
สมบัติทางกายภาพ เคมี เนื้อสัมผัส และประสาทสัมผัสของเค้กนึ่งที่ใช้ขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาลบางส่วน
บุศรา ตั้งศิริพัฒน์ภรณ์ และ กนกภรณ์ ครุฑภาพันธุ์*

Physicochemical, Textural, and Sensory Properties of Steamed Cake Formulated with Dried
Fish Sweet Paste as a Partial Sugar Substitute.

Bussara Tungsiriphatporn and Kanokporn Krutpapan*

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

* Corresponding author. E-mail address: Corresponding author e-mail: Kanokporn_k@rmutt

Received: 5th Aug 2025

; Revised: 22nd May 2026

; Accepted: 8th Jun 2026

DOI : 10.60101/jhet.2026.1266

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยขนมปลาแห้ง (ร้อยละ 20–100) ต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของเค้กนึ่ง โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 สูตร ซึ่งมีสัดส่วนปลาแห้งตั้งแต่ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% แทนน้ำตาลทราย ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณปลาแห้งส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง แต่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) เพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์จัดเป็นอาหารกึ่งแห้ง (a_w 0.69–0.72) ด้านเนื้อสัมผัสพบว่าค่าความแข็งและความสามารถในการเคี้ยวเพิ่มสูงขึ้นตามระดับการทดแทน ในขณะที่การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีระบุว่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าสูงสุดร้อยละ 5.84 ส่วนปริมาณไขมันและค่าพลังงานมีแนวโน้มลดลง สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า สูตรที่ทดแทนร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด (8.14) เนื่องจากมีความสมดุลของกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม สรุปได้ว่าการใช้ปลาแห้งในระดับที่พอเหมาะสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และสร้างเอกลักษณ์ให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ร่วมสมัยเพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ: เค้กนึ่ง, ปลาแห้ง, คุณค่าทางโภชนาการ, สมบัติทางกายภาพและเคมี

ABSTRACT

This research aimed to investigate the effects of substituting granulated sugar with dried fish sweet paste (at levels of 20%, 40%, 60%, 80%, and 100%) on the physical, chemical, and sensory properties of steamed cake. Using a Completely Randomized Design (CRD) with five formulation, the results indicated that increasing the proportion of dried fish significantly decreased lightness (L^*) while increasing yellowness (b^*) and water activity (a_w) ($P \leq 0.05$). All formulations were classified as intermediate moisture foods (a_w range: 0.69–0.72). Texture profile analysis showed that hardness and chewiness increased in correlation with substitution levels. Chemical analysis revealed a significant increase in protein content ($P \leq 0.05$), peaking at 5.84%, whereas fat content and total energy exhibited a downward trend. Sensory evaluation demonstrated that the 20% substitution level received the highest overall acceptance score (8.14) due to its optimal balance of flavor and texture. In conclusion, incorporating dried fish at an appropriate level enhances nutritional value and establishes a unique identity for contemporary bakery products, significant potential for commercial development.

keywords: steamed cake, dried fish, nutritional value, Physicochemical properties

บทนำ

ปัจจุบัน อุตสาหกรรมอาหารมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลง การแสวงหาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความแปลกใหม่และมีเอกลักษณ์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่สามารถสะท้อนอัตลักษณ์ของท้องถิ่น (local identity) รวมถึงมีการใส่ใจสุขภาพและโภชนาการ ส่งผลให้ผู้ประกอบการให้ความสำคัญกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ปลอดภัย และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความนิยมอย่างมาก คือ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จากวัตถุดิบพื้นบ้านที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น มีต้นทุนต่ำ และมีศักยภาพในการสร้างมูลค่าเพิ่ม ทั้งยังเป็นการส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชนและสืบทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน อาหารว่างไทยโบราณที่นิยมรับประทานในช่วงฤดูร้อน โดยเฉพาะในภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งมีการเลี้ยงหรือจับปลาน้ำจืด เช่น ปลาช่อน แล้วนำมาทำเป็นปลาแห้งหรือปลาตากเพื่อเก็บรักษา เมื่อถึงฤดูร้อนจึงนำปลาแห้งมารับประทานคู่กับแตงโมซึ่งมีน้ำมากและช่วยคลายร้อน เป็นตัวอย่างของการใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการสร้างรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ (มูลนิธิส่งเสริมศิลปาชีพฯ, 2559) อย่างไรก็ตาม อาหารประเภท นีกลับเริ่มลดความนิยมในกลุ่มคนรุ่นใหม่ จึงเกิดแนวคิดที่จะนำวัตถุดิบท้องถิ่นมาประยุกต์เข้ากับผลิตภัณฑ์ร่วมสมัย เพื่อสร้างความแตกต่างและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร

ปลาแห้งเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพสูงที่อุดมด้วยกรดอะมิโนจำเป็น ซึ่งมีศักยภาพในการเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ร่วมสมัย (Elnovriz et al., 2019) โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์เค้กซึ่งสามารถปรับหลักสูตรส่วนผสมให้เหมาะสมได้ (Gaceu et al., 2024) โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนปลาจะมีส่วนที่ทำหน้าที่ดึงดูดและจับกับโมเลกุล ของน้ำได้ดี ส่งผลให้ความหนืดของส่วนผสม (Batter Viscosity) เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการพองโครงสร้างฟองอากาศระหว่างการขึ้น อย่างไรก็ตาม สัดส่วนโปรตีนที่เพิ่มขึ้นอาจรบกวนการสร้างโครงข่ายกลูเตน (Gluten Network) ผ่านปรากฏการณ์การแทนที่โครงสร้าง ซึ่งส่งผล

