

ผลของแป้งสุกในแป้งโดที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส สี และลักษณะเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย

Influence of Cooked Flour in Dough Mixing on Sensorial Attributes, Color and Texture Properties of Pandan Lod Chong Singapore Product

สรณีย์ เต็มเปี่ยม, วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงค์ และ ศุภักษร มาแสวง

Sansanee Tempiam, Worakul Panyathitipong, Supuksorn Masavang

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เขตดุสิต
กรุงเทพมหานคร 10300

Department of Food Science and Technology, Faculty of home Economics Technology, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon, Dusit, Bangkok 10300, Thailand

*Corresponding author; E-mail: supuksorn.m@rmutp.ac.th

Received: 27 April 2022 /Revised: 17 May 2022 /Accepted: 15 June 2022

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์เป็นขนมหวานที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่สุกบางส่วน เพื่อให้แป้งโดยมีลักษณะเหนียวนุ่ม ดังนั้นปริมาณของแป้งสุกในโดจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของแป้งสุกและแป้งดิบที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ลักษณะเนื้อสัมผัส และค่าสีในผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์ใบเตย 3 สูตร ที่เตรียมแป้งสุกด้วยแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 30, 35, และ 40 กวนด้วยน้ำใบเตยที่ใช้น้ำปูนใสอิมตัว จากนั้นนำไปนวดผสมกับแป้งดิบร้อยละ 70, 65 และ 60 ตามลำดับ การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตรที่ 1 ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งสุกและแป้งดิบเท่ากับร้อยละ 30 และ 70 ตามลำดับ ได้รับคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่น, ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด ($P < 0.05$) การตรวจค่าสีพบว่าค่าสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าสีเขียว (a^*) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งสุกลดลงและแป้งดิบเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าสีเขียวจากใบเตยมีความคงตัวมากที่สุดในส่วนลอดช่องสิงคโปร์สูตรที่ 1 ส่วนการตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสแสดงให้เห็นว่าเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่มีปริมาณแป้งสุกน้อยและแป้งดิบมากในแป้งโดส่งผลให้เส้นมีค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และความยืดหยุ่น (Elasticity) เพิ่มขึ้นจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตลอดช่องสิงคโปร์สูตรที่ 1 ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งสุกและแป้งดิบเท่ากับร้อยละ 30 และ 70 เป็นสูตรที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางกายภาพที่เหมาะสมและส่งผลให้ได้รับคะแนนการยอมรับทุกด้านมากที่สุด

คำสำคัญ: ลอดช่องสิงคโปร์ แป้งสุก แป้งมันสำปะหลัง สีเขียวจากใบเตย

Abstract

Lod Chong Singapore is a dessert made from partially cooked cassava flour to soften the dough. Therefore, the cooked flour content in dough is an important factor for product quality. The objective of this research was to study the effect of cooked flour level in dough mixing on the sensorial attributions, color and texture characteristics in different 3 formulas of Pandan Lod Chong Singapore. Each dough was prepared by mixing the cooked flour paste with 30%, 35% and 40% cassava flour with pandan juice extracted with saturated limewater. Then, it was kneaded with 70%, 65 and 60 percent of raw flour. They were called sample recipes no. 1, 2 and 3, respectively. Sensory evaluation results revealed that recipe no. 1, which contained 30% and 70% of cooked and uncooked flour, respectively, showed the highest acceptance score in terms of appearance, color, odor, texture and overall liking ($p < 0.05$). Color values revealed that the brightness (L^*), yellowness (b^*) and green color value (a^*) increased with a decrease in cooked flour level and an increase in the raw flour in flour dough. This indicated that the green color from the pandan leaves was the most stable in the Lod Chong Singapore recipe no. 1. Texture analysis result was shown that Lod Chong Singapore noodles contained low cooked flour and high raw flour level in dough mixture, resulting in the tensile strength and elasticity increased. This study demonstrates that Singapore Lod Chong recipe no. 1, containing cooked flour 30% and raw flour 70%, is a formulation that ensures the product has an appropriate physical quality and thus received the most sensory acceptance scores in all aspects.

Keywords: Lod Chong Singapore, Cooked flour, Cassava flour, Pandan-leaf green color

บทนำ

ลอดช่องสิงคโปร์ (Cassava flour jelly หรือ Lod Chong Singapore) เป็นขนมไทยที่มีส่วนผสมหลักคือ แป้งมันสำปะหลัง ขึ้นรูปเป็นเส้นหรือรูปแท่ง และทำให้มีสีเขียวจากน้ำคั้นใบเตย เส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่จำหน่ายทั่วไปผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง นวดกับน้ำร้อนจัดทำให้แป้งสุกบางส่วนผสมกับแป้งมันสำปะหลังดิบจนแป้งโดเหนียว จับตัวเป็นก้อน และเนียนเป็นเนื้อเดียวกันเพื่อนำไปรีดและตัดเป็นเส้น จากนั้นนำไปต้มให้สุกในน้ำเดือด สามารถ

