



ผลของปริมาณน้ำตาลต่อสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสการยอมรับของผู้บริโภค
ของผลิตภัณฑ์ขนมผิง

Effect of Sugar Content on Physical and Sensory Properties of Tapioca-based Cookies

พจนีย์ บุญนา¹, อภิญญา มานะโรจน์¹, วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์² และ ศุภักษร มาแสวง^{2*}

Pojanee Boonna¹, Apinya Manarote¹, Woraluk Panyathitipong² and Supuksorn Masavang^{2*}

¹สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

¹Department of Food and Nutrition, Faculty of home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Dusit, Bangkok 10300, THAILAND

²Department of Food Technology, Faculty of home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Dusit, Bangkok 10300, THAILAND

*Corresponding author e-mail: supuksorn.m@mutp.ac.th

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: June 14, 2022

Revised: August 22, 2022

Accepted: August 26, 2022

Available online: September 8, 2022

DOI: 10.14456/jarst.2022.14

Keywords: khanom ping, sucrose, tapioca flour, baked products

High sugar intake is associated with negative effects on health of consumers. Tapioca-based cookie (Khanom Ping) is a popular baking product containing high sugar. The sugar, especially sucrose, plays important roles in baked products. However, reformulation may allow an efficient reduction in sugar, whereas it might have an affect product quality and the acceptance of consumers toward products. Therefore, this research aimed to study the effect of sugar content (10%, 15%, 20%, and 30%) on various properties of these cookies. The images of cookies showed an increase in sucrose content resulting in a smoother outer surface, a decrease in the height with a higher spread of cookies and a more porous internal structure. In addition, an increased sugar content resulted in a decrease in the specific

volume of the baking pastry while the moisture content decreased. The gelatinization temperature increased with an increase in the sugar level in the formulation. Peak and final viscosities decrease with an increasing sucrose content. Moreover, Cookies containing 10% sucrose resulted in the highest hardness. Sensory data on a 9 point-hedonic scale indicated that the panelists liked cookies that contained 20% sucrose over other samples. The cookie containing 20% sucrose showed the highest score for all sensorial attributes ($p < 0.05$). Therefore, the difference in sugar content ultimately affects the quality of the baked products as well as consumer acceptance, which is an important factor for the recipe design of the low-sugar Khanom Ping.

บทคัดย่อ

การบริโภคน้ำตาลมากเกินไปมักส่งผลด้านลบต่อสุขภาพของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์ขนมปังเป็นขนมปังที่ได้รับความนิยมซึ่งมีน้ำตาลในสูตรการผลิตสูงร้อยละ 25-30 ซึ่งน้ำตาลมีบทบาทสำคัญหลายประการในผลิตภัณฑ์อบ แต่การปรับเปลี่ยนสูตรอาจช่วยให้สามารถลดน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพและการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ 10, 15, 20 และ 30) ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภค จากการตรวจสอบรูปลักษณ์พบว่าขนมปังที่มีปริมาณน้ำตาลสูง จะมีผิวด้านนอกที่เรียบ ความสูงของก้อนขนมปังลดลง ลักษณะการแผ่ด้านออกด้านข้างมาก มีโครงสร้างรูพรุนด้านในเพิ่มขึ้น และมีสีที่เข้มขึ้นหลังอบ นอกจากนี้เมื่อเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นของขนมปังลดลงในขณะที่ปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้นส่วนปริมาณความชื้นลดลง เมื่อวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดด้วย Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาติน-เซชันเพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อขนมปังมีปริมาณ

น้ำตาลสูงขึ้น ขนมปังที่เติมน้ำตาลร้อยละ 10 มีค่าความแข็งมากที่สุด ($p < 0.05$) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบขนมปังสูตรที่เติมน้ำตาลร้อยละ 20 สูงที่สุด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในสูตรการผลิตส่งผลต่อคุณภาพของขนมปังและผลการยอมรับของผู้ทดสอบชิมซึ่งถือเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการออกแบบสูตรการผลิตขนมปังหวานน้อยสำหรับผู้บริโภคต่อไป

คำสำคัญ: ขนมปัง น้ำตาล แป้งมันสำปะหลัง ผลิตภัณฑ์ขนมปัง

บทนำ

ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์สินค้า OTOP ของหลายพื้นที่ เช่น ตำบลกง อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย ขนมปังถือเป็นคุกกี้ชนิดหนึ่งที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง ผสมกับน้ำตาล ไข่แดง และน้ำกะทิ เป็นขนมที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมขนาดเล็ก สีเหลืองนวล มีรสชาติหวาน กรอบ และหอมกลิ่นกะทิ [1] โดยปกติขนมปังตามท้องตลาดมีคุณภาพที่หลากหลาย มีรูปทรงไม่คงที่ และสีของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ และเป็นสาเหตุของโรคอ้วนเนื่องจากมีแป้งมันสำปะหลังและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก แป้ง

มันสำปะหลังมักถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในผลิตภัณฑ์ความชื้นต่ำ เช่น มันฝรั่งทอด ขนมขบเคี้ยวและขนมปังกรอบ เป็นต้น โดยเฉพาะในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [2] น้ำตาลทรายหรือน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ขนมอบมีส่วนช่วยสำคัญในการให้ความหวาน การรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์ การเก็บกักอากาศ การทำให้ฟองอากาศคงตัว และจำกัดการฟองตัวของแป้งระหว่างการอบผลิตภัณฑ์ [3, 4] อีกทั้งน้ำตาลมีความสามารถในการจับน้ำสูงช่วยชะลอการเกิดเจลลิตินซ์ของแป้งส่งผลให้ขนมอบมีโครงสร้างที่มีรูพรุนมากขึ้น ฟองตัวได้ดี และมีปริมาตรเพิ่มขึ้น [5] นอกจากนี้น้ำตาลยังมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดสีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารด้วย เนื่องจากเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์ เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมลไลเซชัน รวมถึงน้ำตาลช่วยลดวอเตอร์แอกทิวิตี (Water Activity, a_w) ในผลิตภัณฑ์ขนมอบทำให้ยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ [6] มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากมายที่แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่ลดน้ำตาลลงเป็นที่ยอมรับได้น้อยกว่าเติมน้ำตาลเต็มสูตร เช่น ขนมอบจากแป้งข้าวโพดด้วยเครื่องเอกซ์ทราซัน [7] คุกกี้ [8] และไอศกรีมเสริมอวก [9] เป็นต้น อีกทั้งคุณสมบัติทางโครงสร้างและทางประสาทสัมผัสของระบบขนมอบแสดงให้เห็นว่าได้รับอิทธิพลจากการลดระดับน้ำตาลซูโครส ซึ่งการใช้สารให้ความหวานชนิดอื่นทดแทนน้ำตาลในสูตรการผลิตจึงไม่สามารถทดแทนน้ำตาลทั้งหมดได้ ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีการลดปริมาณน้ำตาลเพื่อลดแคลอรี ในขณะที่ยังต้องรักษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคเป็นสิ่งที่ต้องคำนึง ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจผลของปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและการยอมรับด้านประสาทสัมผัสของขนมอบซึ่งมีการรายงานผลการวิจัยค่อนข้างน้อย ในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจที่จะศึกษาสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ ปริมาตรจำเพาะ ความชื้น ลักษณะทางสัณฐาน และความหนืด รวมถึงการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ของผลิตภัณฑ์ขนมอบซึ่งเป็นผล

จากปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ขนมอบซึ่งเป็นตัวอย่างขนมอบในการวิจัยนี้ เนื่องจากมีน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลัก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์ขนมอบพลังงานต่ำต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างขนมอบ

ขนมอบประกอบด้วยส่วนผสม ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง น้ำตาลทราย กะทิยูเอชที และไข่แดง โดยมีสูตรการผลิตตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองดังนี้

ตารางที่ 1 การผลิตขนมอบสูตรต่าง ๆ ที่มีปริมาณน้ำตาลแตกต่างกัน

ขนมอบเต็ม น้ำตาล (ร้อยละ)	แป้งมัน สำปะหลัง (g)	กะทิ ยูเอชที (g)	ไข่แดง (g)	น้ำตาลทราย (g)
10	650	200	50	100
15	600	200	50	150
20	550	200	50	200
30	450	200	50	300

นำกะทิยูเอชที (UHT) มาเคี่ยวจนแตกมันประมาณ 2 นาที เติมน้ำตาลลงไปเคี่ยวต่ออีก 2 นาที ยกจากเตา พักไว้ให้พออุ่น (45-50 องศาเซลเซียส) เติมไข่แดงลงไป คนให้เข้ากันและพักไว้ ทำการร่อนแป้งมันสำปะหลังด้วยตะแกรงร่อนแป้งแบ่งแบ่งครึ่งหนึ่งเติมลงในของเหลวที่พักไว้ ตะล่อมให้เข้ากันจากนั้นเติมแป้งส่วนที่เหลือลงไปแล้วตะล่อมให้เข้ากันอีกครั้ง นำไปตีด้วยเครื่องตีผสม (Kitchen Aid) โดยใช้หัวผสมรูปใบไม้ ที่ความเร็วปานกลาง 3 นาที นำไปใส่ภาชนะปิดสนิท พักไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องแล้วนำวดให้เข้ากันอีกครั้ง ปั่นให้เป็นลูกทรงกลม ลูกละ 10 กรัม จัดเรียงบนถาดที่ปูด้วยกระดาษไข และอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12-15 นาที เมื่อครบเวลานำขนมออกมาพักให้เย็น เก็บในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิท สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส และ บรรจุใน

ถุงพลาสติกแบบสูญญากาศและเก็บภาชนะปิดสนิท สำหรับการวิเคราะห์อื่น ๆ

การเปรียบเทียบภาพของขนมผิงด้านกายภาพที่เป็นผลจากการเติมน้ำตาลในสูตรแตกต่างกัน

ในการทดลองผลิตขนมผิง ได้เลือกใช้สูตรที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตขนมผิงที่ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 10 15 20 และ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ทำการผลิตขนมผิง จากนั้นนำตัวอย่างขนมผิงทุกสูตร ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของขนมผิงตามวิธีข้อ 1 ถึง 5 และทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

1. การหาปริมาตรจำเพาะของขนมผิง

วัดปริมาตรจำเพาะของขนมผิงด้วยการแทนที่ เมล็ดงาขาว โดยทำการชั่งน้ำหนักขนมผิงที่จะตรวจสอบ ปริมาตร นำขนมผิง 2 ชิ้นใส่ลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร และเติมน้ำจากจนเต็มภาชนะ จากนั้นทำการวัดปริมาตร เมล็ดงาที่เติมลงไปทั้งหมดด้วยกระบอกตวงและ คำนวณหาปริมาตรของขนมผิง และปริมาตรจำเพาะของขนมผิง ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{ปริมาตรของขนมผิง } (V_P) \text{ (cm}^3\text{)} = V_C - V_S \quad (1)$$

โดยที่

V_C = ปริมาตรของภาชนะ (cm³)

