

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

วรรณวิมล พุ่มโพธิ์^{1*} วิสุมดา ชติยะ² สุกัสสร เอี่ยมอิน³ อหิตยา ศรีพิณท์⁴ หทัยภัทร ตรีธรรนา⁵

Received : September 27, 2025

Revised : March 19, 2026

Accepted : April 9, 2026

บทคัดย่อ

เค้กข้าวเพื่อสุขภาพเป็นการนำเทคนิคทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการกระบวนการผลิต โดยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ ช่วยสร้างโครงสร้างฟองอากาศที่ละเอียดและลดค่าความแข็ง (Hardness) ของเค้ก แป้งข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่นุ่มฟูและปราศจากกลูเตน (Gluten-free) ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้ป่วยโรคแพ้กลูเตน (Celiac Disease) งานวิจัยนี้จะทำการศึกษานิตของแป้งข้าว 3 ชนิด คือ แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ แป้งข้าวหอมสุรินทร์ และแป้งข้าวข 43 พบว่า ชนิดของแป้งส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเค้กจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด 8.23 โดยคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบมาก เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง สนับสนุนการกักเก็บก๊าซและสร้างโครงสร้างที่นุ่มฟู การศึกษาผลของสารให้ความหวานซูคราโลสต่อลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าว พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของสารให้ความหวานจะส่งผลให้ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาตรจำเพาะของเค้กข้าวมีแนวโน้มลดลงขณะที่ความหนาแน่นของเค้กข้าวมีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การทดแทนซูคราโลสร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสโดยรวม 8.07 โดยคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบมาก ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ พบว่ามีปริมาณ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้าที่ 49.86, 10.38, 19.92, 17.38, 0.92 และ 1.54 ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงนวัตกรรมการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่สามารถพัฒนาเนื้อสัมผัสเค้กจากแป้งข้าวให้มีความนุ่มฟูและปราศจากกลูเตน ซึ่งมีศักยภาพเชิงอุตสาหกรรมสูงในการผลิตอาหารพร้อมทานเชิงสุขภาพที่ตอบโจทย์ความสะดวกและคุณค่าทางโภชนาการในยุคปัจจุบัน

คำสำคัญ: ก๊าซไนตรัสออกไซด์ เค้กข้าว ซูคราโลส แป้งข้าว ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ

¹ สาขาวิชาธุรกิจอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก
อีเมล: wanvimon@mutl.ac.th

² สาขาวิชาธุรกิจอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก

³ สาขาวิชาธุรกิจอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก

⁴ สาขาวิชาธุรกิจอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก

⁵ สาขาวิชาธุรกิจอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
จังหวัดเชียงใหม่

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: wanvimon@mutl.ac.th

DEVELOPMENT OF HEALTHY RICE-BASED CAKE USING MICROWAVE TECHNOLOGY COMBINED WITH NITROUS OXIDE GAS

Wannawimon Phumppo¹ Wisuda Khattiya² Supassorn Iam-in³ Atitaya Sripin⁴
Hathaipat Treetanwa⁵

Abstract

This research explores the development of healthy rice flour cakes by integrating scientific techniques, specifically combining microwave technology with nitrous oxide (N₂O) gas. The synergistic effect of N₂O as an aerating agent and microwave heating effectively facilitated the formation of a fine pore structure while significantly reducing hardness, resulting in a soft, aerated, and gluten-free product. This provided a novel, safe alternative for individuals with Celiac Disease. The study investigated three types of rice flour Riceberry, Surin Jasmine, and RD43 revealing that the flour type significantly influenced both physical characteristics and texture ($p < 0.05$). The Riceberry rice cake received the highest overall acceptability score of 8.23 ("liked very much") which was attributed to its high amylopectin content, promoting superior gas retention and a fluffy structure. Regarding sweetener optimization, results indicated that increasing sucralose proportions significantly altered physical properties, leading to higher lightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*) values. Furthermore, higher sweetener ratios led to a decrease in specific volume while significantly increasing density. Sensory evaluation confirmed that 100% sucralose substitution received an overall acceptability score of 8.07 (like very much). Proximate analysis of the optimized N₂O microwave processed cake revealed contents of 49.86% moisture, 10.38% protein, 19.92% fat, 17.38% carbohydrates, 0.92% crude fiber, and 1.54% ash. This research demonstrates an innovative technological application that successfully enhances the texture of gluten-free rice flour cakes. This development holds substantial industrial potential for the production of healthy, ready-to-eat foods that satisfy modern consumer demands for both convenience and high nutritional value.

Keywords: Nitrous oxide, Rice-based cake, Sucralose, Rice flour, Healthy product

¹ Food Business and Nutrition, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Tak Province, e-mail: wanvimon@rmutl.ac.th

² Food Business and Nutrition, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Tak Province

³ Food Business and Nutrition, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Tak Province

⁴ Food Business and Nutrition, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Tak Province

⁵ Food Business and Nutrition, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai Province

* Corresponding author, e-mail: wanvimon@rmutl.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันตลาดเบเกอรี่ของไทยมีมูลค่า 22.3 พันล้านบาท และเติบโตร้อยละ 7 โดยแบ่งเป็นขนมปัง 12.8 พันล้านบาท เค้ก 5 พันล้านบาท และพายและขนมอบ 4.4 พันล้านบาท ซึ่งอุตสาหกรรมเบเกอรี่มีแนวโน้มเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องจากพฤติกรรมผู้บริโภคที่มีชีวิตที่เร่งรีบและต้องการความสะดวกสบายในการรับประทาน ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จึงเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคเลือกรับประทานเป็นอาหารว่าง รวมไปถึงบริโภคทดแทนอาหารมื้อหลัก (สมิธ, 2564) นอกจากนี้ กระแสความตื่นตัวของคนไทยที่มีให้กับอาหารเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอาหารในกลุ่มฟังก์ชันนอล (Functional Food) ซึ่งเป็นอาหารเพื่อสุขภาพจากธรรมชาติที่ผ่านการแปรรูปน้อยที่สุด โดยพบว่ามีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 3.5 ต่อปี มีมูลค่าราว 187,000 ล้านบาท และในปี 2565 ตลาดจะมีมูลค่าเพิ่มขึ้นเป็น 213,099 ล้านบาท ขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 2.7 ต่อปี (กุลศักดิ์, 2563)