ต่อลักษณะเชิงกลของเนื้อสัมผัส (Gaceu et al., 2024) ขณะเดียวกัน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและโมเลกุลน้ำยังช่วยลดค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ส่งผลต่อเสถียรภาพในการเก็บรักษา (Mondal & Ghosh, 2023) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Zulaikha et al. (2021) ที่ระบุว่า การเสริมโปรตีนปลาในปริมาณที่เหมาะสมช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยยังคงคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทั้งด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ร่วมสมัยโดยประยุกต์ใช้วัตถุดิบพื้นบ้าน เป็นกลยุทธ์สำคัญในการยกระดับมูลค่าทรัพยากรไทย และอนุรักษ์ภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมอาหาร (เกษราเบเกอร์ สิงห์บุรี, 2566; มุลนิธิส่งเสริมศิลปาชีพฯ, 2559) แม้ที่ผ่านมาจะมีการศึกษาวิจัยการผลิตขนมเบเกอรี่จากปลาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่สัตว์น้ำ (ชุดิณชนธรณ์ ทับทิมเขียว และ นัฐนันท์ ทวีรัตน์ธนนท์, 2551) รวมถึงมีการเสริมโปรตีนสกัดจากปลาเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการในขนมอบ การศึกษาที่ผ่านมาจะพบว่าการเสริมโปรตีนสกัดจากปลาช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงเนื้อสัมผัสในขนมอบได้ แต่การใช้ปลาแห้งจากตำรับปลาแห้งแดงโมในผลิตภัณฑ์เค้กนี้ยังไม่ปรากฏการศึกษาอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในด้านผลกระทบต่อโครงสร้างและสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างจากเบเกอรี่ทั่วไป (จักรินทร์ ตรีอินทองและคณะ, 2567) งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการใช้ขนมปลาแห้ง ต่อสมบัติเชิงกายภาพ เคมี และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเค้กนี้ เพื่อกำหนดสูตรมาตรฐานที่มีศักยภาพในเชิงพาณิชย์ และการสร้างความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ ผลการวิจัยจะเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบพื้นถิ่น เสริมสร้างโภชนาการ และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคด้านสุขภาพ พร้อมทั้งส่งเสริมเศรษฐกิจฐานรากและรักษาอัตลักษณ์อาหารไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการเติมปลาแห้งในระดับที่แตกต่างกันเพื่อทดแทนน้ำตาล (ร้อยละ 20–100) ในผลิตภัณฑ์เค้กนี้ต่อสมบัติเชิงกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์
2. เพื่อประเมินผลของปริมาณการเติมปลาแห้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเค้กนี้ที่มีการเติมปลาแห้งในระดับที่แตกต่างกัน

วิธีการศึกษา/วิธีการวิจัย

1. การผลิตปลาแดดเดียว

ทำการผลิตปลาแดดเดียวโดยอ้างอิงข้อมูลวิธีการผลิตจากงานของ นฤมล แบนเกลี้ยง และคณะ (2567), วิจิตรา เหลียวตระกูล และวชิรญา เหลียวตระกูล (2564) และจิตราภรณ์ ตันติพงศ์อาภา (2565) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 คัดเลือกวัตถุดิบ: ใช้ปลานิลจากบ่อวิสาหกิจชุมชนคลองหก ที่มีความสดใหม่ ขนาดใกล้เคียงกัน ขนาดประมาณ 3 ตัวต่อกิโลกรัม หรือ ประมาณ 350-400 กรัมต่อ 1 ตัว

1.2 ล้างทำความสะอาด: นำปลามาขอดเกล็ด ผ่าท้อง เอาไส้ออก และล้างด้วยน้ำสะอาด

1.3 หมักปลา: หมักด้วยเกลือบริสุทธิ์ในอัตราส่วนประมาณ 10% ของน้ำหนักปลา ทั้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง

1.4 ตากแดด: วางปลาที่หมักแล้วบนตะแกรง แล้วตากแดดกลางแจ้งเป็นเวลา 1–2 วัน จนเนื้อปลาแห้งหมด

1.5 เก็บรักษา: บรรจุในภาชนะที่สะอาดและปิดสนิท แล้วเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4°C

2. การผลิตขนมปลาแห้ง

ทำการผลิตขนมปลาแห้งโดยใช้สูตรการผลิตจากวิสาหกิจชุมชนคลอง 6 อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ที่มีการจำหน่ายภายในชุมชน มีสูตรการผลิตวัตถุดิบ:

- 2.1 ปลานิลตากแห้งตากแห้งย่าง (แกะเอาแต่เนื้อแล้วโขลกหยาบ ๆ) 150 กรัม
- 2.2 ตั้งกระทะใส่น้ำมัน 30 กรัม ใส่เนื้อปลาป่นลงไปผัดจนแห้งกรอบ
- 2.3 เติมน้ำตาลทรายขาว 75 กรัม และเกลือป่น 5 กรัม ลงไป ผัดจนเข้ากัน
- 2.4 ใส่หอมแดงซอยละเอียดเจียว 50 กรัม ผัดให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วปิดไฟ
- 2.5 พักไว้ให้เย็น: นำหน้าปลาแห้งไปพักให้เย็นก่อนบรรจุหรือเสิร์ฟ