รับประทานโดยใส่น้ำกะทิ น้ำเชื่อมและน้ำแข็งทุบ¹ ในสูตรการผลิตสามารถใช้น้ำใบเตยแทนน้ำเปล่าเพื่อเพิ่มสีเขียวได้ แต่การเติมน้ำสกัดจากใบเตยเพื่อให้สีเขียวในอาหารต้องหลีกเลี่ยงความร้อนที่สูงเกินไป เพราะความร้อนสูงจะทำให้สารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์จากใบเตยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเขียวมะกอกหรือสีเหลือง^{2,3} ระหว่างปฏิกิริยาไฮโดรเจนไอออน (H^+) สามารถเปลี่ยนรูปของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟิโอฟทินโดยการแทนที่แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ในวงแหวนพอร์ไฟริน

(Porphyrin ring)⁴ ในการผลิตขนมไทยบางชนิดมีการใช้น้ำปูนใสในการคั้นน้ำใบเตยแทนการใช้น้ำเปล่าเพื่อทำให้เกิดความคงตัวของสีเขียวในผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมเปียกปูนใบเตย⁵ ขนมลอดช่องใบเตย⁶ เป็นต้น เนื่องจากความเหนียวนุ่มและสีเป็นลักษณะที่สำคัญที่ใช้ในการตัดสินคุณภาพของเส้นลอดช่องลิงคโปร สิ่งสำคัญคือต้องป้องกันการสลายตัวของสารสีเขียวและการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสขณะให้ความร้อน การผลิตลอดช่องลิงคโปรต้องทำให้แป้งสุกบางส่วนที่ให้ความยืดหยุ่นและนวดผสมกับแป้งดิบเพื่อให้ความแข็งแรงกับเส้นลอดช่องลิงคโปร ก่อนหน้านี้มีการศึกษาของ Sharma และคณะ⁷ ได้รายงานผลของการใช้แป้งสุกที่คั้นตัวแล้ว (Gelatinized-retrograded starches, GRS) ทดแทนแป้งสาลีที่ร้อยละ 0, 10 และ 20 ที่มีต่อคุณภาพของเส้นบะหมี่ ซึ่งเส้นบะหมี่ที่มีปริมาณของ GRS สูงจะทำคุณภาพด้านลักษณะเนื้อสัมผัส (Hardness, Cohesiveness, Gumminess, Springiness และ Adhesiveness) มีค่าต่ำกว่าเส้นบะหมี่ที่ผลิตแป้งสาลีล้วน ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนที่สูงในสูตรปกติที่ถูกเจือจางด้วยแป้งสุกในสูตรที่เติม GRS ทำให้โครงสร้างของกลูเตนลดลงส่งผลให้เส้นบะหมี่มีเนื้อสัมผัสที่นิ่ม แต่ทำให้เส้นมีค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) สูงขึ้น อีกทั้งมีค่าคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏและการยอมรับโดยรวมไม่ต่างจากสูตรปกติ แสดงให้เห็นว่าการเติม GRS ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นบะหมี่ได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้แป้งสุกยังถูกใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังขาวโดยใช้แป้งสุกของแป้งสาลีชนิดแข็ง (Hard wheat flour) ร้อยละ 20 ทดแทนแป้งสาลีใน

สูตรการผลิต จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) พบว่าแป้งสุกทำให้ขนมปังมีรูพรุนขนาดใหญ่และกลมขึ้น ในขนมปังสูตรควบคุมพบเม็ดแป้งอยู่บนผิวของผนังรูพรุน ในขณะที่ขนมปังที่เติมแป้งสุกจะมีเจลแป้งที่เชื่อมระหว่างเม็ดแป้ง อีกทั้งตาข่ายกลูเตนมีความหนาและหยากขึ้นในขนมปังที่เติมแป้งสุกซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกลูเตนทำให้ขยายตัวและเก็บกักก๊าซในระหว่างการอบได้ดีขึ้น ส่งผลให้ขนมปังไม่ยุบจนเกินไปและยังคงความยืดหยุ่นได้ดี⁸ จากงานวิจัยที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งสุกบางส่วนในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของอาหารได้ การใช้สัดส่วนของแป้งที่สุกแล้วหรือแป้งสุก (Cooked flour) ที่ต้มด้วยน้ำใบเตยกับแป้งดิบ (Raw flour) ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของเส้นลอดช่องลิงคโปร รวมถึงความคงตัวของสีเขียวจากใบเตย

ใบเตย (*Pandanus amaryllifolius*) เป็นพืชเมืองร้อนพบได้ทั่วไปในประเทศเขตร้อนรวมถึงประเทศไทย มักถูกใช้เป็นสารให้สีเขียวในอาหารเนื่องจากมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง⁹ และสารให้กลิ่นธรรมชาติในการแปรรูปอาหารและเครื่องดื่มเนื่องจากในใบเตยมีสาร 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งเป็นเป็นสารประกอบที่ระเหยได้¹⁰ การใช้ใบเตยเป็นสารสีจากธรรมชาติ ถูกทำโดยการผสมน้ำสกัดจากใบเตยกับส่วนผสมของอาหารระหว่างการเตรียมอาหารหรือการแปรรูป¹¹ แต่อย่างไรก็ดีความเข้มของสารสีเขียวจากธรรมชาติหรือคลอโรฟิลล์มักอยู่ในรูปแบบที่ไม่คงตัวเนื่องจากการสลายตัวอย่างรวดเร็วด้วยปัจจัย เช่น ปฏิกริยาของเอนไซม์