เค้กเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเบเกอรี่ที่รู้จักกันโดยทั่วไป และเป็นที่ยอดนิยมของผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย เค้ก (Cake) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ทำจากแป้งสาลี น้ำตาล เกลือ ผงฟู ไขมัน นม ไข่ และกลิ่นรส ส่วนผสมเหล่านี้เมื่อรวมกันจะทำให้ผลิตภัณฑ์เค้กที่มีเนื้อละเอียดและเบา (จิตธนา แจ่มเมฆ, 2541) เนื่องจากเค้กมีส่วนประกอบหลัก คือ แป้งสาลี ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีการนำข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นจำนวนมาก และเป็นกลุ่มของพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นแหล่งของใยอาหารที่มีปริมาณสูงในกลุ่มของข้าวกล้อง (สำนักส่งเสริมการผลิตข้าวกรมการข้าว, 2561) อีกทั้งการตระหนักถึงความสำคัญของโรค Celiac Disease หรือโรคการอักเสบของลำไส้ที่เกิดจากการแพ้กลูเตน ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบการทำงานของลำไส้เล็ก โดยโรคนี้เกิดจากระบบภูมิคุ้มกันมีปฏิกิริยาต่อกลูเตนที่ได้จากข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์และข้าวไรย์ ซึ่งข้อจำกัดนี้ทำให้ผู้ป่วยที่มีภาวะแพ้กลูเตนไม่สามารถบริโภคเค้กที่ทำจากแป้งสาลีทั่วไปได้ การใช้แป้งข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ปราศจากกลูเตน (Gluten-free) จึงเป็นแนวทางสำคัญในการจัดซื้อจำกัดดังกล่าว (อมรรัตน์ เจริญ, 2559)

การใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไดร็อกไซด์ (N_2O) เป็นนวัตกรรมที่ช่วยแก้ปัญหาโครงสร้างของขนมอบปราศจากกลูเตนในกระบวนการผลิตเค้กข้าว ถือเป็นแนวทางใหม่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพ ไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีที่สามารถเพิ่มความสะดวกและลดเวลาการผลิตได้ดี ขณะที่ก๊าซไดร็อกไซด์จะช่วยให้เนื้อเค้กมีความเบาและฟูได้ดีกว่า (Zhou & Li, 2015) การใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ร่วมกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเค้กข้าวและยังช่วยให้ได้เนื้อสัมผัสที่นุ่มและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น (González et al., 2019)

ด้วยเหตุผลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาการผลิตเค้กข้าวเพื่อสุขภาพ ที่มุ่งเน้นการใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนโตรออกไซด์ เพื่อพัฒนาเค้กข้าวที่ไม่มีกลูเตนและใช้น้ำตาลต่ำ โดยมุ่งหวังให้เป็น

ผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่ตอบโจทย์ทั้งด้านโภชนาการและความสะดวกในรูปแบบอาหารพร้อมทาน (Ready-to-eat) สำหรับสังคมยุคใหม่ ทำการศึกษานิตของข้าวที่เหมาะสมในการผลิตเค้กข้าวด้วยไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ ศึกษาผลของสารให้ความหวานต่อลักษณะทางกายภาพของเค้ก รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าของโภชนาการของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพ การใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นการนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์เค้กข้าวที่พัฒนาขึ้นจะสามารถเป็นทางเลือกที่ดีและมีประโยชน์ต่อสุขภาพในตลาดอาหารพร้อมทาน และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มองหาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการในรูปแบบที่สะดวกและเหมาะสมกับไลฟ์สไตล์ในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษานิตของข้าว
2. เพื่อศึกษาผลของสารให้ความหวาน
3. องค์ประกอบทางเคมีของเค้กข้าวที่ผลิตด้วยไมโครเวฟและก๊าซไนตรัสออกไซด์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมแป้งข้าว

ในงานวิจัยนี้ใช้แป้งข้าวทั้ง 3 ชนิด คือ แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ แป้งข้าวหอมสุรินทร์ และแป้งข้าว กข43 โดยมีวิธีการเตรียมแป้งข้าว ดังนี้ นำข้าวจำนวน 1 กิโลกรัม มาล้างทำความสะอาดแช่ในน้ำปริมาตร 1.5 เท่าของน้ำหนักข้าว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นล้างทำความสะอาด ทั้งให้สะอาดน้ำข้าวที่ผ่านการแช่ไปนี้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำข้าวที่ผ่านการนึ่งสุกแล้ว นำมาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 12 เมื่อครบกำหนดเวลานำข้าวที่แห้งแล้วมาบดด้วยเครื่องปั่นละเอียด ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 30 วินาที ร่อนแป้งด้วยตะแกรกร่อนแป้งความถี่ 80 เมช จากนั้นนำไปบรรจุลงในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิล ภายใต้อากาศสุญญากาศเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2. การเตรียมเค้กข้าวโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

เตรียมแป้งข้าวตามวิธีในข้อ 1 จากนั้นผลิตเค้กข้าวตามส่วนผสมในตารางที่ 1 ทำได้โดยตีไข่กับน้ำตาลด้วยตะกร้อมือเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเติมแป้งข้าว ผงฟู และเกลือ ตีผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที เติมน้ำมันพืชที่เป็นของเหลว (นม กลิ่นนมเนย และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำเชื่อมผสมต่อเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้มารองโดยใช้ตะแกรกรองส่วนผสมที่ผ่านกรองลงในขวดบีบีบีปิ้งครีมอัดก๊าซไนตรัสออกไซด์เขย่า 10 วินาที พักทิ้งไว้ 20 วินาที จากนั้นบีบส่วนผสมลงในแก้วกระดาษ (ปริมาตร 4 มิลลิลิตร) จำนวน 20 กรัม นำเข้าอบโดยใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เค้กข้าวสำหรับการทดลองต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรพื้นฐานในการทำเค้ก