3. การผลิตเค้กนึ่งผสมขนมปลาแห้ง

การผลิตเค้กนึ่งในงานวิจัยนี้ปรับสูตรจากแนวทางของ Singh et al. (2021) โดยมีการดัดแปลงสูตรให้เหมาะสมกับวัตถุดิบท้องถิ่น โดยเฉพาะการใช้ขนมปลาแห้งบดละเอียดเป็นแหล่งให้ความหวานแทนน้ำตาลทรายบางส่วน เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและสะท้อนอัตลักษณ์อาหารพื้นถิ่น

วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย แป้งเค้ก 100 กรัม, น้ำตาล 80 กรัม, ไข่ไก่เบอร์ 2 จำนวน 2 ฟอง, นมสด 50 มิลลิลิตร, ผงฟู 1 ช้อนชา, กลิ่นวานิลลา 1/2 ช้อนชา, ขนมปลาแห้งบดละเอียดตามสัดส่วนของแต่ละสูตร (รวมกัน 80 กรัมในแต่ละสูตร)

- 3.1 เตรียมเค้กนึ่งผสมขนมปลาแห้งโดยนำขนมปลาแห้งมาตำหรือนำเข้าเครื่องบดอาหารจนละเอียดพักไว้
- 3.2 ร่อนแป้งเค้กและผงฟูรวมกันสองครั้งเพื่อให้เนื้อแป้งละเอียดและช่วยให้เนื้อเค้กฟูเบา
- 3.3 ตีไข่ไก่ด้วยเครื่องตีไฟฟ้าความเร็วปานกลางจนขึ้นฟู (ประมาณ 5–7 นาที) แล้วจึงเติมขนมปลาแห้งบดแทนน้ำตาลในอัตราส่วนที่กำหนดตามการทดลอง

- 3.4 ตีส่วนผสมจนเข้ากันดี จากนั้นเติมนมสด และกลิ่นวานิลลา ตีด้วยความเร็วต่ำจนเป็นเนื้อเดียวกัน
- 3.5 เติมน้ำส่วนผสมที่ร่อนไว้ลงไปอย่างช้า ๆ ตีต่อจนได้เนื้อเค้กที่เนียน และไม่เป็นเม็ดแป้ง

3.6 เทส่วนผสมลงในพิมพ์ที่รองด้วยถ้วยกระดาษ แล้วนำไปนึ่งในหม้อนึ่งที่มีน้ำเดือดจัด กระบวนการนึ่งเค้กดำเนินการภายใต้การควบคุมอุณหภูมิไอน้ำให้คงที่ที่ $100 \pm 2^\circ\text{C}$ ด้วยความร้อนสูงสม่ำเสมอ เพื่อรักษาความดันไอน้ำและอัตราการส่งผ่านความร้อนให้คงที่ตลอดระยะเวลา 15–20 นาที ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเสถียรของความสามารถในการคงรูป ของขนมในขณะที่โดนความร้อน Singh et al. (2021) โดยมีการควบคุมปริมาณน้ำในหม้อนึ่งที่ระดับ 2/3 ของความจุเพื่อป้องกันความแปรปรวนของอุณหภูมิ และทำการตรวจสอบความสุกด้วยวิธีจิ้มตรงกลางผลิตภัณฑ์เพื่อให้มั่นใจว่าเกิดการสุกตัวของแป้ง (Starch gelatinization) อย่างสมบูรณ์ จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ออกจากพิมพ์มาพักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง $28 \pm 2^\circ\text{C}$ บนตะแกรงเป็นเวลา 30 นาที เพื่อควบคุมอัตราการระเหยของความชื้นก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีในลำดับถัดไป

4. ศึกษาปริมาณขนมปลาแห้งที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เค้กนึ่ง

ศึกษาปริมาณขนมปลาแห้งที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เค้กนึ่ง โดยประยุกต์ใช้แนวทางการศึกษาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเสริมโปรตีนจากงานของ Zulaikha et al. (2021) และ Singh et al. (2021) ร่วมกับการปรับสูตรให้เหมาะสมกับวัตถุดิบพื้นถิ่น การทดลองวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ Complete Randomized Design (CRD) โดยกำหนดปริมาณขนมปลาแห้งที่ใช้แทนน้ำตาลทรายเป็น 4 ระดับ ได้แก่สูตรร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ทำการผลิตสูตรละ 3 ซ้ำ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เค้กนึ่งที่ได้วิเคราะห์สมบัติ

ทางกายภาพ เคมี และการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกลุ่มผู้ทดสอบชิมต่อไป และนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD) รวมทั้งวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance ; ANOVA) และเปรียบเทียบ ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test; DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 1 ตารางปริมาณการทดแทนน้ำตาลทรายขาวของผลิตภัณฑ์เค้กนึ่งปลาแห้งทั้ง 5 สูตรการผลิต

ปริมาณการทดแทน	ขนมปลาแห้ง (กรัม)	น้ำตาลทรายขาว
ร้อยละ 0	0	80
20	16	64
40	32	48
60	48	32
80	64	16
100	80	0

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มหลัก ตามบทบาทหน้าที่ในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์การอาหาร ดังนี้

1. อุปกรณ์เตรียมวัตถุดิบและแปรรูปผลิตภัณฑ์ (Processing Equipment)

1.1 เครื่องชั่งดิจิทัลความละเอียดสูง (Analytical Balance): ใช้สำหรับชั่งตวงส่วนผสมตามสูตรมาตรฐาน เพื่อควบคุมความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

1.2 เครื่องบดอาหารและตะแกรงมาตรฐาน (Food Processor & Standard Sieve): ใช้บดขนมปลาแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh เพื่อให้ได้อนุภาคขนาดสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวในโครงสร้างเนื้อสัมผัส

