับ



MDC

MD25

MD50

MD75

ภาพที่ 1 ลักษณะของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ

หมายเหตุ: MDC MD25 MD50 MD75 หมายถึง ขนมมาเดอลีนสูตรพื้นฐาน ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ตามลำดับ

2.2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปหลังอบของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไปของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่มีการใช้ปริมาณแป้งถั่วขาวที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไปมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 น้ำหนักของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ หลังผ่านการอบ

รายการ	ปริมาณแป้งทดแทน			
	MDC	MD25	MD50	MD75
ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	15.00 ± 0.00	15.00 ± 0.00	15.00 ± 0.00	15.00 ± 0.00
ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหลังอบ (กรัม)	13.64 ± 0.11 ^a	13.58 ± 0.16 ^a	13.50 ± 0.10 ^a	13.30 ± 0.07 ^b
ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไป (กรัม)	1.36 ± 0.11 ^b	1.42 ± 0.16 ^b	1.50 ± 0.10 ^b	1.70 ± 0.07 ^a
น้ำหนักที่หายไป (ร้อยละ)	9.07±0.76	9.47±1.09	10.00±0.67	11.33±0.47

หมายเหตุ: ^{a,b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
MDC MD25 MD50 MD75 หมายถึง ขนมมาเดอลีนสูตรพื้นฐาน ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ตามลำดับ

2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ

จากตารางที่ 5 พบว่าปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมมาเดอลีนที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยขนมมาเดอลีนในแต่ละระดับการทดแทนมีปริมาตรเท่ากับ 30.60 32.40 29.40 และ 30.40 มิลลิลิตร และมีปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2.24 2.38 2.18 และ 2.29 มิลลิลิตร/กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ปริมาตรและปริมาตรจำเพาะของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ

รายการ	ปริมาตรของ บีกเกอร์ (มิลลิลิตร)	ปริมาตรหลัง ใส่ชิ้นขนม ^{ns} (มิลลิลิตร)	ปริมาตรของ ชิ้นขนม ^{ns} (มิลลิลิตร)	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตร/ กรัม) ^{ns}
MDC	190.00 ± 0.00	159.40 ± 2.30	30.60 ± 2.30	13.64 ± 0.11 ^a	2.24 ± 0.17
MD25	190.00 ± 0.00	157.60 ± 5.18	32.40 ± 5.18	13.58 ± 0.16 ^a	2.38 ± 0.36
MD50	190.00 ± 0.00	160.60 ± 1.94	29.40 ± 1.94	13.50 ± 0.10 ^a	2.18 ± 0.15
MD75	190.00 ± 0.00	159.60 ± 2.19	30.40 ± 2.19	13.30 ± 0.07 ^b	2.29 ± 0.17

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ค่าที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

MDC MD25 MD50 MD75 หมายถึง ขนมมาเดอลีนสูตรพื้นฐาน ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ตามลำดับ



2.4 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ต่างกัน 4 ระดับ

จากตารางที่ 6 พบว่าเนื้อสัมผัสของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ที่มีการใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในด้าน Hardness มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่า Springiness มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 6 ค่าเนื้อสัมผัสของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ต่างกัน 4 ระดับ

ค่าเนื้อสัมผัส	MDC	MD25	MD50	MD75
Hardness (N)	1633.10 $\pm$ 133.39 ^d	2036.05 $\pm$ 181.24 ^c	2933.54 $\pm$ 217.46 ^b	3255.08 $\pm$ 414.65 ^a
Springiness	45.50 $\pm$ 0.74 ^a	42.73 $\pm$ 0.55 ^b	40.88 $\pm$ 0.57 ^c	38.98 $\pm$ 0.86 ^d

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

MDC MD25 MD50 MD75 หมายถึง ขนมมาเดอลีนสูตรพื้นฐาน ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ตามลำดับ

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ในขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว

3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis)

องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ต่างกัน 4 ระดับ

องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ	ปริมาณ (ร้อยละ)			
	MDC	MD25	MD50	MD75
ความชื้น (ร้อยละ)	15.18 $\pm$ 0.01 ^a	15.41 $\pm$ 0.10 ^a	14.82 $\pm$ 0.17 ^b	13.10 $\pm$ 0.11 ^c
โปรตีน (ร้อยละ)	6.38 $\pm$ 0.08 ^d	7.26 $\pm$ 0.04 ^c	8.34 $\pm$ 0.04 ^b	9.59 $\pm$ 0.16 ^a
ไขมัน (ร้อยละ)	27.47 $\pm$ 0.23 ^b	27.19 $\pm$ 0.11 ^b	25.51 $\pm$ 0.11 ^c	28.06 $\pm$ 0.04 ^a
ใยอาหาร (ร้อยละ)	0.41 $\pm$ 0.11 ^d	0.88 $\pm$ 0.08 ^c	1.48 $\pm$ 0.03 ^b	1.92 $\pm$ 0.01 ^a
เถ้า (ร้อยละ)	1.42 $\pm$ 0.01 ^d	1.65 $\pm$ 0.01 ^c	1.96 $\pm$ 0.01 ^b	2.17 $\pm$ 0.06 ^a
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	49.14 $\pm$ 0.05 ^a	47.61 $\pm$ 0.11 ^b	47.89 $\pm$ 0.36 ^b	45.17 $\pm$ 0.19 ^c
พลังงาน (Kcal)	469.31 $\pm$ 1.59 ^a	464.19 $\pm$ 1.00 ^b	454.51 $\pm$ 0.25 ^c	471.58 $\pm$ 0.46 ^a

หมายเหตุ: ^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

MDC MD25 MD50 MD75 หมายถึง ขนมมาเดอลีนสูตรพื้นฐาน ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ตามลำดับ

จากตารางที่ 7 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร มีความชื้น 15.18 15.41 14.82 และ 13.10 ตามลำดับ ขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 25 มีปริมาณความชื้นและไขมันไม่แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน ที่ร้อยละ 50 และ 75 ปริมาณความชื้นลดลงจากสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ไขมันที่ระดับร้อยละ 50 ลดลงจากสูตรพื้นฐาน แต่กลับเพิ่มขึ้นที่ระดับร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โปรตีน ใยอาหาร และเถ้า ในขนมมาเดอลีนที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 25 50 และ 75 เพิ่มขึ้นจากสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คาร์โบไฮเดรตในขนมมาเดอลีนที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 25 50 และ 75 ลดลงจากสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 25 50 และ 75 ลดลงจากสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



แทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 25 และ 50 มีพลังงานลดลงจากสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ร้อยละ 75 มีพลังงานไม่แตกต่างจากสูตรพื้นฐาน ($p > 0.05$)

3.2 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase)

การศึกษาความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ของสารตัวอย่างขนมมาเดอลีนทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 50 พบว่าสารตัวอย่างทดสอบที่ความเข้มข้น 10 และ 20 mg/mL ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) แต่มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวอย่างทดสอบ ดังในตารางที่ 8 และเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน Acarbose ที่ความเข้มข้น 10 mg/mL มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) โดยมีค่าร้อยละความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) อยู่ที่ 64.27 ± 3.50

ตารางที่ 8 ร้อยละความสามารถในการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) หลังทำการทดสอบด้วยสารตัวอย่างขนมมาเดอลีนเทียบสารมาตรฐาน Acarbose

สารทดสอบ	ความเข้มข้น (mg/mL)	ร้อยละการทำงานของเอนไซม์ α -amylase	ร้อยละการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ α -amylase
Positive control	-	100	0.00 ± 0.00
Acarbose	10	35.73 ± 3.50	64.27 ± 3.50
มาเดอลีน	10	393.18 ± 7.07	0.00 ± 0.00
	20	433.04 ± 5.85	0.00 ± 0.00