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)	ร้อยละ
ไข่ไก่เบอร์ 2	147	54.62
แป้งข้าว	36.6	13.60
น้ำตาลทรายขาว	36	13.37
น้ำมันถั่วเหลือง	28.3	10.51
นมจืด	10	3.71
สารเสริม	5.3	1.97
กลิ่นนมเนย	2.6	0.97
ผงฟู	2.6	0.97
เกลือ	0.75	0.28

ที่มา: ดัดแปลงจาก จิตธนา แจ่มเมฆ (2541) และ อมรรัตน์ เจริญ (2559)

3. การศึกษาชนิดของข้าวต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าวโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนโตรสออกไซด์

ศึกษาชนิดของแป้งข้าว 3 ชนิด คือ แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ แป้งข้าวหอมสุรินทร์ และแป้งข้าวข 43 จากนั้นวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าวโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนโตรสออกไซด์ ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ค่าสีของเค้กข้าวโดยใช้เครื่องวัดสี (Chroma meter : Minolta CR - 400, Japan) ซึ่งแสดงผลในรูปของค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

3.2 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของเค้ก (Specific Volume)

3.3 วัดปริมาตรของเค้กข้าวโดยใช้การแทนที่ด้วยเมล็ดงาตามวิธีของ AACC method 10 - 05 (AACC, 2000) และวัดน้ำหนักของเค้ก

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาตรของเค้ก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}{\text{น้ำหนักเค้ก (กรัม)}}$$

3.4 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของเค้ก ดัดแปลงจากมาตรฐาน มอก. 374 - 2524 (Thai Industrial Standards Institute, 1981)

$$\text{ความหนาแน่นของเค้ก} = \frac{\text{น้ำหนักเค้ก (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของเค้ก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

3.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเค้กข้าว ด้วยเครื่อง Texture analyzer วิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ (Hardness) ของเค้กข้าวด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร (รุ่น P/50) กำหนดความเร็ว Pre-test 2 มม./วินาที และ Test speed ที่ 10 มม./วินาที ส่วน Post-test speed ที่ 2 มม./วินาที กดที่ระยะ 10 มิลลิเมตรของความสูงของตัวอย่าง

4. การศึกษาผลของสารให้ความหวานทดแทนการใช้น้ำตาลในผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

นำเค้กข้าวที่ได้คะแนนความชอบรวมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสสูงสุด มาทำการศึกษาผลของสารให้ความหวาน คือ ซูคราโลสที่ระดับการทดแทน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 50 75 และ 100 อัตราส่วนของซูคราโลสแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าวตามวิธีในข้อ 3

ตารางที่ 2 อัตราส่วนของซูคราโลสในการผลิตเค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

ส่วนผสม	อัตราส่วน (ร้อยละ)			
	0	50	75	100
น้ำตาลทราย	13.37	6.68	3.34	-
ซูคราโลส	-	0.011	0.016	0.022

5. การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

นำเค้กข้าวแบ่งข้าว มาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนแบบ 9 - Point hedonic scale ที่คะแนนความชอบตั้งแต่ 1 - 9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 9 = ชอบมากที่สุด) ในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ทดสอบกับผู้ที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน (n=30) โดยเสิร์ฟเค้กข้าวในถ้วยทรงกลม ขนาด 5X3 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan new Multiple Range Test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

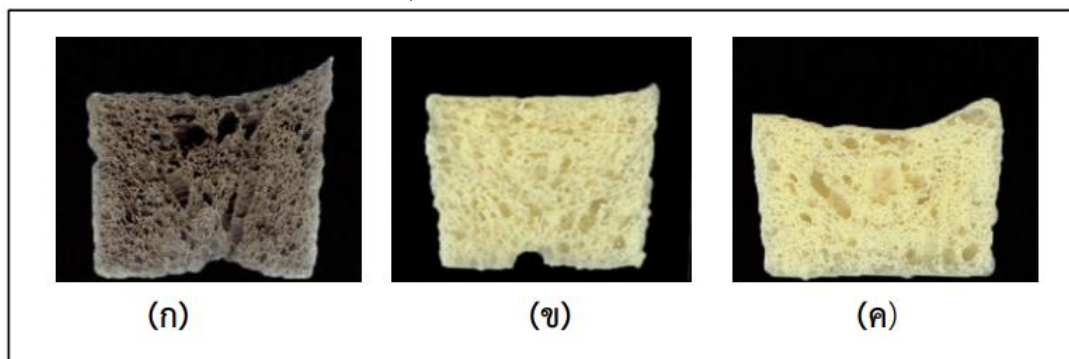
6. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของเค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

การศึกษารวบรวมองค์ประกอบทางเคมีของเค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยนำเค้กข้าวที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตตามวิธีของ (AOAC, 2012) และศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของเค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษานิตของข้าวต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าวโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

การศึกษานิตของแป้งข้าวที่เหมาะสมต่อลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าว โดยทำการศึกษแป้งข้าว 3 ชนิด คือ แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ แป้งข้าวหอมสุรินทร์ และแป้งข้าวข 43 ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเค้กจากแป้งข้าว 3 ชนิด

(ก) แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ข) แป้งข้าวหอมสุรินทร์ (ค) แป้งข้าวข. 43