V_S = ปริมาตรของของขนมผิงตัวอย่าง (cm³)

$$\text{ปริมาตรจำเพาะของขนมผิง (cm}^3\text{/g)} = \frac{V_P}{W} \quad (2)$$

โดยที่

V_P = ปริมาตรของขนมผิง (cm³)

W = น้ำหนักของขนมผิงตัวอย่าง (g)

2. การวัดค่าความชื้นของขนมผิง

การวัดปริมาณความชื้นด้วยวิธีการอบในตู้อบลมร้อน [10] โดยทำการบดขนมผิงให้เป็นผงด้วยโกร่ง กระเบื้อง ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างขนมผิง (W_S) ให้ได้ น้ำหนักแน่นอน (3 กรัม) ในกระป๋องอะลูมิเนียมที่ทราบ น้ำหนักแน่นอน (W_1) จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง เมื่อ

ครบเวลานำออกจากตู้อบแล้วพักให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง หลังอบ (W_2) อบซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งคงที่ แล้วทำการคำนวณดังสมการที่ (3)

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{[W_2 - (W_S + W_1)]}{W_S} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

W_S = น้ำหนักของตัวอย่างขนมผิง (g)

W_1 = น้ำหนักของกระป๋องอะลูมิเนียม (g)

W_2 = น้ำหนักของกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง หลังอบ (g)

3. ลักษณะทางสัญญาณ

ทำการตรวจสอบลักษณะปรากฏทางสัญญาณของขนมผิงด้วยกล้องถ่ายภาพ ยี่ห้อ Canon รุ่น Ixus285 HS 20.2MP กำลังขยาย 12 เท่า และถ่ายภาพโครงสร้างภายในของขนมผิงด้วยกล้องสเตอริโอ (Stereomicroscope) กำลังขยาย 41 เท่า (ยี่ห้อ Olympus, รุ่น Zoom Stereo Microscope SZ61)

4. การตรวจสอบสมบัติทางเนื้อสัมผัสของขนมผิง

ทำการวัดค่า Hardness ของขนมผิงที่ถูกตัดให้มีขนาด 15x15x15 mm³ ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA-XT2i, Stable Micro Systems) พร้อมหัววัดรูปทรงกระบอกขนาด 50 มิลลิเมตร (P/50) เลือกรูปแบบการวัดเป็นแบบ compression กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่อง Texture Analyzer ได้แก่ Pre-Test Speed 1.0 mm/s, Test Speed 1.0 mm/s, Post-Test Speed 10.0 mm/s, Distance 20 mm/s [11]

5. ศึกษาสมบัติด้านความหนืดของขนมผิง

การศึกษาศสมบัติด้านความหนืดของขนมผิงที่เติมน้ำตาล 4 ระดับ ที่ร้อยละ 10, 15, 20 และ 30 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เปรียบเทียบกับความหนืดของแป้งมันสำปะหลังวัตถุดิบ ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) โดยทำการวัดอุณหภูมิที่แป้งเริ่มเกิดเจลลาติไนซ์ (Pasting temperature), ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity), และค่าความหนืดสุดท้าย (Final

viscosity) โดยบดขมผงให้เป็นผงละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช จำนวน 3.00 ± 0.01 กรัม ใส่ในกระป๋องจำเพาะสำหรับเครื่อง RVA (canister) เติมน้ำกลั่น 25 กรัม แล้วใช้ใบกวนกวนตัวอย่างเพื่อให้ผงตัวอย่างจับตัวเป็นก้อน จากนั้นติดตั้งใบกวนพร้อมกระป๋องเข้ากับเครื่อง RVA ทำการทดสอบค่าความหนืดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ภายใต้ความเร็วรอบ 960 rpm เป็นเวลา 10 นาที และลดระดับความเร็วลงให้คงที่ที่ 160 rpm จนกระทั่งสิ้นสุดการวัดค่าความหนืด โดยตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิเริ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียส กวนต่ออีก 5 นาที ด้วยอัตรา 7 องศาเซลเซียสต่อนาที แล้วลดอุณหภูมิลงเป็น 25 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 7 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิการทดสอบที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที รวมระยะเวลา 39.10 นาที

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรแตกต่างกัน

นำผลิตภัณฑ์ขนมปังที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยการประเมินความชอบ โดยใช้ 9 point-hedonic scoring (1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 5 = เฉย ๆ, 9 = ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีคุณลักษณะที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ ลักษณะปรากฏ (Appearance), สี (Color), ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture), การละลายในปาก (Disintegration in Mouth), กลิ่นขณะรับประทาน (Flavor), รสชาติ (Taste) และความชอบโดยรวม (Overall Liking)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางด้านกายภาพของขนมปัง โดยใช้แผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ (Replications) การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้ แผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) โดยกำหนดให้ผู้ชิม

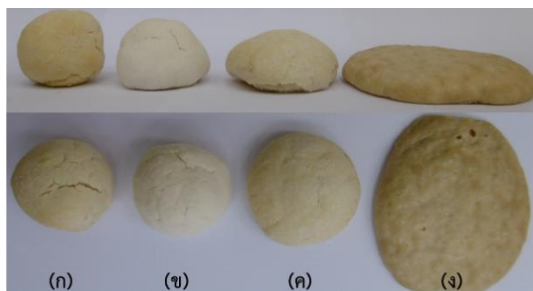
เป็น block ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 27.0 ทำการวิเคราะห์ Analysis of Variance (ANOVA) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลอง (treatment) ด้วยวิธี Duncan's new multiple ranges test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ปริมาณการจำเพาะของขนมปัง