ความเป็นกรด การสัมผัสกับอากาศ แสง และ ความร้อน ในระหว่างการแปรรูป⁹ มีหลากหลายวิธีที่ ถูกใช้รักษาสาหร่ายหรือคลอโรฟิลล์ระหว่างการให้ ความร้อนโดยการควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยปรับสภาวะขณะหุงต้มให้เป็นด่างหรือแอล คาไลน์ (Alkaline treatment) เป็นวิธีหนึ่งที่เพิ่ม ความคงตัวของสีเขียวจากธรรมชาติด้วยการเติมสาร กลุ่มแอลคาไลน์ เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaOH_2), แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (MgOH_2), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมไบ कार्बอเนต (Na_2CO_3) เป็นต้น โดยการในของเหลว ที่ใช้สกัดสาหร่ายสีเขียวจากพืช สารเคมีดังกล่าวช่วยเพิ่ม ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทำให้คงความเป็นสีเขียวของคลอโรฟิลล์ได้¹²

ในขนมไทยที่ใช้ที่มีแป้งเป็นวัตถุดิบ (Starch-based dessert) น้ำปูนใสอิมิตัว หรือสารละลาย CaOH_2 ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 12.2 ถูกใช้เป็นส่วนผสมในของหวาน เช่น ขนมเปียกปูน⁵ ลอดช่องพื้นเมือง⁶ เป็นต้น เพื่อปรับปรุงลักษณะ เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้คงตัวและยืดหยุ่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยรักษากลิ่นและสีเขียวของ ใบเตยอีกด้วย มีงานวิจัยที่อธิบายการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของแป้งที่เติมสารละลาย CaOH_2 ระหว่าง การให้ความร้อนพบว่าในสภาวะที่ CaOH_2 มีความเข้มข้นต่ำบริเวณที่เป็นผลึก (Crystalline) มีแนวโน้มที่จะถูกทำลายโดยแอลคาไลน์^{3, 14} เมตริกซ์ของเม็ด แป้งจะถูกยึดออกโดยการแทนที่ของโปรตอน, Ca^+ หรือ CaOH^+ เมื่อ CaOH_2 มีความเข้มข้นสูงจะเกิด พันธะเชื่อมข้าม (Cross-linking) ของโครงสร้าง เชิงซ้อนระหว่าง CaOH_2 และแป้งสุกทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงส่งผลให้แป้งมีความหนืดสูงขึ้น ทำให้

เม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้น¹⁵ และโครงสร้างของแป้งเปียกและ CaOH_2 ยังสามารถเก็บกักสารให้กลิ่นไว้ในแป้งที่สุกแล้วได้อีกด้วย¹⁶

ดังนั้นในการทำวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงคโปร์โดยใช้ ปริมาณของแป้งสุกหรือแป้งเปียกที่เตรียมน้ำปูนใสอิมิตัวในการเตรียมน้ำใบเตยนวดผสมกับแป้งดิบ เพื่อเตรียมแป้งโดสำหรับผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์ ในระดับที่แตกต่างกัน และทำการทดสอบคุณภาพ ทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบค่าสี และลักษณะ เนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่เป็นผลจากการ ใช้ปริมาณของแป้งสุกที่ใช้ขนาดผสมกับแป้งมัน สำปะหลังดิบที่แตกต่างกันในการผลิตเส้นลอดช่อง สิงคโปร์

วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

แป้งมันสำปะหลัง ขนาด 450 กรัม น้ำปูนใส (CaOH_2) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร โดยชั่งปูนแดง 5 กรัม ผสมน้ำสะอาด 100 กรัม แล้วคนให้เข้ากัน ปล่อยให้ทิ้งไว้ 1 คืน⁶ น้ำใบเตย เตรียมจากใบเตยที่หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็กต่อน้ำปูนใส อิมิตัวด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ปั่นผสมกัน ด้วยเครื่องปั่น กำลัง 250 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที ด้วย ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที นำมากรองด้วย ผ้าขาวบาง 2 ชั้น เก็บน้ำปูนใสและน้ำใบเตย ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และทำการเตรียม วัตถุดิบเพื่อใช้ในการเตรียมน้ำสำหรับทดสอบ ทางประสาทสัมผัส ได้แก่ น้ำกะทิแบบยูเอชที ขนาด 250 มิลลิลิตร และน้ำตาลทรายขาว ใช้ในการเชื่อม โดยชั่งน้ำตาลทราย 500 กรัม น้ำเปล่า 1,000 มิลลิลิตร

ต้มไฟอ่อน เคี่ยวจนได้น้ำเชื่อมที่มีความหวาน
สุดท้าย 32 องศาบริกซ์ แล้วพักไว้ให้เย็น

2. การเตรียมเส้นสิงคโปร์ใบเตย

การศึกษาผลของสัดส่วนแป้งสุกและแป้งมัน
สำหรับหลังดิบในแป้งโด โดยการเตรียมเส้นลอดช่อง
สิงคโปร์ 3 สูตร โดยมีส่วนผสมหลัก ได้แก่ แป้งมัน
สำหรับหลัง ซึ่งเป็นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้
เตรียมแป้งสุกร้อยละ 30, 35 และ 40 (Table 1)
และนำไปผสมกับน้ำใบเตยที่สกัดด้วยน้ำปูนใส
อิมตัวหรือสารละลาย CaOH_2 ที่เตรียมไว้ปริมาตร
100 มิลลิลิตร กวนให้สุกเป็นเนื้อเดียวกันด้วย
ไฟกลางเป็นเวลา 2 นาที เมื่อครบเวลาให้นำไปนวด