1.3 เครื่องผสมอาหารไฟฟ้า (Electric Stand Mixer): ใช้ในการตีไข่และผสมแบทเทอร์ (Batter) โดยควบคุมความเร็วรอบและเวลาให้คงที่ตามระบบ Sponge Method

1.4 หม้อนึ่งไอน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Constant Temperature Steamer): สำหรับทำให้ผลิตภัณฑ์สุกด้วยความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ $100 \pm 2^\circ \text{C}$ (Singh et al., 2021)

2. เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (Physical Analysis Instruments)

2.1 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer): วิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแน่นเนื้อ (Hardness) และความเหนียว (Chewiness) โดยใช้โหมด Texture Profile Analysis (TPA)

2.2 เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter): วัดค่าความสว่าง (L^*), ความเป็นสีแดง (a^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) เพื่อประเมินผลของการเติมปลาแห้งต่อสีของผลิตภัณฑ์

2.3 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Analyzer): ใช้สำหรับวัดปริมาณความชื้นคงเหลือในเค้กนึ่งปลาแห้งหลังการนึ่งและพักให้เย็น

2.4 เวอร์เนียดิจิทัล (Digital Caliper): ใช้วัดขนาดและการขยายตัว วัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ ภายหลังการนี้ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าดัชนีการขยายตัว (Expansion index) และประเมินผลกระทบของการทดแทนน้ำตาลต่อการคงรูปของโครงสร้างเค้ก

3. เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Analysis Instruments)

3.1 ชุดวิเคราะห์โปรตีนและไขมัน (Kjeldahl & Soxhlet Unit): วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไขมันรวมตามระเบียบวิธีมาตรฐานของ AOAC (2019)

3.2 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Digital pH Meter): วัดค่า pH ของผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากการเติมวัตถุบัพัฟกัซัน

3.3 เตาเผามวลสาร (Muffle Furnace): สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash content) เพื่อระบุปริมาณแร่ธาตุรวมในผลิตภัณฑ์

4. เครื่องมือประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation Tools)

4.1 ห้องปฏิบัติการประสาทสัมผัสมาตรฐาน: สถานที่ควบคุมสภาวะแสงและเสียงตามมาตรฐาน ISO เพื่อลดปัจจัยรบกวนการตัดสินใจของผู้ทดสอบ

4.2 แบบประเมินความชอบ (9-point Hedonic Scale): เครื่องมือในการเก็บข้อมูลความพึงพอใจด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส จากกลุ่มผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 30 คน

5. เครื่องมือและการวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis Tools)

ข้อมูลทั้งหมดแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยอิงจากการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง (Triplicate) การวิเคราะห์ทางสถิติทำโดยใช้ซอฟต์แวร์ SPSS

5.1 ผลทางกายภาพ เคมี และเนื้อสัมผัส: ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) การเปรียบเทียบแบบ ค่าเฉลี่ยของการทดสอบ ทำโดยใช้การทดสอบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ $p \leq 0.05$

5.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส: ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากความแตกต่างระหว่างตัวบุคคลของผู้ทดสอบ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนการทดสอบของแต่ละสูตร ทำโดยใช้การทดสอบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ $p \leq 0.05$

ผลการศึกษา

ตารางที่ 2 ผลของการเติมขนมปลาแห้งที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์เค้กนึ่งที่ระดับแตกต่างกัน

สูตรการผลิต	ค่าสี			ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity)
	L*	a* ^{ns}	b*	
1	78.13 ^{ab} ±2.96	1.90±0.01	20.52 ^c ±1.26	0.69 ^b ±0.01
2	78.31 ^{ab} ±2.65	2.19±0.27	22.88 ^{abc} ±0.17	0.72 ^a ±0.01
3	79.15 ^a ±5.14	2.67±1.30	23.84 ^{ab} ±2.84	0.69 ^b ±0.01
4	72.33 ^b ±4.02	2.32±0.94	24.44 ^a ±1.39	0.72 ^a ±0.01
5	71.70 ^b ±0.63	2.48±0.43	21.06 ^{bc} ±1.21	0.72 ^a ±0.01

หมายเหตุ: ^{a,b}ตัวอักษรที่ภาษาอังกฤษเหนือตัวเลขที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ค่าสีของผลิตภัณฑ์เค้กนึ่งปลาแห้งทั้ง 5 สูตรการผลิต แสดงในตารางที่ 1 พบว่าค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสูตรที่ 4 ที่มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด การเปลี่ยนแปลงของสีนี้ไม่ได้เกิดจากเม็ดสีธรรมชาติในเนื้อปลาเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลมาจาก ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Maillard Reaction) ระหว่างกลุ่มอะมิโนของโปรตีนในเนื้อปลากับน้ำตาลรีดิวซ์ในส่วนผสมเมื่อได้รับความร้อนจากการนึ่ง จนเกิดสารเมลานอยดินส์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มและเหลืองนวลมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณปลาแห้งที่แตกต่างกันกลับไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของปลาแห้งมีผลต่อโทนสีเหลืองเป็นหลัก

จากการวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ (ตารางที่ 2) ของผลิตภัณฑ์เค้กนึ่งปลาแห้งที่มีการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยขนมปลาแห้งในปริมาณที่แตกต่างกัน 5 สูตรการผลิต พบว่า การทดแทนน้ำตาลทรายด้วยขนมปลาแห้งในปริมาณที่ต่างกันส่งผลให้ค่า a_w มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณปลาแห้งที่เติมลงไป เนื่องจากโปรตีนในเนื้อปลามีโครงสร้างที่สามารถดึงน้ำเข้ามาหาตัวได้ (Water Holding Capacity) แต่กระบวนการผลิตใช้วิธีการนึ่งที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง โปรตีนและส่วนประกอบของน้ำตาลในขนมปลาแห้งจึงดูดซับไอน้ำจากภายนอกเข้ามาสะสมในโครงสร้างมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากิจกรรมของน้ำขยับสูงขึ้นตามปริมาณการเติมปลาแห้ง (Damodaran & Parkin, 2017) ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ทุกสูตรมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.69–0.72 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food) โดยค่าดังกล่าวยังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคตามเกณฑ์ของ FDA และ Codex มาตรฐานความปลอดภัย ค่า $a_w < 0.60$ จัดเป็นอาหารที่ไม่อันตราย (Non-hazardous food) เนื่องจากแบคทีเรียก่อโรคส่วนใหญ่ โดยเฉพาะ *Staphylococcus aureus*

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กนึ่งปลาแห้งทั้ง 5 สูตรการผลิต

สูตรการผลิต	Texture Profile Analysis (TPA)			
	Hardness (g)	Springiness	Cohesiveness	Chewiness (g*m)
1	1653.24 ^c ±14.30	0.76 ^a ±0.06	0.41 ^a ±0.04	511.07 ^b ±1.11
2	3392.94 ^b ±19.72	0.72 ^{ab} ±0.12	0.39 ^{ab} ±0.03	911.81 ^{ab} ±4.89
3	3495.07 ^b ±35.97	0.67 ^{ab} ±0.22	0.37 ^{ab} ±0.02	676.18 ^b ±4.85
4	5238.61 ^{ab} ±19.95	0.55 ^{ab} ±0.08	0.36 ^b ±0.02	1010.54 ^{ab} ±3.51
5	8576.17 ^a ±24.48	0.49 ^b ±0.05	0.37 ^{ab} ±0.01	1535.42 ^a ±2.94

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

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เนื้อสัมผัสของเค้กนึ่งปลาแห้งที่ใช้ขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาลทรายลงไปปริมาณที่ต่างกัน (ตารางที่ 3) พบว่า การเพิ่มปริมาณขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาลส่งผลให้ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดย สูตรที่ 1 มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มที่สุดเนื่องจากน้ำตาลทำหน้าที่เป็นสารช่วยนุ่ม (Tenderizer) แต่เมื่อมีการทดแทนเพิ่มขึ้นใน สูตรที่ 2 และ 3 (20-40%) จนถึงระดับสูงสุดใน สูตรที่ 5 (100%) ค่าความแข็งสูงขึ้นถึง 8576.17 เนื่องจากการลดปริมาณน้ำตาลทำให้ขาดตัวช่วยขัดขวางการก่อตัวของโครงสร้างที่แน่นเกินไป ประกอบกับโปรตีนเข้มข้นจากปลาแห้งได้เข้าไปสร้างโครงข่ายเจลที่แข็งแรงและหนาแน่นขึ้นในเนื้อเค้กในส่วนของคุณค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และการเกาะตัว (Cohesiveness) มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนใน สูตรที่ 4 และ 5 (60-100%) โดยความยืดหยุ่นลดลงต่ำสุดที่ 0.49 เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่ลดลงส่งผลต่อการรักษาความชุ่มชื้นและโครงสร้างรูพรุนของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ เส้นใยกล้ามเนื้อจากปลาแห้งยังเปลี่ยนลักษณะเนื้อสัมผัสจากความนุ่มเป็นความเหนียวและแน่น (Toughness) ส่งผลให้ค่าความสามารถในการเคี้ยว (Chewiness) เพิ่มขึ้นตามลำดับซึ่งการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างในระดับการทดแทนที่สูงนี้อาจส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจด้านเนื้อสัมผัส ความนุ่มและความชอบโดยรวมของผู้บริโภค

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นในอาหารของผลิตภัณฑ์เค้กนึ่งปลาแห้งทั้ง 5 สูตรการผลิต

Treatment	องค์ประกอบเบื้องต้นในอาหาร (Proximate analysis) %					ค่าพลังงาน (กิโลแคลอรี)
	ความชื้น	เถ้า	ไขมัน	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	
1	36.68 ^b ±0.27	1.20 ^b ±0.22	3.76 ^a ±0.28	4.91 ^c ±0.23	53.25 ^e ±0.41	266.48 ^c ±0.11
2	36.70 ^b ±0.49	1.10 ^c ±0.04	3.77 ^a ±0.40	4.92 ^c ±0.05	53.51 ^d ±0.43	267.65 ^a ±0.26
3	36.84 ^a ±0.59	1.28 ^a ±0.07	3.20 ^c ±0.52	4.64 ^d ±0.10	54.04 ^a ±0.99	263.47 ^e ±0.21
4	36.38 ^c ±0.54	1.00 ^d ±0.18	3.34 ^b ±0.29	5.60 ^b ±0.29	53.68 ^c ±0.29	267.18 ^b ±0.13
5	36.37 ^d ±0.42	1.19 ^b ±0.22	3.04 ^d ±0.39	5.84 ^a ±0.31	53.80 ^b ±0.06	265.92 ^d ±0.36