จากตารางที่ 3 พบว่าชนิดของข้าวที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เค้กข้าวโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเค้ก ค่าสีของเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าความสว่าง (L^*) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเค้กข้าวหอมสุรินทร์และเค้กข้าวข 43 โดยสีของเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่เกิดจากการมีสารแอนโทไซยานินที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในข้าวไรซ์เบอร์รี่ สารแอนโทไซยานินมีสีเข้มส่งผลทำให้สีของข้าวมีความเข้มขึ้น ค่าความสว่างของเค้กข้าวข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น ๆ ที่ไม่มีสารแอนโทไซยานิน (Haug and Lantz, 2018) อีกทั้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีเยื่อใยที่สูง โดยเฉพาะในเปลือกข้าวที่ยังคงอยู่หลังจากกระบวนการแปรรูป เยื่อใยเหล่านี้ทำให้เกิดการเกิดการสะท้อนแสงจากผิวเค้กข้าวน้อยลง เนื่องจาก

โครงสร้างของเปลือกที่มีสารอินทรีย์และไฟเบอร์ที่สามารถดูดซับแสงได้ ทำให้เค้กข้าวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความสว่างต่ำกว่า (Chin et al., 2017)

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้านสี ปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของเค้กข้าว

ลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าว	ชนิดของแป้งข้าว		
	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	ข้าวหอมสุรินทร์	ข้าว กข 43
ค่าสี			
L *	36.06±3.11 ^b	56.50±3.97 ^a	55.40±2.71 ^a
a *	-12.51±7.26 ^b	-8.34±0.65 ^a	-8.38±0.38 ^a
b *	11.72±1.77 ^c	31.30±3.11 ^a	28.78±1.70 ^b
ปริมาตรจำเพาะ	4.27±0.34 ^a	3.94±0.25 ^b	3.32±0.17 ^c
ความหนาแน่น	4.13±0.52 ^b	4.30±0.25 ^b	4.87±0.41 ^a
เนื้อสัมผัส			
Hardness (g)	345.28±31.43 ^b	347.13±29.30 ^b	644.05±41.34 ^a

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) จากการทดลอง 3 ซ้ำ
^{a-c} หมายถึงค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาตรจำเพาะ เป็นค่าที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสและลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น ความเบาหรือความฟูของเค้กข้าว จากตารางที่ 3 พบว่าเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาตรจำเพาะสูงสุดเมื่อเทียบกับข้าวหอมสุรินทร์และข้าว กข 43 แสดงว่าเค้กข้าวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการขยายตัวดีและมีความเบามากที่สุด ซึ่งสามารถสังเกตได้จากลักษณะของเนื้อเค้กที่ฟูและเบา ขณะที่ข้าว กข 43 มี ปริมาตรจำเพาะต่ำสุด ทำให้เค้กข้าว กข 43 มีความหนาแน่นสูงและเนื้อเค้กมีความแน่นไม่ขึ้นฟู สอดคล้องกับงานวิจัยของ Feng et al. (2018) ที่ศึกษาลักษณะการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าว พบว่า ปริมาตรจำเพาะของแป้งมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสที่ฟูหรือความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ แป้งข้าวที่มีปริมาตรจำเพาะสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะฟูและมีความเบาเนื่องจากสามารถขยายตัวได้ดีขณะการผลิต ในขณะที่แป้งข้าวที่มีปริมาตรจำเพาะต่ำ จะมีความหนาแน่นสูงทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความแน่นและแข็ง นอกจากนี้ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในแป้งข้าวยังมีผลต่อปริมาตรจำเพาะ และการขึ้นฟูของเค้กข้าว โดยแป้งที่มีอะไมโลสสูงจะทำให้เค้กมีความหนาแน่นสูงและไม่ฟู ในขณะที่แป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงจะช่วยให้เค้กข้าวมีความฟูและเบา มีปริมาตรจำเพาะต่ำและการขึ้นฟูที่ดีขึ้น

ซึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง จะมีปริมาตรจำเพาะต่ำ มีความสามารถในการขยายตัวได้ดี ส่งผลให้เนื้อเค้กมีความเบาและฟูขึ้น เนื่องจากอะไมโลเพคตินจะทำให้แป้งมีโครงสร้างที่สามารถกักเก็บก๊าซหรืออากาศไว้ได้มากขึ้น (Tien et al., 2022) เมื่อใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ในการผลิตเค้กข้าว การแทรกตัวของก๊าซไนตรัสออกไซด์จะช่วยให้แป้งขยายตัวและทำให้เนื้อเค้กข้าวมีการขึ้นฟูได้ดีขึ้น และทำให้เนื้อสัมผัสของเค้กข้าวนุ่มขึ้นจากการแทรกตัวของก๊าซในแป้ง การใช้ก๊าซไนตรัสออกไซด์ร่วมกับเทคโนโลยีไมโครเวฟช่วยเพิ่มความฟูและเบาให้กับเค้กข้าวที่มีอะไมโลสสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Zhou & Li, 2015; Serwadda et al., 2017)