ผสมกับแป้งมันสำหรับหลังดิบส่วนที่เหลือร้อยละ 70,
65 และ 60 ตามลำดับ ขณะร่อนให้เข้ากันดีเป็นเวลา
5 นาที นำแป้งโดที่นวดเสร็จแล้วมารีดให้เป็นแผ่น
หนา 4 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องทำเส้นบะหมี่ รอยแป้ง
นวลเล็กน้อยเพื่อไม่ให้ตัวเส้นติดกัน แล้วตัดให้เป็น
เส้นขนาด $0.5 \times 18.0 \times 0.4$ เซนติเมตร นำไปต้มในน้ำ
เดือดโดยใช้อัตราส่วนของลอดช่องและน้ำเย็น 1:5
เป็นเวลา 2 นาที เมื่อเส้นลอดช่องสิงคโปร์สุกก็นำลง
ไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อัตราส่วนของเส้น
ลอดช่องสิงคโปร์และน้ำเย็น 1:5 เป็นเวลา 40 นาที
และสะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำไปทำการ
วิเคราะห์คุณภาพ

Table 1. Formulation of Lod Chong Singapore recipe No. 1, 2, and 3, containing different cooked flour to raw flour ratio for dough

Recipe No.	Percentage of cooked flour (%)	Percentage of raw flour (%)	Volume of pandan juice (ml)
1	30	70	100
2	35	65	100
3	40	60	100

3. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสโดย
วิธีการให้คะแนนความชอบที่มีต่อเนื้อสัมผัสของเส้น
ลอดช่องสิงคโปร์ที่มีสูตรส่วนผสมต่างกัน

นำเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่ได้จากการเตรียม
ในข้อ 2 ปริมาณ 30 กรัม ไปผสมกับน้ำเชื่อม 2 ช้อน
โต๊ะ และน้ำกะทิ 1 ช้อนโต๊ะ ตักใส่ถ้วยพลาสติกแล้ว
ให้ผู้ทำการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสหรือ
ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จากบุคคลทั่วไป
ในคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นจำนวน 50 คน

โดยใช้วิธี 9-point hedonic scale (ระดับคะแนน
1=ไม่ชอบมากที่สุด, 9=ชอบมากที่สุด)¹⁷ โดย
ประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ
สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และ
ความชอบโดยรวม เพื่อคัดเลือกสูตรการผลิตเส้น
ลอดช่องสิงคโปร์ที่มีคะแนนทดสอบทางประสาท
สัมผัสที่เหมาะสมที่สุด

4. วิเคราะห์ทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลอดช่อง
สิงคโปร์ได้แก่

4.1 ค่าสี

นำเส้นลวดของสิ่งคโปรที่ต้มสุกแล้วมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Chroma meter (Konoca Minota รุ่น CR-400) แสดงผลค่าสีที่วัดได้ด้วยค่า L^* , a^* , และ b^* โดยที่ค่าสี L^* แสดงค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) ค่าสี a^* แสดงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (ค่า + จะแสดงค่าสีแดง และค่า - จะแสดงค่าสีเขียว) ส่วนค่าสี b^* แสดงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน (ค่า + จะแสดง ค่าสีเหลือง และค่า - จะแสดงค่าสีน้ำเงิน) โดยสุ่มตำแหน่งบนผิวของเส้นลวดของสิ่งคโปรเพื่อวัดค่า 5 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

4.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ทำการวัดค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และความยืดหยุ่น (Elasticity) ของเส้นลวดของสิ่งคโปรขนาด $0.5 \times 18.0 \times 0.4$ เซนติเมตร ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA-XT2i, Stable micro systems) พร้อมหัววัดแรงดึง (Tension) รหัส A/SPR กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ได้แก่ Pre-test speed 1.0 มิลลิเมตร/วินาที, Test speed 15.0 มิลลิเมตร/วินาที, Post-test speed 10.0 มิลลิเมตร/วินาที, Distance 15 มิลลิเมตร/วินาที, Trigger type 5 กรัม (ดัดแปลงจากวิธีของ Shan et al.)¹⁸ ทำการรายงานผลค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเส้นลวดของสิ่งคโปรจำนวน 50 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสค่าสี และค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete

block design; RCBD) ทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ของเส้นลวดของสิ่งคโปร

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นลวดของสิ่งคโปร 3 สูตร ที่มีการใช้ปริมาณของแป้งสุก (ร้อยละ 30, 35 และ 40) และแป้งดิบ (ร้อยละ 70, 65 และ 60) ในแป้งโด พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสูตรที่ 1 ต่างจากสูตรที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งเกิดจากการใช้ส่วนผสมของแป้งสุกและแป้งดิบที่ต่างกันส่งผลต่อคะแนนการทดสอบที่ต่างกัน โดยเส้นลวดของสิ่งคโปรสูตรที่ 1 มีคะแนนด้านความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรอื่น (Table 2) ขณะที่การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่น และรสชาติไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) เนื่องจากมีการใช้ส่วนผสมของน้ำใบเตยเท่ากันในการเตรียมเส้น และการเตรียมตัวอย่างลวดเพื่อทดสอบมีการเติมน้ำเชื่อมและกะทิด้วยปริมาณเท่ากัน ส่งผลให้ผู้ทดสอบไม่สามารถแยกกลิ่น และรสชาติได้