จากตารางที่ 8 พบว่าตัวอย่างมาเดอลีนที่ใช้ถั่วขาวทดแทนแป้งข้าวสาลีในสัดส่วนร้อยละ 50 ไม่แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ซึ่งอาจเกิดจากการที่สารออกฤทธิ์ในแป้งถั่วขาวสูญเสียประสิทธิภาพระหว่างกระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนสูง

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขนมมาเดอลีนโดยใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลี ในระดับที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตรพื้นฐาน พบว่าปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 25 ได้รับค่าคะแนนการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่า การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 50 ไม่แตกต่างจากการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 25 ($p > 0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส เช่นเดียวกับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 50 ไม่แตกต่างจากการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่ร้อยละ 75 ($p > 0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม แต่ MD75 มีเนื้อสัมผัสแตกต่างจากสูตรพื้นฐาน MD25 และ MD50 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทำให้ MD75 ไม่คงลักษณะที่ดีของขนมมาเดอลีน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ วิลาวัณี และคณะ [21] ที่ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการใช้แป้งถั่วขาวทดแทนปริมาณแป้งสาลีในขนมปัง พบว่าปริมาณการเสริมแป้งถั่วขาวร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 50 คือช่วงที่ผู้บริโภคให้ยอมรับสูงสุด จึงสรุปว่า MD 50 เป็นระดับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่เหมาะสมที่สุดที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับ

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าเมื่อมีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวจะมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง และค่าความเป็นสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโน (หรือโปรตีน) กับน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นเมื่อให้ความ