จากตารางที่ 3 ค่าความแข็ง (Hardness) พบว่าค่า Hardness เค้ก กข43 มีค่า Hardness สูงสุด นั่นบ่งบอกได้ว่าเค้ก กข43 มีเนื้อสัมผัสแข็งสุด ซึ่งส่งผลต่อความชอบของผู้ทดสอบชิมได้ เนื่องจากข้าว กข 43 มีปริมาณอะไมโลส (Amylose) สูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งอะไมโลสมีคุณสมบัติในการสร้างโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง เมื่อได้รับความร้อนและเกิดการคืนตัว (Retrogradation) จะเกิดได้อย่างรวดเร็ว (Wang et al., 2015) สอดคล้องกับข้อมูลลักษณะประจำพันธุ์ของกรมการข้าว (2560) ที่ระบุว่าข้าว กข 43 มีสัดส่วนของแป้งที่ย่อยยากสูงกว่าปกติเนื่องจากปริมาณอะไมโลสที่มีผลต่อเนื้อสัมผัส ซึ่งอะไมโลสมีคุณสมบัติในการสร้างโครงสร้างที่แข็งแรงและทำให้เนื้อสัมผัสของเค้กข้าวมีความแน่นและแข็ง ในขณะที่เค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมสุรินทร์ มีค่า Hardness ที่ต่ำกว่า เนื่องจากข้าวทั้งสองพันธุ์นี้มีปริมาณอะไมโลเพคติน (Amylopectin) สูงกว่าข้าว กข 43 อะไมโลเพคตินเป็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นและสามารถขยายตัวได้ดี ทำให้เนื้อสัมผัสของเค้กข้าวจากข้าวพันธุ์เหล่านี้มีความนุ่มและไม่แข็ง (Wang et al., 2015) ประกอบกับการใช้ไมโครเวฟในกระบวนการผลิตเค้กข้าว ช่วยให้ความร้อนกระจายไปอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอภายในเนื้อเค้ก ส่งผลให้แป้งขยายตัว เนื้อสัมผัสของเค้กฟูขึ้น การให้ความร้อนจากไมโครเวฟยังช่วยลดการจับตัวของแป้ง ซึ่งทำให้ค่า Hardness ลดลง และทำให้เนื้อเค้กข้าวมีความนุ่มขึ้น (Zhou & Li, 2015) นอกจากนี้การใช้ก๊าซไนตรัสออกไซด์ร่วมกับไมโครเวฟยังช่วยเพิ่มการขยายตัวของแป้ง โดยก๊าซไนตรัสออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวกระจายอากาศในแป้ง ทำให้แป้งขยายตัวและไม่จับตัวเป็นก้อน ส่งผลให้เนื้อเค้กมีลักษณะฟูและเบา และช่วยลดความแข็งของเค้ก (Serwadda et al., 2017)

ในการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยก๊าซไนตรัสออกไซด์ทำหน้าที่เปรียบเสมือนสารช่วยให้ขึ้นฟู (Aerating agent) ที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อใช้ร่วมกับกระบอกอัดก๊าซ (Whipping siphon) ซึ่งเป็นก๊าซที่ละลายในไขมันและของเหลวได้ดีกว่าอากาศทั่วไป เมื่ออัดก๊าซลงในส่วนผสมเค้กข้าว ก๊าซจะเข้าไปแทรกตัวและกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างของแป้ง เมื่อมีการปล่อยความดันหรือได้รับความร้อนจากไมโครเวฟ ทำให้เกิดการระเหยของน้ำและการขยายตัวของก๊าซจากภายในสู่ภายนอก (Volumetric heating) อย่างรวดเร็ว ช่วยให้ก๊าซไนตรัสออกไซด์ขยายตัวอย่างรวดเร็ว สร้างเป็นฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากก่อนที่โครงสร้างเค้กจะเซตตัว (Chandrasekaran et al., 2013) ซึ่งจะช่วยให้แป้งขยายตัวโดยไม่จับตัวเป็นก้อน ทำให้เนื้อสัมผัสของเค้กมีความฟู เบา และนุ่มขึ้นมากกว่าการใช้กรรมวิธีแบบดั้งเดิม ในกรณีของแป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูง (เช่น ข้าวไรซ์เบอร์รี่) จะมีความสามารถในการเกิดเจลลาติไนซ์ ที่อุณหภูมิต่ำกว่าและมีความยืดหยุ่น

(Elasticity) ของผนังเซลล์อากาศสูงกว่า ทำให้สามารถกักเก็บก๊าซที่ขยายตัวได้โดยไม่เกิดการรวมตัวของฟองอากาศ (Coalescence) จึงส่งผลให้โครงสร้างแป้งจะมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถกักเก็บก๊าซในตรัสออกไซด์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้เค้กขึ้นฟูได้เต็มที่ จากงานวิจัยของ Cheng et.al. (2021) ยืนยันว่าสัดส่วนของอะไมโลเพคตินที่เหมาะสมช่วยเพิ่ม "Expansion ratio" หรืออัตราการขยายตัวจำเพาะในผลิตภัณฑ์ข้าวแปรรูป

2. ผลการศึกษาการทดสอบการยอมรับของเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวหอมสุรินทร์ และข้าวข 43

จากผลการศึกษาการยอมรับของเค้กข้าวจากแป้งข้าวทั้ง 3 ชนิด โดยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน คุณลักษณะที่ประเมินคือ ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ในการทดลองนี้เลือกตัวอย่างเค้กข้าว จากแป้งข้าวทั้ง 3 ชนิด คือตัวอย่าง 1 แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ตัวอย่าง 2 แป้งข้าวหอมสุรินทร์ และ ตัวอย่าง 3 แป้งข้าวข 43 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

จากตารางที่ 5 พบว่า คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสทางด้านคุณลักษณะปรากฏ และสีของเค้กจากแป้งข้าวทั้ง 3 ชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในด้านเนื้อสัมผัส พบว่าเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดเนื่องจากเค้กจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความนุ่ม ฟู และมีสีที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว ในด้านกลิ่นรส พบว่าเค้กข้าวจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดเนื่องจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวมีผลทำให้ได้รับคะแนนกลิ่นรสแตกต่างกัน ด้านความชอบโดยรวม พบว่าเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้คะแนนความชอบสูงสุด มีคะแนนความชอบที่อยู่ในช่วงชอบมาก โดยผู้บริโภคให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คือ เค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่มีเนื้อที่นุ่ม ฟู และมีรสชาติเฉพาะ ส่งผลให้ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจสูงสุดในผลิตภัณฑ์นี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเค้กข้าวจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นตัวอย่างในการทดลองในขั้นตอนถัดไป เนื่องจากได้รับความพึงพอใจสูงสุดจากผู้ทดสอบในทุกด้าน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (9 - point hedonic scale) ของเค้กข้าว