ผลิตภัณฑ์ลวดของสิ่งคโปรสูตรที่ 1 มีลักษณะที่นุ่มและแน่น ไม่ร่วน จากใช้ส่วนผสมของแป้งสุกร้อยละ 30 และแป้งดิบร้อยละ 70 ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณแป้งสุกส่งผลต่อเนื้อสัมผัสนุ่มจนเกินไป ขณะที่การเพิ่มปริมาณแป้ง

ดิบทำให้เนื้อสัมผัสของเส้นลอดช่องสิงคโปร์มีความเหนียวหนึบคล้ายยางมากขึ้น ดังนั้นแป้งทั้ง 2 ชนิดต้องมีอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งทำให้เกิดการยึดเกาะและมีความนุ่มของเจลในเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่เหมาะสม เนื่องจากในแป้งสุก (Cooked flour) ที่เตรียมจากการนำแป้งมันสำปะหลังดิบ (Raw cassava flour) ที่เหมาะสมก่อให้เกิดเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อน แป้งสุกหรืออาหารที่มีแป้งในน้ำร้อนทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากเม็ดแป้งดูดซับน้ำเข้าไปและลดปริมาณน้ำในระบบของสารละลาย อุณหภูมิที่ทำให้แป้งเกิดเจลในเซชันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของแป้ง เมื่อแป้งถูกให้ความร้อนจึงเลเยจุดการเกิดเจลในเซชันแป้งจะกลายเป็นแป้งเปียกเมื่อทิ้งให้เย็นแป้งจะเกิดเจล¹⁹ โดยที่เนื้อลอดช่องสิงคโปร์มีการเกิดเจลในเซชันเมื่อแป้งโดนดูดซับในน้ำเดือด ดังนั้นเมื่อใช้ส่วนผสม

ที่แตกต่างกันจึงส่งผลต่อลักษณะเจลที่แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งส่วนผลต่อการให้คะแนนของผู้ทดสอบชิมด้านลักษณะเนื้อสัมผัส สีเขียวของเส้นลอดช่องสิงคโปร์ที่สกัดจากใบเตยด้วยน้ำปูนใสอิมิตัวทั้ง 3 สูตร ยังคงมีสีเขียวเข้ม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำปูนใสหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีผลต่อความคงตัวของสารสีเขียวจากใบเตยหรือคลอโรฟิลล์ในผลิตภัณฑ์^{5, 12} ตามปกติการเปลี่ยนสีของผักใบเขียวระหว่างกระบวนการปรุงจากการเปลี่ยนจากสารคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟิโอฟินด้วยอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซึ่งสีเขียวของพืชผักจะเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวมะกอกเมื่อถูกให้ความร้อนในสภาวะที่เป็นกรด ดังนั้นการปรับค่า pH ให้้อย่างในช่วงด่างด้วยสารโลหะแอลคาไล เช่น CaOH_2 , Na_2CO_3 และ MgOH_2 เป็นต้น มักถูกใช้ในการเพิ่มค่า pH ของผักใบเขียวและรักษาคลอโรฟิลล์หลังกระบวนการแปรรูปได้³

Table 2. Sensorial attribution scores of Lod Chong Singapore recipes containing different cooked flour to raw flour ratio for dough

Sensorial attribution	Recipe No. 1	Recipe No. 2	Recipe No. 3
Appearance	7.97±0.91 ^a	7.11±1.17 ^b	7.11±1.30 ^b
Color	7.86±0.99 ^a	7.42±1.05 ^b	7.47±1.06 ^b
Odor	7.47±1.30 ^a	7.28±1.14 ^{ab}	6.97±1.46 ^b
Flavor	7.50±1.18 ^{ns}	7.00±1.41 ^{ns}	6.97±1.54 ^{ns}
Taste	7.03±1.76 ^{ns}	6.75±1.81 ^{ns}	6.72±1.70 ^{ns}
Texture	7.61±0.99 ^a	7.19±1.21 ^b	7.08±1.00 ^b
Overall acceptance	7.86±1.07 ^a	7.06±1.17 ^b	7.28±0.97 ^b

Note: Values are prepared as mean±S.D. Values with different superscripts in the same row are significant differences ($p < 0.05$). ns is presented that there was no statistically significant difference.

2. ค่าสี (Color) ของเส้นลอดช่องสิงคโปร์

การศึกษาลักษณะของสัดส่วนระหว่างแป้งสุกและแป้งดิบที่นวดผสมแป้งโดในขั้นตอนการเตรียมเส้น

(Table 1) ที่มีต่อค่าสีของเส้นลอดสิงคโปร์ พบว่าเส้นลอดสิงคโปร์สูตรที่ 1 มีสีเขียวเข้มสม่ำเสมอ ในขณะที่เส้นลอดสิงคโปร์สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 สี