ร้อน ส่งผลให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาล (Melanoidins) และแป้งถั่วขาวมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าแป้งสาลี ทำให้มีกรดอะมิโนมากขึ้นที่สามารถเข้าร่วมปฏิกิริยา Maillard กับน้ำตาลรีดิวซ์ ความเข้มของสีจึงเด่นชัดขึ้น (ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง และค่าความเป็นสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) มีค่าเพิ่มขึ้น) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เนตรนรินทร์ และคณะ [22] และ Han et al. [23] ศึกษาเรื่องการใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่าการใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งข้าวเจ้าในระดับที่มากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) และค่าสีแดง (a^*) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สูตรพื้นฐาน อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไปของขนมมาเดอรินที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้ น้ำหนักหลังอบมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณความชื้นในถั่วขาวมีมากกว่าในแป้งสาลี โดยที่ถั่วขาวมีความชื้นร้อยละ 15.38 [24] แป้งสาลีมีความชื้นร้อยละ 14.0 ตามมาตรฐานของ Codex Alimentarius Commission (1985) [25] ดังนั้นขนมมาเดอรินที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในปริมาณที่มากขึ้น จึงส่งผลให้น้ำหนักหลังการอบมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าปริมาตร และปริมาตรจำเพาะของชิ้นขนมมาเดอรินที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตรพื้นฐานมีปริมาตรอยู่ที่ 30.60 32.40 29.40 และ 30.40 มิลลิลิตร ตามลำดับ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และมีปริมาตรจำเพาะอยู่ที่ 2.24 2.38 2.18 และ 2.29 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเนื้อสัมผัสของขนมมาเดอริน ที่มีการใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในด้านความแข็ง (Hardness) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 10.30 ซึ่งมีไกลอะดิน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) เป็นโปรตีนเมื่อผสมกับน้ำหรือของเหลวอื่น ๆ จะเกิดเป็นกลูเตนที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของแป้งสาลี ทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่นได้ดีกว่า จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งน้อยกว่า [26] ในขณะที่แป้งถั่วขาวมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 23.40 ที่มากกว่า แต่ไม่มีคุณสมบัติดังกล่าว โปรตีนที่สูงจะสร้างเมทริกซ์แน่นขึ้น ทำให้แป้งไม่สามารถพองตัวได้เต็มที่ ประกอบกับเส้นใยอาหารในแป้งถั่วขาวที่มาก ทำให้ขนมมาเดอรินที่ใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่มากขึ้นมีความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในระดับการทดแทนที่ต่ำ เนื้อของขนมจะยังคงมีความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน แต่เมื่อสัดส่วนแป้งถั่วขาวสูงขึ้น โครงสร้างของกลูเตนที่ลดลง จะส่งผลทำให้ความยืดหยุ่น (Springiness) ของเนื้อขนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Güler & Köse [27] และ วิลาวินี และคณะ [21] ที่พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งจากถั่วขาวจะส่งผลให้ค่า Springiness ลดลง เมื่อแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในระดับที่มากขึ้น เนื่องจากโครงสร้างกลูเตนที่ลดลง ทำให้เนื้อของผลิตภัณฑ์เกิดการคืนรูปช้าลง และยืดหยุ่นน้อยลง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของขนมมาเดอรินทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาว พบว่าองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของขนมมาเดอรินที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 25 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตรพื้นฐาน จะมีโปรตีน ใยอาหาร และเถ้า ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีโปรตีนร้อยละ 6.38 7.26 8.34 และ 9.59 ตามลำดับ ใยอาหารร้อยละ 0.41 0.88 1.48 และ 1.92 ตามลำดับ และเถ้าร้อยละ 1.42 1.65 1.96 และ 2.17 ตามลำดับ มีคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 49.14 47.61 47.89 และ 45.17 ตามลำดับ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ข้อมูลจากกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่าแป้งสาลีมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหาร และเถ้า ร้อยละ 76.30 10.30 2.70 และ 0.60 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่แป้งถั่วขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหาร และเถ้าร้อยละ 60.30 23.40 15.20 และ 4.20 กรัม ตามลำดับ [11] จะเห็นได้ว่าแป้งถั่วขาวมีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และเถ้ามากกว่าแป้งสาลี แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าแป้งสาลี ด้วยเหตุนี้การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในระดับที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนมมาเดอรินทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวมีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และเถ้าที่เพิ่มขึ้น คาร์โบไฮเดรตลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hoxha และคณะ [28] และ Movahhed และคณะ [29] ที่กล่าวว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในขนมปัง จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะในด้านโปรตีน ใยอาหาร และแร่ธาตุของขนมปังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ต้องการ

ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และเพิ่มการบริโภคโยอาหารอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบอีกว่าขนมมาเดอลีนที่มีการใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งสาลีในสัดส่วนร้อยละ 50 ไม่แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) จากงานวิจัยของ Maghsoudi และคณะ [30] พบว่าหลังการสัมผัสความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C 30 นาที การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ลดลงอย่างมากเหลือเพียงร้อยละ 20 และที่อุณหภูมิมากกว่า 70 °C เป็นเวลา 30 นาที จะเป็นอุณหภูมิที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ถูกทำลายหมดแล้ว ดังนั้นขนมมาเดอลีนที่ใช้ความร้อนอุณหภูมิในการอบถึง 180 °C เป็นสาเหตุให้สารออกฤทธิ์ในถั่วขาวเกิดการสูญเสียประสิทธิภาพระหว่างกระบวนการผลิต สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Oboh และคณะ [31] และ Wang และคณะ [32] ที่รายงานว่าโปรตีนยับยั้งเอนไซม์ α -amylase (α -amylase inhibitor; α -AI) ซึ่งพบมากในถั่วขาว (*Phaseolus vulgaris*) เป็นโปรตีนที่มีโครงสร้างจำเพาะ สามารถจับกับเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ในระบบทางเดินอาหาร ทำให้กระบวนการย่อยสลายแบ่งไปเป็นกลูโคสช้าลง และส่งผลให้ระดับกลูโคสหลังมื้ออาหารเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป อย่างไรก็ตามการปรุงด้วยความร้อน เช่น การต้ม (boiling), การอัดความดัน (autoclaving) หรือการอบ (baking) ทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (denaturation) และสูญเสียโครงสร้างการทำงานที่จำเป็นต่อการยับยั้งเอนไซม์ ส่งผลให้ฤทธิ์ยับยั้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการต้มสามารถทำให้โปรตีนสูญเสียฤทธิ์ไปมากกว่าร้อยละ 80-93 ดังนั้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการใช้ความร้อนสูง เช่น ขนมอบ เบเกอรี่ หรืออาหารปรุงสุกทั่วไป ความสามารถในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) มักลดลงอย่างมาก