ตัวอย่าง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเค้กข้าว				
	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
1	7.30±1.76	7.47±1.13	8.67±0.47 ^a	7.77±1.16 ^a	8.23±1.04 ^a
2	7.30±1.27	7.67±1.02	6.93±1.70 ^b	7.40±1.58 ^a	7.47±1.27 ^b
3	7.47±1.91	7.33±1.64	6.83±1.93 ^b	6.90±1.82 ^b	7.07±1.63 ^b

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-b} หมายถึงค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

^{ns} หมายถึงค่าเฉลี่ยข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

3. ผลของการศึกษาการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลทรายในผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพ โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์

นำเค้กจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดจากข้อ 2 มาทำการศึกษาค่าของสารให้ความหวานคือ ซูคราโรส ที่ระดับการทดแทน 3 ระดับคือ ร้อยละ 50 75 และ 100 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6 พบว่า การใช้ซูคราโรสส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเค้ก พบว่า ยิ่งเพิ่มปริมาณซูคราโรสมากขึ้น ส่งผลให้ค่า L^* มีแนวโน้มสูงขึ้น นั่นหมายความว่าเค้กมีค่าความสว่างมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณซูคราโรส ส่งผลให้ค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง

คำสี พบว่า การทดแทนซูโครสด้วยซูคราโรสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างของเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่เพิ่มขึ้น เนื่องจากซูคราโรสเป็นคาร์โบไฮเดรต ที่มีคุณสมบัติในการละลายในน้ำและมีลักษณะใส ไม่ส่งผลให้เกิดสีเข้มเมื่อผสมในแป้งข้าว การละลายของซูคราโรสในแป้งข้าวช่วยให้โครงสร้างของแป้งมีความสม่ำเสมอมากขึ้น และสามารถสะท้อนแสงได้ดี ส่งผลให้เนื้อเค้กข้าวมีความสว่างขึ้น (Zhou & Li, 2015) เมื่อมีการเพิ่มซูคราโรสในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลต่อความสามารถในการสะท้อนแสงของแป้งข้าวจะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า L^* สูงขึ้น เนื้อเค้กข้าวมีลักษณะสว่างและดูโปร่งแสงมากขึ้น (Haug & Lantz, 2018) ประกอบกับการใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ ช่วยเพิ่มความโปร่งแสงและการสะท้อนแสงจากพื้นผิวเค้กข้าว ทำให้ค่า L^* สูงขึ้น ผลการศึกษาของ Nair & Howlader (2019) ระบุว่า การเพิ่มสารให้ความหวาน เช่นซูคราโรส สามารถช่วยในการสร้างโครงสร้างที่สามารถกระจายแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากซูคราโรสมีคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงแสงที่สะท้อนหรือดูดซับแสงมากเกินไป ทำให้เค้กข้าวที่ใช้ซูคราโรสเป็นส่วนผสมมีลักษณะของความสว่างที่ดีขึ้น ค่า a^* พบว่าเมื่อเพิ่มซูคราโรสส่งผลให้ค่า a^* เพิ่มขึ้น เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างซูคราโรสกับสารอื่น ๆ ในแป้งข้าวที่ทำให้เกิดสีแดงหรือสีน้ำตาล อาจเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยามาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนในแป้งข้าว (Sanchez et al., 2019) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sosulski et al. (2008) พบว่าในกระบวนการอบขนมปังและขนมเค้ก การเพิ่มซูคราโรส สามารถช่วยให้มีการกระจายแสงได้ดีขึ้น ในผลิตภัณฑ์ ทำให้สีของขนมปังหรือเค้กดูสว่างและสม่ำเสมอมากขึ้น และมีลักษณะการสะท้อนแสงที่ดีขึ้น

ตารางที่ 6 ผลของซูคราโรสต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าวที่ใช้สารให้ความหวาน

ลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าว	ระดับการทดแทนซูโครส (ร้อยละ)		
	50	75	100
ค่าสี			
L *	36.27±2.68 ^b	40.08±1.99 ^a	41.78±2.73 ^a
a *	-13.14±1.60 ^b	-9.31±5.70 ^a	-8.93±6.23 ^a
b *	13.79±0.65 ^a	13.69±0.93 ^a	12.18±1.24 ^b
ปริมาตรจำเพาะ	3.87±0.25 ^a	3.23±0.14 ^b	2.78±0.32 ^c
ความหนาแน่น	4.44±0.14 ^b	4.68±0.26 ^b	5.88±0.45 ^a
เนื้อสัมผัส			
Hardness (g)	312.15±26.90 ^c	480.51±46.88 ^b	663.91±64.53 ^a

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-b} หมายถึงค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของซูคราโรส ส่งผลให้ ปริมาตรจำเพาะของเค้กข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ความหนาแน่นของเค้กข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงเกิดจากการที่ซูคราโรส ไม่มีคุณสมบัติในการรักษาความชื้นเหมือน น้ำตาลทราย ซึ่งน้ำตาลทรายสามารถเก็บความชื้นได้ดีและช่วยรักษาความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ การใช้ซูคราโรสทดแทนน้ำตาลทรายทำให้ความหนาแน่นของเค้กข้าวเพิ่มขึ้นเนื่องจากซูคราโรสให้ความหนืดมากกว่าน้ำตาลธรรมดา ซึ่งทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูงขึ้นและทำให้เค้กข้าวขึ้นฟูได้ยาก การลดน้ำตาลทราย ที่มีความสามารถในการเก็บรักษาความชื้นทำให้ปริมาตรจำเพาะของเค้กลดลงและการขึ้นฟูมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน น้ำตาลทรายช่วยในการเก็บความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ โดยไม่ปล่อยความชื้นออกมาสู่บรรยากาศ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ช่วยให้ขนมอบเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่แห้งหรือแข็งเร็วเกินไป (อบเชย วงศ์ทอง และชนิษฐา พูนผลกุล, 2544) นอกจากนี้การใช้ซูคราโรส ส่งผลให้เค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และปริมาตรจำเพาะลดลง เนื่องจากการเพิ่มซูคราโรสทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูงขึ้น ทำให้ฟองอากาศในเนื้อเค้ก มีขนาดเล็กและมีจำนวนน้อยลง ฟองอากาศที่สูญเสียไปในระหว่างการอบและไม่กระจายตัวในเนื้อเค้ก ทำให้เค้กข้าวมีปริมาตรจำเพาะต่ำลง ความหนืดของส่วนผสมมีผลสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ต้องการการขึ้นฟู เพราะความหนืดที่สูงเกินไปจะทำให้การกักเก็บอากาศได้ลดลงและส่งผลให้เนื้อเค้กข้าวมีความ