เขียวที่อ่อนกว่าตามลำดับ และมีการกระจายของจุดสีเขียวบนเส้นที่ไม่สม่ำเสมอ (Figure 1) ซึ่งจุดสีเขียวนี้สามารถพบได้เมื่อให้ความร้อนน้ำสกัดใบเตยซึ่งเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้นตะกอนเปียกของสารสกัดใบเตยจะมีปริมาณมากขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นสาเหตุจากความร้อนที่สูงขึ้นมีในการทำให้โปรตีนที่เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อพืชตามธรรมชาติเกิดการเสียสภาพธรรมชาติและตกตะกอนออกมาได้ดีขึ้น^{20, 21} ซึ่งลักษณะปรากฏนี้สอดคล้องกับผลการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (Chroma meter) ที่แสดงใน Table 3 โดยเส้นลวดสังคามีค่าสว่าง (L^*), ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าสีเขียว (a^*) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งสุกลดลงและแป้งดิบเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าสารสีเขียวจากใบเตยมีความคงตัวมากที่สุดในเส้นลวดของสังคามีโปรตีนที่ 1



Figure 1. The appearance of Lod Chong Singapore recipes containing different cooked flour to raw flour ratios for dough

การใช้น้ำปูนใสอ้อมตัวสกัดสารสีเขียวจากใบเตยสดและใช้เป็นของเหลวแทนน้ำเปล่าในขั้นตอนการต้มแป้งสุกช่วยรักษาสารคลอโรฟิลล์ที่

เป็นรงควัตถุในใบเตยที่ให้สีเขียวในเส้นลวดสังคามีโปรตีนได้ ซึ่งเป็นวิธีเพิ่มความคงตัวของคลอโรฟิลล์ด้วยการปรับสภาพเป็นด่างหรือแอลคาไลน์ (Alkaline treatment)¹² เมื่อระดับการของแป้งสุกเพิ่มขึ้นค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าสีเขียว (a^*) ลดลงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งที่ใช้เตรียมแป้งสุกลดลง แสดงให้เห็นว่าเส้นลวดของสังคามีโปรตีนที่ 1 ซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 30 ในการเตรียมแป้งสุกมีสีเขียวที่เข้มกว่าสูตรอื่น ระหว่างการแปรรูปด้วยความร้อน (Heat treatment) สารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์จากพืชจะเปลี่ยนจากสีเขียวสดไปเป็นสีเขียวมะกอกหรือสีเหลือง การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นพร้อมกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) สามารถเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟิโอฟิตินด้วยการแทนที่แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ในวงแหวนพอร์ไฟริน⁴ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีนี้เกิดขึ้นพร้อมกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ซึ่งมักส่งผลต่อค่า a^* ที่แสดงถึงสีเขียว ดังนั้นอาจมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีปริมาณของคลอโรฟิลล์ในพืช²² สีเขียวของพืชผักใบเขียวประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) ที่ให้สีน้ำเงิน-เขียว และคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) ให้เป็นสีเหลือง-เขียว²³ การหุงต้มทำให้เกิดการสูญเสียได้ทั้ง Chlorophyll a และ Chlorophyll b ในระดับต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวิธีการให้ความร้อนและชนิดของพืชผัก อย่างไรก็ตาม Chlorophyll a สลายตัวได้เร็วกว่าคลอโรฟิลล์ บี เมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นอัตราส่วนของ Chlorophyll a ต่อ Chlorophyll b จะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และสีเขียวของผักใบเขียว เช่น ถั่วดินเตา ผักโขม บร็อคโคลี่ เป็นต้น จะค่อยๆ กลายเป็นสีเหลือง ดังนั้นค่าสี $-a^*$ มักลดลง

อันเป็นผลมาจากการสูญเสียความเข้มของสีเขียว²³ นอกจากนี้ค่า L^* ของเส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรที่ 1 มีค่าสูงกว่าสูตรอื่น อาจเป็นผลจากการคงตัวของสารสีเขียวเนื่องจากเป็นสูตรที่ 1 ซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 30 ในการเตรียมแป้งสุกซึ่งเป็นปริมาณน้อยที่สุดและมีปริมาณของแป้งดิบในสูตรการผลิตสูงที่สุด ทำให้การถ่ายเทความร้อนขณะต้มเส้นในน้ำเดือดเกิดขึ้นช้ากว่าสูตรอื่นที่มีการผสมแป้งดิบด้วยปริมาณที่ต่ำกว่าในขั้นตอนการนวดแป้ง (Table 1) เนื่องจากค่าการนำความร้อนของสารละลายแป้งสำปะหลัง (Cassava starch solution, CSS) กับน้ำลดลงตามอุณหภูมิและความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น เป็นไปได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของ CSS เพิ่มขึ้น อัตราส่วนของมวลแป้งแห้งต่อปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้นโดยสิ่งนี้จำกัดการเคลื่อนที่ของสารละลายแป้งและน้ำ ดังนั้นความสามารถของเม็ดแป้งและน้ำในการนำความร้อนระหว่างโมเลกุลจึงลดลง²⁴ จึงอาจทำให้สารสีเขียวในลอดช่องสูตรที่ 1 ถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยกว่าสูตรอื่น นอกจากนี้ Sharma et al.⁷ ได้รายงานผลการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งสุกในผลิตภัณฑ์เส้นบะหมี่พบว่าเส้นบะหมี่ที่เติมแป้งสุกใช้เวลาในการต้มให้สุกในน้ำเดือด (Cooking time) ต่ำกว่าบะหมี่สูตรปกติ ซึ่ง