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

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของผลิตภัณฑ์เค้กปลาแห้ง พบว่า การทดแทนน้ำตาลทรายด้วยขนมปลาแห้งส่งผลให้ปริมาณ โปรตีน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดย สูตรที่ 5 (ทดแทน 100%) มีโปรตีนสูงสุดที่ 5.84% เนื่องจากการได้รับโปรตีนเข้มข้นจากเนื้อปลา ในขณะที่ปริมาณ ไขมัน มีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนการเติมปลาแห้ง โดยสูตรที่ 5 มีค่าไขมันต่ำที่สุด (3.04%) ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการเจือจาง (Dilution effect) เนื่องจากเนื้อปลาแห้งมีไขมันต่ำกว่าส่วนผสมอื่นในสูตรเค้กมาตรฐานสำหรับ ค่าพลังงานรวม พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผันแปรอยู่ในช่วง 263.47–267.65 กิโลแคลอรี ตามการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในแต่ละสูตร การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในลักษณะนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีน แต่ยังช่วยลดสัดส่วนไขมันในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ และต้องการอาหารที่มีคุณประโยชน์สูงขึ้น

ตารางที่ 5 การทดสอบประสาทสัมผัสของเค้กปลาแห้งที่มีปริมาณปลาแห้งแตกต่างกันทั้ง 5 สูตรการผลิต

คุณลักษณะ	ค่าความแตกต่างเค้กปลาแห้ง				
	20%	40%	60%	80%	100%
ลักษณะปรากฏ	7.96±0.755 ^{ab}	8.16±0.681 ^a	7.86±0.756 ^b	7.42±0.883 ^c	6.90±0.735 ^d
สี	7.98±0.845 ^a	8.04±0.699 ^a	7.88±0.627 ^a	7.36±0.851 ^b	7.04±0.755 ^c
กลิ่น	7.86±0.808 ^a	7.74±0.899 ^{ab}	7.50±0.931 ^b	6.60±1.010 ^c	6.52±0.953 ^c
กลิ่นรสลาขณะเคี้ยว	7.48±0.735 ^a	7.46±0.676 ^a	7.22±0.954 ^a	6.02±0.845 ^b	5.90±0.814 ^b
รสชาติ	7.96±0.807 ^a	7.78±0.932 ^a	7.14±0.948 ^b	6.02±0.820 ^c	5.86±0.904 ^c
ความนุ่ม	8.46±0.579 ^a	8.10±0.707 ^b	7.32±0.957 ^c	6.16±0.842 ^d	5.96±0.880 ^d
ความชอบโดยรวม	8.14±0.729 ^a	8.02±0.714 ^a	7.46±0.885 ^b	6.08±0.853 ^c	5.64±0.776 ^d

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ^{a,b,c} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับอยู่ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ.05 ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเดียวกันอย่างน้อยหนึ่งตัวกำกับอยู่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 5 จากผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของเค้กปลาแห้งที่มีปริมาณปลาแห้งแตกต่างกัน พบว่า ผลิตภัณฑ์เค้กปลาแห้ง สูตรที่ 1 มีค่าเฉลี่ยการยอมรับในคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบชิมสูงสุดอยู่ที่ 8.14 รองลงมาคือสูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยการยอมรับอยู่ที่ 8.02, 7.46, และ 6.08 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแยกวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์เค้กปลาแห้งที่มีปริมาณปลาแห้งแตกต่างกัน ตามคุณลักษณะอื่นๆ ได้ดังนี้

ด้านลักษณะปรากฏและสี:

สูตรที่ 2 (การทดแทน 40%) ได้รับคะแนนสูงสุด (8.16 และ 8.04) แม้ผลการวิเคราะห์ค่าสี (ตารางที่ 2) จะระบุว่าสูตรที่มีปลาแห้งสูงจะมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง แต่ผู้ทดสอบกลับชื่นชอบสีเหลืองนวลที่เพิ่มขึ้นจากค่า b^* ซึ่งเป็นผลมาจากเม็ดสีธรรมชาติในปลาและการเกิด ปฏิกิริยา Maillard ในช่วงการนึ่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูน่ารับประทานมากกว่าสูตรควบคุมที่อาจดูขาวซีดจนเกินไป อย่างไรก็ตาม ในสูตรที่ 4 และ 5 คะแนนด้านนี้ลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เข้มเกินไปทำให้สีของผลิตภัณฑ์ดูคล้ำและไม่สม่ำเสมอ

ด้านกลิ่น กลิ่นรสปลาขณะเคี้ยว และรสชาติ:

สูตรที่ 1 (การทดแทน 20%) ได้รับคะแนนสูงสุดในด้านกลิ่น (7.86) รสชาติ (7.96) และกลิ่นรสปลา (7.48) โดยคะแนนจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของปลาแห้ง สาเหตุสำคัญเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนและไขมันจากเนื้อปลา (ตารางที่ 4) ซึ่งเมื่อถูกความร้อนจะปลดปล่อยสารระเหยที่ให้กลิ่นคาวเฉพาะตัว (Fishy off-flavor) หากใช้ในปริมาณที่สูงเกินไป (เช่น สูตรที่ 4 และ 5) จะทำให้รสหวานของเค้กลดลงจากการแทนที่น้ำตาลทราย และถูกกลบด้วยกลิ่นรสปลาที่เข้มข้นจนเกินความพึงพอใจของผู้บริโภค

ด้านความนุ่มและความชอบโดยรวม:

สูตรที่ 1 ได้รับคะแนนความนุ่มสูงสุด (8.46) และค่อยๆ ลดลงจนต่ำสุดในสูตรที่ 5 (5.96) ผลสัมพัทธ์นี้สอดคล้องกับค่าความแข็ง (Hardness) ในตารางที่ 3 ที่พุ่งสูงขึ้นตามการลดลงของน้ำตาลทรายซึ่งเป็นสารช่วยนุ่ม (Tenderizer) และการเพิ่มขึ้นของโครงข่ายโปรตีนที่แน่นตัว ส่งผลให้ผู้ทดสอบรู้สึกว่าการเคี้ยวมีความเหนียวและแข็ง (Toughness) มากเกินไปในสูตรที่มีการทดแทนสูง



ภาพที่ 1 สูตรการผลิตที่ 1 :เค้กนึ่งผสมขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาล ร้อยละ 20



ภาพที่ 2 สูตรการผลิตที่ 2 :เค้กนึ่งผสมขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาล ร้อยละ 40



ภาพที่ 3 สูตรการผลิตที่ 3 :เค้กนึ่งผสมขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาล ร้อยละ 60



ภาพที่ 4 สูตรการผลิตที่ 4 :เค้กนึ่งผสมขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาล ร้อยละ 80



ภาพที่ 5 สูตรการผลิตที่ 5 :เค้กนึ่งผสมขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาล ร้อยละ 100

การอภิปรายผล

1. ผลของการเติมปลาแห้งต่อสมบัติเชิงกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยขนมปลาแห้งส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะค่าสีและค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) การที่ค่าความสว่าง (L^*) ลดลงและค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ นฤมล แป้นเกลี้ยง และคณะ (2567) ที่ระบุว่าวัตถุดิบปลาแปรรูปมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากสารสีตามธรรมชาติที่อยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์ นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ระหว่างโปรตีนปลาและน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อนยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Gaceu et al. (2024) ในส่วนของค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) ที่เพิ่มขึ้นในช่วง 0.69–0.72 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Pongsawatmanit et al. (2002) ซึ่งอธิบายว่าการลดลงของปริมาณน้ำตาลในสูตรส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมดุลของน้ำในโครงสร้างแป้ง โดยน้ำตาลทำหน้าที่แย่งจับโมเลกุลน้ำ (Competition for water) และลดความพร้อมของน้ำที่จะทำ

ปฏิกิริยาได้ ทั้งนี้เมื่อมีการทดแทนน้ำตาลด้วยขนมปลาแห้ง ความสามารถในการจับน้ำของโปรตีน (Water Holding Capacity) จะเข้ามามีบทบาทแทนที่ โดย Mondal และ Ghosh (2023) อธิบายว่าโครงสร้างโปรตีนจะช่วยกักเก็บโมเลกุลน้ำไว้ภายใน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเป็นอาหารกึ่งแห้ง ด้านเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis) พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Chewiness) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการทดแทนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดของ Singh et al. (2021) ที่ระบุว่า การเสริมแหล่งโปรตีนในปริมาณสูงจะช่วยเสริมสร้างโครงข่ายเจล (Gel Network) ให้หนาแน่นขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งเพิ่มขึ้นจนส่งผลต่อความแข็งทางกายภาพ สำหรับองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นชัดเจนในสูตรที่ 5 (5.84%) สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพ ในการเพิ่มคุณค่าโภชนาการตามแนวทางของ Zulaikha et al. (2021) ที่สนับสนุน การใช้โปรตีนจากธรรมชาติเพื่อพัฒนาเบเกอรี่

2. ผลของปริมาณการเติมปลาแห้งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเค้กนึ่งการประเมิณทางประสาทสัมผัส พบว่า ระดับการทดแทนน้ำตาลทรายที่เหมาะสมมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคอย่างชัดเจน โดยสูตรที่ใช้ปลาแห้งร้อยละ 20 และ 40 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงความสมดุลระหว่างกลิ่นรสของวัตถุดิบท้องถิ่นกับเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิจิตรา เหลียวตระกูล และวชิรญา เหลียวตระกูล (2564) ที่กล่าวว่าการประยุกต์ใช้วัตถุดิบจากปลาในผลิตภัณฑ์ควรอยู่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้กลิ่นคาวกระทบต่อการยอมรับ สอดคล้องกับข้อสังเกตของ จักรินทร์ ตรีอินทอง และคณะ (2567) ที่ระบุว่ากลิ่นเฉพาะตัวของปลา (Fishy off-flavor) อาจกลายเป็นข้อจำกัดหากสัดส่วนไม่สมดุลกับรสชาติหลัก นอกจากนี้ คะแนนด้านความนุ่มที่ลดลงในสูตรที่ 4 และ 5 มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความแข็งทางกายภาพ แสดงให้เห็นว่าเนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวเกินไปส่งผลต่อความพึงพอใจในการเคี้ยว ซึ่ง Singh et al. (2021) เน้นย้ำว่าการยอมรับของผู้บริโภคเป็นปัจจัยชี้ขาดสำคัญในการนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดเชิงพาณิชย์ ดังนั้นการใช้ปลาแห้งในระดับร้อยละ 20-40 จึงเป็นส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างความแปลกใหม่และเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบชุมชนคลองหก โดยยังคงคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคพึงพอใจ สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาอาหารที่ยั่งยืน และการรักษาอัตลักษณ์อาหารไทย (มูลนิธิส่งเสริมศิลปาชีพฯ, 2559)

สรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ขนมปลาแห้งแทนน้ำตาลทรายในสูตรเค้กนึ่งต่อสมบัติเชิงกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการสะท้อนอัตลักษณ์ของอาหารพื้นบ้าน ผลการศึกษาพบว่า