ดังนั้นการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วขาวในขนมมาเดอลีนในสัดส่วนร้อยละ 50 จะยังสามารถคงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวขนมให้ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน และช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีน โยอาหาร และแร่ธาตุได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคที่ต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการมากขึ้น โดยไม่กระทบต่อปริมาณและปริมาณจำเพาะของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามผลการทดลองพบว่าแป้งถั่วขาวที่ผ่านการอบจะไม่สามารถคงฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ได้ เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนสูญเสียโครงสร้างการทำงาน

ผลการวิจัยจึงชี้ให้เห็นว่าการใช้แป้งถั่วขาวเป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพได้จริง แต่ควรพิจารณาถึงเทคนิคในการผลิตที่จะสามารถรักษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของถั่วขาวเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ทางสุขภาพต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนสถานที่ในการทดลองงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. Noncommunicable diseases: key facts. [Internet]. 2023 [cited 2025 Oct 25]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
2. กรมอนามัย. รายงานสถานการณ์โรคไม่ติดต่อเรื้อรังของประเทศไทย พ.ศ. 2566. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข; 2566.
3. Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin JM, et al. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. Am J Clin Nutr 1981;34(3):362-6.
4. Atkinson FS, Brand-Miller JC, Foster-Powell K, Buyken AE, Goletzke J. International tables of glycemic index and glycemic load values 2021: a systematic review. Am J Clin Nutr 2021;114(5):1625-32.
5. Brand-Miller JC, Holt SHA, Pawlak DB, McMillan J. Glycemic index and obesity. Am J Clin Nutr 2002;76(1):281S-5S.