อาจเป็นผลจากการเจือจางปริมาณของโปรตีนในแป้งสาลีด้วยแป้งสุก อีกทั้งการนวดแป้งที่แตกเสียหายและเกิดเจลตีในชั้นแป้งสุกอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าเวลาการต้มให้เส้นบะหมี่สุกลดลงได้ และมีการสูญเสียของแข็งระหว่างการต้มเส้นที่มาก สูตรปกติเนื่องจากขณะต้มเส้นในน้ำเดือดอะมิโลสจะพองตัวเนื่องจากการดูดน้ำของส่วนอสัณฐาน (Amorphous region) ทำให้พันธะของอะมิโลสถูกทำลายได้ง่ายและมีอะมิโลสหลุดออกมาในน้ำที่ใช้ต้มทำให้บะหมี่ที่เติมแป้งสุกจะมีการสูญเสียขณะต้มมากขึ้น²⁵ ดังนั้นในกระบวนการกวนแป้งเปียกเพื่อเตรียมโดและการกลวงเส้นลอดช่องสิงคโปร์ได้ทำถูกคุมสภาวะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาเท่ากัน เส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรที่ 2 และ 3 ที่มีปริมาณปริมาณของแป้งสุกมากอาจได้รับผลกระทบจากความร้อนสูงกว่าสูตรที่ 1 โดยความร้อนทำให้การนวดแป้งเสียหายหรือมีระดับการเกิดเจลตีในเซชันที่มากกว่าเกิดการสูญเสียของแข็งในผลิตภัณฑ์ระหว่างการต้มสูงขึ้น และอาจส่งผลให้คลอโรฟิลล์ในเส้นลอดช่องสิงคโปร์เสียสภาพธรรมชาติมากขึ้นได้และละลายอยู่ในน้ำที่ใช้ต้มเส้น ดังนั้นเส้นลอดช่องสิงคโปร์สูตรที่ 2 และ 3 จึงมีสีเขียวที่ชัดเจนกว่าผลิตภัณฑ์สูตรที่ 1 (Figure 1)

Table 3 . Color values of Lod Chong Singapore recipes containing different cooked flour to raw flour ratios for dough

Color value	Recipe No. 1	Recipe No. 2	Recipe No. 3
L^*	48.26±0.92 ^a	47.75±2.58 ^{ab}	47.26±1.48 ^b
a^*	-19.01±0.86 ^a	-18.32±0.97 ^b	-17.90±1.21 ^c
b^*	44.42±0.91 ^a	42.70±1.62 ^b	42.21±1.58 ^c

Note: Values are prepared as mean±S.D. Values with different superscripts in the same row are significant differences (P<0.05).

3. ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analysis)

การเติมน้ำปูนใสหรือสารละลาย CaOH_2 มีผลต่อ ค่าแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) และ ค่าความยืดหยุ่น (Elasticity) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยค่าแรงดึงสูงสุดแสดงถึงอาหารมีแรงต้านทานการยืดได้สูงสุด²⁶ ค่าแรงดึงสูงสุดของเส้นลวดของลิงคโปรตีนสูตรที่ 1 ซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 30 ในการเตรียมแป้งสุกมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่สูตรที่ 3 ซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 40 ในการเตรียมแป้งสุกมีค่าต่ำที่สุด จะเห็นว่าความเข้มข้นของ CaOH_2 ในน้ำไบเตยที่ใช้ต้มแป้งลดลงเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังในแป้งสุกเพิ่มขึ้น (Table 4)^{27, 14} ได้รายงานเกี่ยวกับผลการพองตัวของแป้งว่าไอออนของโลหะแอลคาไล (Alkali metal ions) และ หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งมีปฏิสัมพันธ์กันเกิดโครงสร้างเชิงซ้อน ที่ความเข้มข้นของ CaOH_2 ต่ำ (pH 6-8) บริเวณผลึกมีแนวโน้มที่จะถูกทำลายโดยอัลคาไล โครงสร้างของแกรนูลจะถูกยืดออกโดยการแทนที่โปรตอนด้วยไอออนบวก ช่วยเร่งการปล่อยอะมิโนสออกมาจากเม็ดแป้งและหมู่ไฮดรอกซิลจากสายโพลีเมอร์แป้ง ซึ่งอาจทำให้เกิดการแทนที่ของโปรตอนด้วยแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และ Ca(OH)^+ โดยพันธะระหว่าง Ca^{2+} กับแป้ง และ Ca(OH)^+ กับแป้งจะทำให้เม็ดแป้งขยายตัวและพองตัวได้มากขึ้น ในขณะที่ในสภาวะที่มีความเข้มข้น CaOH_2 สูงขึ้น (pH 10-12 หรือ $> 0.2\%$) ไอออน Ca^{2+} จะทำหน้าที่ทำให้แกรนูลแป้งคงตัวและเพิ่มความแข็ง (Rigidity) ของเม็ดแป้งโดยลดปริมาตร ดังนั้นระดับการทำลายเม็ดแป้งอาจถูกจำกัด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pineda-Gomez et al.¹³ และ Pedcharat et al.²⁸