ผลการศึกษาปริมาณการจำเพาะของขนมปังที่มีการเติมน้ำตาลทรายขาวในสูตรการผลิตที่ร้อยละ 10, 15, 20 และ 30 จากการวิเคราะห์ปริมาณการจำเพาะพบว่า การเติมน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1) แสดงถึงน้ำตาลส่งผลต่อการพองตัวหรือการขึ้นฟูของขนมปัง โดยขนมปังที่เติมน้ำตาลร้อยละ 10, 15 และ 20 พบว่าสามารถป็นเป็นเม็ดทรงกลมสวยได้ ส่วนการเติมน้ำตาลร้อยละ 30 ในสูตรการผลิตทำให้ขนมปังที่มีลักษณะแบน อีกทั้งมีลักษณะหนืด ติดมือ ซึ่งส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีการรูปร่างที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 Hosney [12] ได้รายงานว่าการเติมน้ำตาลมีผลทำให้โดของคุกกี้มีความแข็งแรงลดลงซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของลักษณะที่เหลวของโดเมื่อมีน้ำตาลในสูตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำตาลละลายในน้ำทำให้ปริมาตรของของเหลวในโดเพิ่มขึ้นได้ หลังอบพบว่าขนมปังที่เติมน้ำตาลร้อยละ 10 และ 15 มีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีความสูงของชั้นขนมมากกว่าขนมปังที่เติมน้ำตาลร้อยละ 20 และ 30 ซึ่งจะมีฐานที่แบนและแผ่กระจายออกด้านข้างมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการมีปริมาณน้ำตาลในสูตรการผลิตเพิ่มขึ้นทำให้มีการละลายของน้ำตาลเพิ่มขึ้นระหว่างการอบ [13] ส่งผลให้มีปริมาตรของสารละลายมากขึ้นจึงเกิดการแผ่ออกด้านข้าง (Spreading) ของขนมปังเพิ่มขึ้นด้วย Pareyt และคณะ [14] ยังได้กล่าวเพิ่มเติมว่าปริมาณน้ำตาลมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการเซตตัวของคุกกี้ โดยเวลาในการเซตตัวมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้น ซึ่งอาจยังมีผลึกน้ำตาลที่ยังไม่ละลายระหว่างที่ขนมเซต

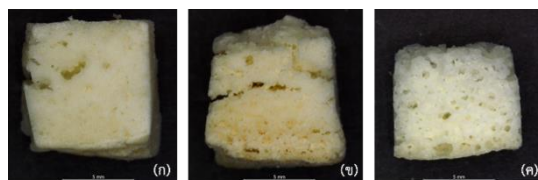
ตัวข้า ทำให้ชั้นขนมยุบตัวทำให้การขยายตัวทางแนวตั้งของขนมลดลงได้เมื่อมีน้ำตาลในโดมากขึ้น หรืออาจเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับแป้งทำให้แป้งดูดซับน้ำและพองตัวได้น้อยลง มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันเพิ่มขึ้น จึงต้องใช้อุณหภูมิในการอบขนมที่สูงขึ้นในสูตรที่มีน้ำตาลปริมาณมาก [15] นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นรอยแยกบริเวณผิวของขนมฝังบัตเตอร์ที่ลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลในสูตรการผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเกิดผลึกน้ำตาลบริเวณผิวของขนมฝังบัตเตอร์ระหว่างการอบหรือมีการยุบตัวของขนมที่เกิดขึ้นหลังการอบ [16]



รูปที่ 1 ลักษณะของขนมฝังบัตเตอร์ที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตร้อยละ ก) 10 ข) 15 ค) 20 และ ง) 30

นอกจากนี้จากผลการเปรียบเทียบลักษณะปรากฏทางสัณฐานของขนมฝังบัตเตอร์ที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตร้อยละ 10, 15, 20 และ 30 ด้วยกล้อง stereo-microscope กำลังขยาย 41 เท่า เมื่อสังเกตด้วยสายตาจากรูปที่ 2 จะเห็นว่าเนื้อด้านในของขนมฝังบัตเตอร์ที่มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ และขนาดของรูพรุนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเมื่อขนมฝังบัตเตอร์มีปริมาณน้ำตาลในสูตรการผลิตมากขึ้น Pareyt และคณะ [14] ได้อธิบายลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ว่าการลดน้ำตาลในการผลิตคุกกี้นี้มีผลทำให้ขนาดของรูพรุนเล็กลงและมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของเซลล์อากาศมากขึ้น เป็นเพราะน้ำระเหยอย่างต่อเนื่องในขณะอบทำให้ความหนืดของโดลดลงจึงขยายตัวได้ระหว่างรอบอบซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการแผ่ออกด้านข้าง การกระจายตัวของฟองอากาศและผนังของรูพรุนอีกด้วย โดยหากมีน้ำตาลน้อยคุกกี้จะมีรูพรุนที่ขนาดเล็กจำนวนมากกระจายตัวสม่ำเสมอแต่การแผ่ออก

ด้านข้างลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ อีกทั้งสีของเปลือกด้านนอกขนมฝังบัตเตอร์จะมีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นเมื่อขนมฝังบัตเตอร์มีน้ำตาลในสูตรการผลิตเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 15, 20 และ 30 อีกด้วย ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์ (Maillard reaction) และคาราเมลไลเซชัน (Caramelization) [17]



รูปที่ 2 ภาพถ่ายขนมฝังบัตเตอร์ด้วยกล้อง stereo-microscope กำลังขยาย 41 เท่า เพื่อศึกษาโครงสร้างรูพรุนของขนมฝังบัตเตอร์ที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตร้อยละ ก) 10 ข) 15 และ ค) 20