1. สมบัติทางกายภาพและเคมี การเสริมขนมปลาแห้งส่งผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่า a_w เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.69-0.72 ซึ่งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food) ที่เอื้อต่อเสถียรภาพในการเก็บรักษาในด้านเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis) พบว่าการเพิ่มสัดส่วนปลาแห้งส่งผลให้ค่าความแข็ง (Hardness) ความเหนียว (Cohesiveness) และความสามารถในการเคี้ยว (Chewiness) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโครงสร้างโปรตีนจากปลาและการลดลงของน้ำตาลที่ช่วยรักษาความนุ่ม สำหรับองค์ประกอบทางเคมีพบว่า ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทน ในขณะที่ปริมาณไขมันและค่าพลังงานรวมมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นการยกระดับคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์

2. คุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่า สูตรที่ใช้ขนมปลาแห้งทดแทนน้ำตาลทรายในระดับร้อยละ 20 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (8.14) โดยผู้ทดสอบให้การยอมรับสูงสุด

ในทุกคุณลักษณะทั้งด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความนุ่ม ซึ่งสะท้อนถึงความสมดุลที่ลงตัวของรสชาติของวัตถุดิบพื้นบ้านและลักษณะเนื้อสัมผัสของเบเกอรี่ร่วมสมัยบทรูปและข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนการทดแทนร้อยละ 20 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กนึ่งปลาแห้ง เนื่องจากสามารถเพิ่มคุณค่าโภชนาการด้านโปรตีนและลดปริมาณไขมัน โดยยังคงรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคพึงพอใจ ผลงานวิจัยนี้ไม่เพียงแต่เป็นการสร้างนวัตกรรมอาหารร่วมสมัยจากอัตลักษณ์ท้องถิ่นคลองหก แต่ยังมีศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ท่านสนับสนุนการพัฒนาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรมประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 (รหัสโครงการวิจัย FRB66E0916) (รหัสคำรับรอง FRB670027/0168)

เอกสารอ้างอิง

- เกษราเบเกอรี่ สิงห์บุรี. (2566). *สูตรเค้กปลาซ่อนเพื่อสุขภาพ* (เอกสารประกอบการอบรม). สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดสิงห์บุรี.
- จักรินทร์ ตรีอินทอง, อ้อยทิพย์ สมานรส และปิยะฉัตร วิริยะอำไพวงศ์. (2567). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งเสริมปลาฉวี แก้วตากแห้ง. *วารสารเกษตรพระวรุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 21(1), 96–105.
- จิตรภรณ์ ตันติพงศ์อาภา. (2565). การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาในพื้นที่ตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกะลาสินธุ์ จังหวัดสงขลา (รายงานผลการวิจัย). คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- นฤมล แป้นเกลี้ยง และคณะ. (2567). บอกแดดเดียว : วิธีการทำปลากระบอกแดดเดียวเพื่อส่งเสริมอาชีพในชุมชน กรณีศึกษา ชุมชนบ้านแหลมตะลุมพุก หมู่ที่ 2 ตำบลแหลมตะลุมพุก อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารสังคมพัฒนศาสตร์*, 7(1), 13–25.
- ชุติมณฑาภรณ์ ทับทิมเขียว และนันทน์ ทวีรัตน์ธนนท์. (2551). *ขนมขบเคี้ยวจากปลา* (รายงานผลการวิจัย), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- มูลนิธิส่งเสริมศิลปาชีพฯ. (2559). *สูตรอาหารพื้นบ้านไทย*. สำนักพิมพ์ศิลปาชีพ.
- วิจิตรา เหลียวตระกูล และวชิรญา เหลียวตระกูล. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาสดแดดเดียวทอดกรอบโดยใช้ตู้อบลมร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 9(2), 21–28.
- อัจฉรา ชนะสิทธิ์. (2541). *การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนปลาสด* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (Eds.). (2017). *Fennema's food chemistry* (5th ed.). CRC Press.
- Elnovriza, D., Riyadi, H., Rimbawan, R., Damayanthi, E., & Winarto, A. (2019). Development of fish bars as a high zinc and calcium snack made from bilih fish (*Mystacoleus padangensis* Blkr) flour. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 14(2), 83–90. <https://doi.org/10.25182/jgp.2019.14.2.83-90>

- Gaceu, L., Oprea, A., & Gruia, R. (2024). The influence of animal-based protein on the physical and sensory attributes of steamed bakery goods. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 35, Article 100852. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.100852>
- Mondal, A., & Ghosh, S. (2023). Water activity and protein interactions in intermediate moisture foods: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 46(4), Article e14285. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14285>
- Pongsawatmanit, R., Thanasukarn, P., & Ikeda, S. (2002). Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions. *ScienceAsia*, 28(2), 129–134. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2002.28.129>
- Singh, A., Sharma, S., Singh, B., & Attri, S. (2021). Influence of high-protein ingredients on the structural and sensory attributes of steamed cakes. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1420–1431. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04867-2>
- Singh, P., Kumar, R., Sharma, S. & Singh, A. (2021). Texture profile analysis and sensory acceptance of fortified steamed cakes. *LWT - Food Science and Technology*, 142, Article 111124. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111124>
- Zulaikha, Y., Yao, S. H., & Chang, Y. W. (2021). Physicochemical and functional properties of snack bars enriched with tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product powders. *Foods*, 10(8), Article 1908. <https://doi.org/10.3390/foods10081908>