6. Te Morenga L, Mallard S, Mann J. Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials and cohort studies. *BMJ* 2013;346:e7492.
7. Malik VS, Schulze MB, Hu FB. Intake of sugar-sweetened beverages and weight gain: a systematic review. *Am J Clin Nutr* 2010;89(4): 1034-41.
8. Mohan V, Spiegelman D, Sudha V, Gayathri R, Hong B, Praseena K, et al. Effect of brown rice, white rice, and brown rice with legumes on blood glucose and insulin responses in overweight Asian Indians: a randomized controlled trial. *Diabetes technology & therapeutics* 2014;16(5):317-25.
9. Nolan R, Shannon OM, Robinson N, Joel A, Houghton D, Malcomson FC. It's no has bean: a review of the effects of white kidney bean extract on body composition and metabolic health. *Nutrients* 2020;12(5):1398.
10. Celleno L, Tolaini MV, D'Amore A, Perricone NV, Preuss HG. A dietary supplement containing standardized *Phaseolus vulgaris* extract influences body composition of overweight men and women. *Int J Med Sci* 2007;4(1):45-52.
11. Barrett ML, Udani JK. A proprietary alpha-amylase inhibitor from white bean (*Phaseolus vulgaris*): a review of clinical studies on weight loss and glycemic control. *Nutr J* 2011;10(1):24
12. พรทิพย์ วิริยะวัฒนา, เตือนฉาย ตันนารัตน์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เวจเจี้ยนักเก็ตเพื่อสุขภาพจากถั่วขาว (*Phaseolus vulgaris* L.). วารสารมหาวิทยาลัยคริสเตียน 2564;27(4):1-15.
13. เจตนิพัทธ์ บุญยสวัสดิ์. การผลิตเบเกอรี่. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรีนตติ้ง เฮาส์: 2561.
14. AACC. Approved Method of the American Association of Cereal Chemists. 8th ed. St Paul MN: The American Association of Cereal Chemists; 2000.
15. Bourne MC. Texture profile analysis. *Food Technol* 1978;32(7):62-6.
16. Casas Moreno MM, Barreto-Palacios V, Gonzalez-Carrascosa R, Iborra-Bernad C, Andres-Belloa A, Martinez-Monzó J, et al. Evaluation of textural and sensory properties on typical Spanish small cakes designed using alternative flours. *J Culin Sci Technol* 2015;13(1):19-28.
17. Stable Micro Systems. Texture profile analysis: application note and user manual [Internet]. 2024 [cited 2025 Oct 25]. Available from: <https://www.stablemicrosystems.com>
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food energy – methods of analysis and conversion factors: report of a technical workshop. Rome: FAO; 2003.
19. AOAC International. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. Rockville MD: AOAC International; 2016.
20. ผ่องศรีกุล อิศรา. การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2545.
21. วิลาสินี มีมุข, ระพี กาญจนะ, อรุณรักษ์ อุปลัมภานนท์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมแป้งเสริมแป้งถั่วขาวโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี 2555;10(2):13-21.
22. เนตรนรินทร์ สุวรรณเดช, รัชมี พันธศรี, ธนวัฒน์ นกหงส์, วุฒิชัย ดวงจันทร์, ผกาวดี เอี่ยมกำแพง, ไสร์จรรย์ อื่นเกตุ. การใช้แป้งถั่วขาวทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ขนมชั้น. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ SAC ครั้งที่ 2 วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2561. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. พิษณุโลก; 2561. หน้า 208-17.



23. Han X, Zheng M, Chen C, Wang S, Guo J, Wang J, et al. Effect of White Kidney Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Flour on the Rheological Properties and Starch Digestion Characteristics of Noodles. *Foods* 2022;11(22):3680.
24. Marquezi M, Gervin VM, Watanabe LB, Bassinello PZ, Amante ER. Physical and chemical properties of starch and flour from different common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Braz J Food Technol* 2016;19:e2015088.
25. Codex Alimentarius Commission. Standard for wheat flour (CODEX STAN 152-1985). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization; 1985.
26. Yodmanee S, Karrila TT, Pakdeechanuan P. Physical, chemical and antioxidant properties of pigmented rice grown in Southern Thailand. *Int Food Res J* 2011;18(3):901-6.
27. Güler S, Köse E. The Impact of Flour from White Bean (*Phaseolus vulgaris*) on Rheological, Qualitative and Nutritional Properties of the Bread. *Food Nutr Sci* 2020;11:146–61.
28. Hoxha I, Xhabiri G, Deliu R. The Impact of Flour from White Bean (*Phaseolus vulgaris*) on Rheological, Qualitative and Nutritional Properties of the Bread. *Open Access Library Journal* 2020;7:e6059.
29. Ramezani S, Movahhed S, Rajaei P. Effect of additional white bean flour on chemical and staling properties of Iranian Barbari bread. *Ann Biol Res* 2013;4(3):109-12.
30. Maghsoudi S, Khodarahmi R, Zare H. Isolation and comparative characterization of α -amylase inhibitor from white common bean (*Phaseolus vulgaris*). *J Reports in Pharmaceutical Sciences* 2015;4(2):181-90.
31. Oboh HA, Muzquiz M, Burbano C, Cuadrado C, Pedrosa MM, Ayet G, et al. Effect of soaking, cooking and germination on the oligosaccharide and antinutritional factor contents of selected Nigerian legume seeds. *Plant Foods Hum Nutr* 2000;55(2):97–110.
32. Wang N, Hatcher DW, Tyler RT, Toews R, Gawalko EJ. Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Res Int* 2010;43(2):589-94.