ส่วนขนมที่เติมน้ำตาลร้อยละ 10 จะมีสีที่เข้มกว่าตัวอย่างขนมฝังบัตเตอร์ที่มีน้ำตาลร้อยละ 30 และ 20 อาจเป็นเพราะมีการระเหยของน้ำได้ง่ายกว่าตัวอย่างอื่นเนื่องจากในแป้งโดที่มีปริมาณของน้ำตาลน้อยและมีแป้งมันสำปะหลังมากจะทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งไม่สูงเมื่อเทียบกับขนมฝังบัตเตอร์ที่มีน้ำตาลมากและมีแป้งน้อยกว่า ส่งผลให้แป้งในขนมฝังบัตเตอร์ที่เติมน้ำตาลร้อยละ 10 สุกเร็ว [14] อีกทั้งเมื่อความร้อนในการอบที่สูงมากทำให้ค่าความชื้นที่ผิวของขนมฝังบัตเตอร์ต่ำกว่าขนมฝังบัตเตอร์ที่เติมน้ำตาลสูงสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลของปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันร่วมกับปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งปรากฏเป็นการไหม้และผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสว่างลดลง [18] เป็นผลให้มีสีเปลือกด้านนอกเข้มกว่าตัวอย่างขนมฝังบัตเตอร์ที่มีปริมาณน้ำตาลสูงกว่า

ความชื้นของขนมฝังบัตเตอร์

ผลการศึกษาปริมาณความชื้นของขนมฝังบัตเตอร์ที่มีการเติมน้ำตาลทรายในสูตรการผลิตที่ร้อยละ 10, 15, 20 และ 30 พบว่าการเติมน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นในตัวอย่งขนมฝังบัตเตอร์เพิ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นผลจากยังคงมีผลึก

ของน้ำตาลที่ไม่ละลายบางส่วนในระบบและน้ำทำให้ อุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โดมี ความหนืดลดลง และแป้งพองตัวน้อยทำให้ขนมขึ้นฟูได้ ลดลงขณะอบ [14] นอกจากนี้ผลความชื้นในตารางที่ 1 พบว่าขนมผิงมีความชื้นลดลงเมื่อมีการเติมน้ำตาลในสูตร การผลิตเพิ่มขึ้น แสดงถึงน้ำตาลส่งผลต่อการดูดความชื้น ของขนมผิง โดยขนมผิงที่มีปริมาณน้ำตาลน้อยจะมีความชื้นที่สูงกว่าขนมผิงที่มีเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตในระดับที่สูงกว่า ซึ่งอาจเป็นผลจากน้ำตาลสร้างพันธะที่ แข็งแรงกับสารโพลีเมอร์ที่อยู่ขนมผิง เช่น โปรตีน แป้ง เป็นต้น และน้ำตาลหลังการอบและเย็นตัวลงจะอยู่ในรูป ของผลึกทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง [19] ส่งผลให้ขนมผิงที่มีปริมาณน้ำตาลสูงมีปริมาณความชื้นต่ำ

ตารางที่ 1 ปริมาตรจำเพาะและความชื้นของขนมผิงที่ เติมน้ำตาลในสูตรการผลิตที่แตกต่างกัน

ขนมผิงเดิม น้ำตาลร้อยละ	ปริมาตรจำเพาะ (cm ³ /g)	ความชื้น (%) db)
10	1.30±0.09 ^a	5.64±0.05 ^a
15	1.12±0.06 ^b	5.02±0.12 ^a
20	0.87±0.25 ^c	4.12±0.08 ^b
30	0.65±0.41 ^d	3.35±0.14 ^c

a,b,c,d = ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กกำกับ เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

พฤติกรรมกรการเปลี่ยนแปลงความหนืด

ผลพฤติกรรมกรการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ แป้งที่เตรียมจากการบดขนมผิงที่เติมน้ำตาลในสูตรการ ผลิตที่แตกต่างกันให้เป็นผงละเอียด และตรวจสอบด้วย เครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) แสดงผลดังรูปที่ 3 และ ตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชันของ แป้งมันสำปะหลังวัตถุดิบและขนมผิงที่เติมน้ำตาลร้อยละ 10 ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่งพบว่าอุณหภูมิการเกิด เจลลิตในเซชันของขนมผิงสูงขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำตาลมากขึ้นที่ ร้อยละ 20 และ 30 ตามลำดับ แสดงให้เห็นการแข่งขัน ของแป้งและน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ในการจับกับน้ำที่ทำให้