หนาแน่นมากขึ้น ทั้งนี้ น้ำตาลยังส่งผลต่อความนุ่มของผลิตภัณฑ์ขนมอบ เนื่องจากน้ำตาลมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้ง (Retarding effect) ซึ่งการทดแทนน้ำตาลด้วยซูคราโรส ทำให้เค้กจากแป้งข้าวมีความนุ่มลดลง (อภิญา เจริญกุล, 2558)

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของเค้กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลทราย พบว่าค่าความแข็งของเค้กจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ซูคราโรสทดแทนน้ำตาลทรายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอัตราส่วนซูคราโรส 100 มีค่าความแข็งสูงสุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อซูคราโรสทดแทนน้ำตาลทรายในปริมาณที่สูง เค้กข้าวจะมีความหนาแน่นสูงและปริมาตรจำเพาะต่ำ ทำให้เค้กข้าวมีเนื้อสัมผัสที่แน่น และไม่ขึ้นฟู เป็นผลให้ค่าความแข็งของเค้กสูงที่สุด จากผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของเค้กข้าวที่ใช้ซูคราโรสทดแทนน้ำตาลทั้ง 3 ระดับ พบว่าที่อัตราส่วนของซูคราโรสร้อยละ 100 มีค่าความแข็งสูงสุดส่งผลให้ค่าลักษณะที่อาหารกึ่งแข็งแตกตัวออกจนพร้อมที่จะกลืนได้สูง เป็นผลให้เนื้อสัมผัสของเค้กมีลักษณะแน่นซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของเค้กข้าว

4. ผลการศึกษาการทดสอบการยอมรับการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลทรายในผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนโตรสออกไซด์

จากการศึกษาการยอมรับของการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลทรายในผลิตภัณฑ์เค้กข้าวระดับการทดแทนทั้ง 3 ระดับ โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน คุณลักษณะที่ประเมินคือ ลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ในการทดลองนี้เลือกตัวอย่างจากเค้กข้าวที่ใช้ซูคราโรสทดแทนน้ำตาลทราย 3 ระดับ คือตัวอย่าง 1 ร้อยละ 50 ตัวอย่าง 2 ร้อยละ 75 และตัวอย่าง 3 ร้อยละ 100 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กข้าวทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ และด้านสีของทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของเค้กข้าวที่มีซูคราโรสร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด 7.83 และ 7.67 ตามลำดับและได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด 8.07 โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบมาก ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบทางประสาทของเค้กข้าวที่ใช้สารให้ความหวาน

ตัวอย่าง	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเค้กข้าว				
	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
1	6.77±1.69	6.47±1.99	6.83±1.59 ^b	6.53±1.73 ^b	6.80±1.34 ^b
2	6.60±2.02	6.13±1.90	6.23±1.79 ^b	6.77±1.38 ^{ab}	6.77±1.38 ^b
3	6.43±1.43	6.53±1.21	7.83±1.05 ^a	7.67±1.21 ^a	8.07±0.98 ^a

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางคือ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a-b} หมายถึงค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

^{ns} หมายถึงค่าเฉลี่ยข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

5. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ร่วมกับไมโครเวฟและก๊าซไนตรัสออกไซด์

5.1 ผลการศึกษากองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ร่วมกับไมโครเวฟและก๊าซไนตรัสออกไซด์

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีบางประการของของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเค้กข้าวจากแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เถ้า และเยื่อใยร้อยละ 49.86, 17.38, 10.38, 19.92, 1.54 และ 0.92 ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของเค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ร่วมกับไมโครเวฟและก๊าซไนตรัสออกไซด์

องค์ประกอบทางเคมี	เค้กข้าวเพื่อสุขภาพ (g/100g)
ความชื้น	49.86±0.27
ไขมัน	19.92±0.65
คาร์โบไฮเดรต	17.38±0.02
โปรตีน	10.38±0.07
เถ้า	1.54±0.16
เยื่อใย	0.92±0.08

5.2 ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ร่วมกับไมโครเวฟและก๊าซไนโตรสออกไซด์

ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพ มาคำนวณหาปริมาณสารอาหาร พบว่า เค้กข้าว 1 ชิ้น (ปริมาณ 135 กรัม) ให้พลังงาน 243.1 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย ไขมัน 15.49 กรัม คาร์โบไฮเดรต 13.33 กรัม โปรตีน 7.25 กรัม เยื่อใย 3.18 กรัม และวิตามินอี 0.04 ไมโครกรัม