ลดการเคลื่อนที่ของน้ำในส่วนผสมและส่งผลให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างในผลิตภัณฑ์ขนมอบ นอกจากนี้ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลเอง ทำให้แป้งมี อุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชันเพิ่มขึ้นซึ่งผลกระทบนี้ที่มี ต่อการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งจะเพิ่มขึ้นตามความ เข้มข้นของน้ำตาลที่สูงขึ้น [20] เมื่อพิจารณาค่าความหนืด สูงสุด (Peak Viscosity) และค่าความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity) จะเห็นว่าค่าความหนืดทั้งสองลดลงเมื่อเพิ่ม ปริมาณน้ำตาลในสูตรขนมผิงและทุกตัวอย่างมีค่าความ หนืดต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง ความหนืดสูงสุดแสดงถึง ความจุดสมดุลระหว่างความสามารถในการอุ้มน้ำของเม็ด แป้งและการแตกของแกรนูลแป้ง การพองตัวของเม็ดแป้ง มักตามมาด้วยการละลายของอะมิโลสออกมาจากเม็ดแป้ง (Amylose Leaching) การเพิ่มขึ้นของความหนืด ในขณะที่ แกรนูลของแป้งอาจแตกเสียหายระหว่างการให้ความ ร้อน การเติมน้ำตาลในระบบที่มีแป้งมันสำปะหลังและ น้ำตาล น้ำตาลจะจับกับโมเลกุลสายโพลีเมอร์แป้งในส่วน อสัณฐาน (Amorphous Region) ทำให้ส่วนนี้มีความคง ตัวเพิ่มขึ้น [21] ซึ่งทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งลดลง ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลงเช่นกัน ส่วนค่าความ หนืดสุดท้ายเป็นผลจากการรวมตัวกันใหม่ของอะมิโลสทำ ให้เกิดโครงสร้างเจลเมื่อแป้งสุกเย็นตัวลง [22] น้ำตาลส่วน ใหญ่แล้วจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Anti-plasticizing ส่งผลให้การละลายของอะมิโลสออกมาจาก เม็ดแป้งลดลงและทำให้อัตราการคืนตัวของแป้งลดลง การ เติมน้ำตาลทำให้ชะลอการเกิดเจลลิตในเซชัน ยับยั้งการดูด น้ำของแป้ง รวมถึงลดจำนวนของอะมิโลสที่ละลายออกมา จากเม็ดแป้งขนาดพองตัวเมื่อได้รับความร้อนและยับยั้ง การรวมตัวของโมเลกุลแป้งเมื่อเย็นตัวลง [21] เกิด ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Anti-plasticizing ของน้ำตาล [23] จึงส่งผลให้สมบัติด้านความหนืดของขนมผิงมีค่าต่ำกว่า แป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้การลดสัดส่วนของแป้งมัน สำปะหลังในสูตรการผลิตขนมผิงลงเมื่อมีการเติมน้ำตาล ทราhyที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืด สุดท้ายลดลงอีกด้วย

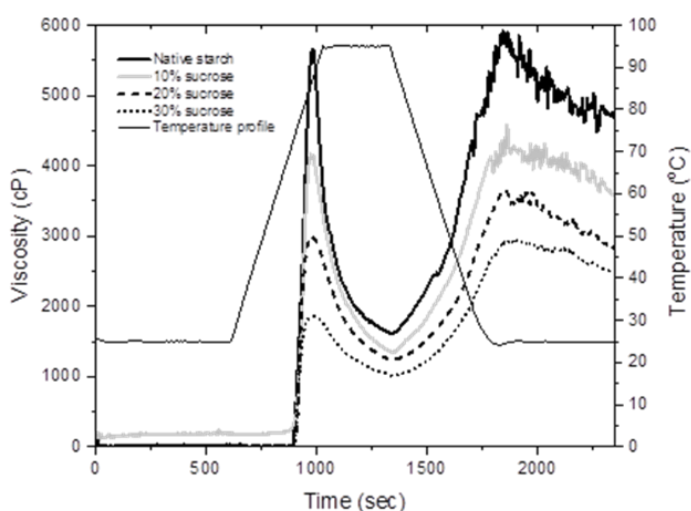
ตารางที่ 2 สมบัติด้านความหนืดของขนมปังที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตร้อยละ 10, 20 และ 30 เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง

ขนมปังเติมน้ำตาลร้อยละ	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (RVU)	Final Viscosity (RVU)
แป้งมันสำปะหลัง	71.87±0.03 ^a	5540±39 ^a	4777±5 ^a
10	71.85±0.05 ^a	4250±77 ^b	3585±21 ^b
20	71.40±0.05 ^b	2988±17 ^c	2842±7 ^c
30	71.36±0.06 ^b	1849±17 ^d	2424±66 ^d

a,b,c,d = ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

นอกจากนี้ [22] ได้รายงานการว่าการที่ผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ผลิตจากเครื่องเอ็กทราซูเดอร์มีความหนืดสูง (Peak Viscosity) แสดงให้เห็นว่าในระบบของอาหารที่ผ่านความร้อนยังมีแกรนูลแป้งที่เกิดเจลลิตีไนซ์ไม่สมบูรณ์หรือแป้งที่ถูกทำลายบางส่วน (Partial Damage) เหลืออยู่ จากผลการทดลองพบว่าขนมปังทุกสูตรยังมีเม็ดแป้งที่ถูกทำลายบางส่วน เนื่องจากการอบให้ความร้อน ซึ่งจะสังเกตในกราฟความหนืดในรูปที่ 3 ของตัวอย่างแป้ง 3 ที่เตรียมจากขนมปังสูตรต่าง ๆ พบว่าแป้งจากขนมปังทุกสูตรมีความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) ต่ำกว่าค่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

โดยขนมปังที่เติมน้ำตาลในสูตรการผลิตร้อยละ 10 จะมีเม็ดแป้งที่ถูกทำลายบางส่วนแทรกอยู่ในโครงสร้างรวมกับแกรนูลแป้งที่เกิดเจลลิตีไนซ์อย่างสมบูรณ์แล้วมากกว่าขนมปังที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตร้อยละ 20 ตามลำดับ 30 แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลเมื่อละลายเป็นของเหลวแล้วอาจมีส่วนช่วยในการนำความร้อนไปสู่เม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งเสียสภาพธรรมชาติได้มากขึ้น อีกทั้งในสูตรการผลิตที่มีการเติมน้ำตาลมากทำให้สัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังในสูตรการผลิตลดลงไปด้วย ส่งผลให้แป้งอาจถูกทำลายหรือเกิด partial damage ได้มากกว่าขนมปังสูตรที่มีการเติมน้ำตาลน้อยกว่า



รูปที่ 3 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของขนมปังที่เติมน้ำตาลในสูตรการผลิตที่แตกต่างกันด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) ของขนมปังที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตร้อยละ 10, 20 และ 30 เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

การประเมินคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของขนมฝัງ

ผลการศึกษาการประเมินคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของขนมฝัງโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ได้แสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) (N) ของขนมฝัง ที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิต 10% ของส่วนผสมทั้งหมด มีค่าความแข็งมากกว่าสูตรที่เติมน้ำตาลมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3 ปริมาตรจำเพาะและความชื้นของขนมฝังที่เติมน้ำตาลในสูตรการผลิตที่แตกต่างกัน

ขนมฝังเติมน้ำตาลร้อยละ	ค่าความแข็ง (N)
10	126.58±11.73 ^a
15	114.55±11.77 ^b
20	92.51±14.75 ^c
30	76.87±14.04 ^d

a,b,c,d = ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

น้ำตาลทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมฝังมีความเปรี้ยวเนื่องจากน้ำตาลควบคุมการดูดน้ำและมีการกระจายตัวในเฟสของโมเลกุลโปรตีนและแป้งซึ่งช่วยป้องกันการจับ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเมื่อทดสอบด้วยวิธี 9 point-hedonic scoring ของขนมฝังที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตแตกต่างกัน

ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละ)	Appearance	Color	Texture	Disintegration in mouth	Flavor	Taste	Overall liking
10	5.41±1.69 ^b	6.54±1.32 ^a	5.35±1.42 ^b	6.19±1.81 ^{ab}	6.30±1.56	5.85±1.56 ^b	5.39±1.52 ^c
15	6.64±1.54 ^a	6.59±1.28 ^a	5.40±1.24 ^b	6.08±1.28 ^{ab}	6.46±1.35	6.49±1.26 ^a	6.03±1.26 ^b
20	6.78±1.43 ^a	5.56±1.58 ^b	6.59±1.29 ^a	6.27±1.45 ^a	6.14±1.38	6.54±1.35 ^a	6.43±1.37 ^a
30	4.97±1.46 ^c	5.52±1.25 ^b	5.21±1.58 ^c	5.62±1.42 ^b	6.22±1.25	5.77±1.25 ^b	5.32±1.14 ^c

a,b,c = ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

โดยได้ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน พบว่า ลักษณะปรากฏ (Appearance) สี

ตัวกันของเฟสต่อเนื่องทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ และน้ำตาลมีอิทธิพลต่อความแข็งของขนมฝัง อาจเป็นเพราะการยึดเกาะที่แข็งแรงขึ้นระหว่างอนุภาคหลังการเกิดผลึกน้ำตาลอีกครั้งเมื่อผลิตภัณฑ์เย็นลง [24] โดยรายงานการวิจัยที่ให้ผลเช่นกัน เช่น ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่รายงานโดย Pyreyt และคณะ [14] ที่ชี้ให้เห็นว่าคุกกี้ที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงจะมีความชื้นคงที่ที่ร้อยละ 2.8 และมีค่าทนต่อการแตก (Break Strength) ลดลงและ Panghal และคณะได้เสนอว่าระดับไขมันและน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นในสูตรการผลิตคุกกี้ส่งผลให้คุกกี้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นและเพิ่มการกระจายของแป้งโดยละเอียดอีกด้วย [24] เป็นต้น

การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ขนมฝังที่มีการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตร้อยละ 10, 15, 30 และ 20 ได้ถูกนำไปทำการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมโดยใช้ 9 point-hedonic scoring โดยมีคุณลักษณะที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ ลักษณะปรากฏ (Appearance) สี (Color) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) การละลายในปาก (Disintegration in Mouth) กลิ่นขณะรับประทาน (Flavor) รสชาติ (Taste) และความชอบโดยรวม (Overall Liking) (ตารางที่ 4)

(Color) ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) การละลายในปาก (Disintegration in Mouth) รสชาติ (Taste) และ

ความชอบโดยรวม (Overall Liking) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนกลิ่นขณะรับประทาน (Flavor) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผู้ชิมชอบขนมฝักรูปที่มีปริมาณน้ำตาล 20% มากที่สุด โดยมีคะแนนความต้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส การละลายในปาก รสชาติและความชอบโดยรวมสูงที่สุด อาจเป็นเพราะขนมฝักรูปที่เติมน้ำตาลร้อยละ 20 มีค่าความแข็งน้อยกว่าขนมฝักรูปที่เติมน้ำตาลร้อยละ 10, 15 แต่มากกว่าขนมฝักรูปที่มีน้ำตาลร้อยละ 30 ทำให้รับประทานง่าย อีกทั้งยังคงมีรูปทรงครึ่งวงกลมและน้ำตาลที่ไม่เข้มจนเกินไปและไม่ซีดขาว ซึ่งลักษณะที่กล่าวมานี้ถือเป็นลักษณะที่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมชอบขนมฝักรูปมากที่สุด