สรุป

ผลการศึกษาชนิดของแป้งข้าว พบว่า ชนิดของแป้งข้าวที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพ ปริมาตรจำเพาะ ความหนาแน่น และเนื้อสัมผัสของเค้กแตกต่างกัน การทดสอบความชอบที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของเค้กจากแป้งข้าว พบว่า ระดับความชอบอยู่ในช่วงชอบมาก การศึกษาสารให้ความหวานต่อลักษณะทางกายภาพของเค้ก พบว่า อัตราส่วนของสารให้ความหวานที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณลักษณะของเค้ก โดยการเพิ่มอัตราของสารให้ความหวานส่งผลให้คุณลักษณะทางกายภาพด้านสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการเพิ่มอัตราส่วนของสารให้ความหวานส่งผลให้ปริมาตรของเค้กลดลง ค่าความหนาแน่นของเค้กเพิ่มขึ้น การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กข้าวที่ใช้สารให้ความหวานทดแทนการใช้น้ำตาล พบว่า เค้กข้าวที่มีซูคราโลส ร้อยละ 100 ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบมาก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนโตรสออกไซด์ พบว่า ประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้า ร้อยละ 49.86 10.38 19.92 17.38 0.92 และ 1.54 ตามลำดับ การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนโตรสออกไซด์ พบว่า เค้กข้าวเพื่อสุขภาพ 1 ชิ้น ปริมาณ 135 กรัม ให้พลังงาน 268.50 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย โปรตีน 7.25 กรัม ไขมัน 15.49 กรัม คาร์โบไฮเดรต 13.30 กรัม เยื่อใย 3.18 กรัม และวิตามินอี 0.04 ไมโครกรัม การใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนโตรสออกไซด์สามารถลดเวลาการอบเหลือเพียง 1 นาที ซึ่งเป็นนวัตกรรมการผลิตที่ช่วยประหยัดพลังงานและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในเชิงอุตสาหกรรม นวัตกรรมเค้กข้าวนี้ไม่เพียงแต่เป็นทางเลือกสำหรับผู้ป่วยโรคแพ้งลูเตน (Celiac Disease) และผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำตาล แต่ยังสอดคล้องกับแนวโน้มตลาดอาหารฟังก์ชันนัล (Functional Food) และอาหารพร้อมทาน (Ready-to-eat) ที่เติบโตอย่างต่อเนื่อง การประยุกต์ใช้ข้าวไทย (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และ ข้าวข 43) เป็นวัตถุดิบหลักถือเป็นการยกระดับพืชเศรษฐกิจสู่ผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ระดับโลก ช่วยลดการนำเข้าแป้งสาลีและตอบโจทยความยั่งยืนด้านการใช้วัตถุดิบท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดโดยเพิ่มกากใยในผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มสารอาหารให้แก่ผู้บริโภค และศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อสุขภาพโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซไนตรัสออกไซด์ เพื่อเป็นข้อมูลในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เค้กข้าวเพื่อการทดลองในขั้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุน การใช้ห้องปฏิบัติการอาหารและโภชนาการ รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- กุลศักดิ์. (2563). รายงานสถานการณ์ตลาดอาหารฟังก์ชันนอล.
- จิตธนา แจ่มเมฆ. (2541). เบเกอรี่เบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมิธ. (2564). แนวโน้มอุตสาหกรรมเบเกอรี่ในประเทศไทย.
- สำนักส่งเสริมการผลิตข้าว กรมการข้าว. (2561). รายงานการส่งเสริมการผลิตข้าวเพื่อการส่งออก. ผลการดำเนินงานภายใต้แผนการผลิตและการตลาดข้าวครบวงจร. กรุงเทพฯ: กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- อมรรัตน์ เจริญ. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กแบ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 สอดไส้ครีมเสาวรส โดยใช้กัมจากเมล็ดแมงลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อภิญา เจริญกุล. (2558). ผลของการใช้ซูโครโลสร่วมกับโพลีเดกซ์โทรสทดแทนน้ำตาลต่อคุณภาพของมัฟฟินแบ่งข้าวกล้องงอก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 46(suppl. 3), 297-300.
- อบเชย วงศ์ทอง, และชนิษฐา พูนผลกุล. (2544). หลักการประกอบอาหาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AACC. (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.). American Association of Cereal Chemists.
- AOAC. (2012). Official methods of analysis of AOAC International (19th ed.). AOAC International
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Basak, T. (2013). Microwave heating of foods: Challenges and opportunities with respect to modeling. *Food Research International*, 52(1), 141-159.

- Cheng, Li., Yiming, Hu., & Enpeng, Li. (2021). Effects of amylose and amylopectin chain-length distribution on the kinetics of long-term rice starch retrogradation. **Food Hydrocolloids**, 111, Article 106235.
- Feng, H., Yang, X., & Chen, Q. (2018). The effect of amylose content on the texture and viscosity of rice flour. **Food Hydrocolloids**, 84, 44-50.
- González, S., Ayo, E. D., & Ríos, C. D. (2019). Effects of Nitrous Oxide on the Structure of Rice Flour-Based Products. **Journal of Food Engineering**, 39(4), 501-512.
- Haug, W., & Lantz, E. A. (2018). Advances in the Development of Health-Oriented Foods: The Role of Functional Ingredients in Rice Products. **Journal of Nutritional Science**, 25(3), 150-161.
- Nair, S. S., & Howlader, M. (2019). Effect of Sweeteners on the Sensory Properties and Light Reflection of Bakery Products. **Food Chemistry**, 281, 68-74.
- Sanchez, A., Bujalance, L., & Castro, S. (2019). Effect of Sugar Substitutes on the Color and Quality of Bakery Products. **Food Chemistry**, 254, 1-7.
- Serwadda, C., Kitts, D., & Lawrence, R. (2017). The use of nitrous oxide in food processing: Effects on texture and sensory properties. **Food Chemistry**, 216, 266-274.
- Sosulski, F. W., & Wang, Q. (2008). Sugar Substitutes in Baking Applications. **Journal of Food Science**, 73(9), 1011-1017.
- Tien, P. N., Sirichai, S. (2022). Microwave processing technology for food safety and quality: A review. **Agriculture and Natural Resources**, 56(2022), 57-72.
- Wang, Y., Wei, Z., & Zhang, Y. (2015). Effect of rice starch characteristics on the texture of rice cakes. **Journal of Food Science**, 80(4), 845-852.
- Zhou, J., & Li, Z. (2015). Application of Microwave Technology in Food Processing. **Food Science & Technology**, 44(1), 48-58.