สรุปผล

น้ำตาลเป็นวัตถุดิบที่มีอิทธิพลต่อการผลิตขนมฝักรูปและคุณภาพของขนมฝักรูป ซึ่งการเติมน้ำตาลในสูตรการผลิตในปริมาณมากส่งผลให้ขนมฝักรูปมีค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์ การเกิดโครงสร้างรูพรุน และความเข้มของสีเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมน้ำตาลในการผลิตขนมฝักรูปในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะ ปริมาณความชื้น ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และความแข็งของผลิตภัณฑ์ลดลง นอกจากนี้น้ำตาลยังส่งผลต่อคะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิม ซึ่งพบว่าขนมฝักรูปที่เติมน้ำตาลร้อยละ 20 ในสูตรการผลิตได้รับ 20 คะแนนความชอบสูงที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี ลักษณะเนื้อสัมผัส การละลายในปาก รสชาติ (Taste) และความชอบโดยรวม เพื่อให้เกิดความเข้าใจผลของปริมาณน้ำตาลในขนมฝักรูปมากขึ้นการศึกษาในขั้นต่อไปควรคำนึงถึงคุณภาพด้านเคมีและอายุการเก็บรักษาขนมฝักรูปที่เป็นผลจากปริมาณน้ำตาลในสูตรผลิตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย และงานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภท Basic Research Fund (Blue Sky) ปี 2564

เอกสารอ้างอิง

1. Peanthong J, Tanteang O, Keawsritong J, Thanawatchai A. [Product development of Khanom Ping supplement Gotu Kola leaf]. The 2nd Kamphaeng Phet Rajabhat University Student National Conference; 2016 Dec 28; Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Thailand. p. 808-15. Thai.
2. Sanyapradit J, Sane A, Sappakul P. Moisture Sorption Isotherm and Texture of Glassy Tapioca-Flour-Based. The 12th ASEAN Food Conference; 2011 Jun 16-18; BITEC Bangna, Bangkok, Thailand, p. 254-9.
3. Nip W-K. Sweetener. In: Hui YH, editor. Bakery Products: Science and Technology. 1st ed. Blackwell Publishing Professional Iowa, USA; 2006. p. 137-60.
4. Gao J, Brennan MA, Mason SL, Brennan CS. Effects of sugar substitution with 'Steviana' on the sensory characteristics of muffins. J Food Quality. 2007;2:1-11.
5. Mariotti M, Lucisano M. Sugar and Sweeteners. In Weibiao Z, Hui YH, editor. Bakery Products Science and Technology. 2nd ed. Blackwell Publishing Professional, Iowa, USA. 2014. p. 199-220.

6. Luo X, Arcot J, Gill T, Louie JCY, Rangan A. A review of food reformulation of baked products to reduce added sugar intake. *Trends Food Sci Technol.* 2019;86:412-25.
7. Barrett A, Kaletung G, Rosenberg S, Breslauer K. Effect of sucrose on the structure, mechanical strength and thermal properties of corn extrudates. *Carbohydr Polym.* 1995;26(4):261-9.
8. Kweon M, Slade L, Levine H. Potential sugar reduction in cookies formulated with sucrose alternatives. *Cereal Chem.* 2016;93(6):576-83.
9. Othong J, Klinmalai L, Chareonchai A. [The using of inulin replaced with sugar in milk ice cream supplemented with chicken breast]. *J Appl Res Sci Tech.* 2020;19(1):39-50. Thai.
10. AOAC International. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. 2000.
11. Hunter EK, Bello FD, Arendt EK. Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flours. *J Cereal Sci.* 2010;52: 65-71.
12. Hosney RC. Chapter 6 Glass transition and its Role in Cereals. In: Delcour JA, Hosney RC, editor. *Principles of Cereal Science and Technology*. 3rd Edition. AACC International, Academic Press Ltd-Elsevier Science Ltd. 2010. p. 97-106.
13. Chevallier S, Colonna P, Lourdin D. Contribution of major ingredients during baking of biscuits dough systems. *J Cereal Sci.* 2000;31(3):241-52.
14. Pareyt B, Talhaoui F, Kerckhofs G, Brijs K, Goesaert H, Wevers M. The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties. *J Food Eng.* 2009;90:400-8.
15. Sahin AW, Zannini E, Coffey A, Arendt EK. Sugar reduction in bakery products: Current strategies and sourdough technology as a potential novel approach. *Food Res Int.* 2019;126,108583: 1-17.
16. Slade L, Levine H, Wang M. The glassy state phenomenon in applications for the food-industry-Application of the food polymer science approach to structure-function-relationships of sucrose in cookie and cracker systems. *J Sci Food Agr.* 1993;63(2): 133-76.
17. Clemens RA, Jones JM, Kern M, Lee S-Y, Mayhew EJ, Slavin JL, et al. Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews.* 2016;15(3):433-70.
18. Purlis E. Browning development in bakery products – A review. *J Food Eng.* (2010);99(3): 239-49.
19. Pareyt B, Delcour JA. The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: A review on sugar-snap cookies. *Cri Rev Food Sci Nutr.* 2008; 48(9):824-39.
20. Mezreb K, Goullieux A, Ralainirina R, Queneudec M. Effect of sucrose on the textural properties of corn and wheat extrudates. *Carbohydr Polym.* 2006;19:1-8.

21. Pongsawatmanit R, Thanasukarna P, Ikeda S. Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions. *Sci Asia*. 2002;28(2):129-34.
22. Ortiz JAR, Carvalho CWP, Ascheri DPR, Ascheri JLR, Andrade CT. Effect of sugar and water contents on non-expanded cassava flour extrudates. *Food Sci Tech*. 2010;30(1): 205-12.
23. Kohyama K, Nishishinari K. Effect of soluble sugars on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. *J Agric Food Chem*. 1991;39:1406-10.
24. Panghal A, Chhikara N, Khatkar B S. Effect of processing parameters and principal ingredients on quality of sugar snap cookies: a response surface approach. *J Food Sci Technol*. 2018;55: 3127–34.