การเตรียมแป้งโดสำหรับผลิตเส้นลวดของลิงคโปรตีนต้องมีส่วนประกอบของแป้งสุกที่กลายเป็นเจลเพื่อให้แป้งโดจับตัวกันได้ อีกทั้งช่วยเพิ่มความนุ่มและยืดหยุ่นให้กับแป้งโด เมื่อนวดผสมกับแป้งดิบที่ทำให้เส้นลวดของลิงคโปรตีนมีความแข็งแรง สามารถรีดเป็นแผ่นและตัดเป็นเส้นได้ ซึ่งเส้นลวดของลิงคโปรตีนสูตรที่ 1 ใช้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 30 ในการเตรียมแป้งสุกด้วยน้ำไบเตย ซึ่งเป็นปริมาณแป้งสุกที่น้อยที่สุดและนวดผสมกับแป้งดิบซึ่งมีปริมาณสูงที่สุด (ร้อยละ 70) เป็นสูตรที่ทำให้เส้นลวดของลิงคโปรตีนมีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และความยืดหยุ่น (Elasticity) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเส้นลวดของลิงคโปรตีนด้วยสูตรที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งสุกหรือแป้งเปียกในสูตรการผลิตเส้นลวดของลิงคโปรตีนในปริมาณร้อยละ 30 จะทำเส้นมีความลักษณะเส้นที่เรียบและยืดหยุ่นที่ดี ในทางกลับกัน หากสัดส่วนของแป้งสุกมีปริมาณสูงขึ้นจะส่งผลให้เส้นลวดของลิงคโปรตีนมีผิวที่ไม่เรียบและขาดง่ายขึ้น เพื่อให้คำอธิบายที่เป็นไปได้เกี่ยวกับพฤติกรรมนี้อาจต้องกล่าวถึงระดับของการเกิดเจลในเซชันของแป้งขณะได้รับความร้อนและการคืนตัวเมื่อเจลแป้งเย็นตัวลง โดยแป้งสุกที่ใช้ในการเตรียมแป้งโดเกิดจากกระบวนการเจลในเซชัน ซึ่งจะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีปริมาณน้ำที่เพียงพอและอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันของแป้งในสภาวะดังกล่าวพันธะระหว่างโมเลกุลที่รักษาโครงสร้างผลึกของแกรนูลแป้งจะอ่อนแอลง และน้ำที่อยู่รอบเม็ดแป้งสามารถทะลุผ่านเข้าไปในโครงสร้างแกรนูลแป้งได้ ในขั้นตอนนี้เม็ดแป้งจะพองตัวแบบย้อนกลับไม่ได้และสูญเสียการหักเหของแสง

(Birefringence)²⁹ ส่วนใหญ่เกิดจากการเคลื่อนที่ของสายโพลิเมอร์แบ่งที่จุดศูนย์กลางของเม็ดแบ่งที่เพิ่มขึ้นหลังการให้ความร้อนขณะที่มีน้ำเพียงพอพลังงานความร้อนที่สูงขึ้นถูกส่งไปยังโพลิเมอร์แบ่งในระหว่างการให้ความร้อนและส่งผลให้เกิดการทำลายโครงสร้างเกลียวคู่ของโมเลกุลแบ่งมากขึ้น ดังนั้นหากการเติมแบ่งสูงในสูตรการผลิตเส้นลอดช่องสิงคโปร์สูงขึ้นในสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 แสดงให้เห็นว่าแกรนูลแบ่งมีโครงสร้างถูกทำลายจากกระบวนการเกิดเจลลิตในเซชันที่กล่าวมาข้างต้น จึงส่งผลให้เส้นมีความเหนียวหนึบลดลงและขาดง่ายขึ้น ซึ่งการศึกษาของ Castanha et al.³⁰ รายงานว่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) แบ่งมันสำปะหลัง แบ่งข้าวโพด และแบ่งมันฝรั่ง

แสดงแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแบ่งต่อน้ำเพิ่มสูงขึ้นจากความเข้มข้นของแบ่งที่ร้อยละ 3.6-14.3 โดยทั่วไปความแข็งแรงของเจลแบ่งขึ้นอยู่กับการสร้างที่ซับซ้อนระหว่างโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่หลุดออกมาจากแกรนูลแบ่งในระหว่างการเกิดเจลลิตในเซชัน³¹ โดยที่แบ่งมันสำปะหลังมีเจลที่เรียบและยืดหยุ่น โดยมีความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าแบ่งมันฝรั่งและแบ่งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่า อย่างไรก็ตามอาจมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความยาวของสายโซ่อะมิโลเพกตินที่สูงของแบ่งมันสำปะหลังสามารถลดการเชื่อมโยงโมเลกุลอะมิโลสระหว่างการทำให้เจลของแบ่งเย็นลงได้³⁰

Table 4. Textural properties of various Lod Chong Singapore recipes containing different cooked flour to raw flour ratios for dough

Textural properties	Recipe No. 1	Recipe No. 2	Recipe No. 3
Tensile strength (ค่าแรงสูงสุด, g)	17.71±1.87 ^a	16.85±1.69 ^{ab}	16.57±1.55 ^b
Elasticity (ค่าความยืดหยุ่น, mm)	62.11±9.93 ^a	57.83±7.86 ^{ab}	55.44±7.54 ^b

Note: Values are prepared as mean±S.D. Values with different superscripts in the same row are significant differences (P<0.05).

การคืนตัวของแบ่งส่งผลอย่างมากต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสและอายุการเก็บรักษาของอาหารที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบ เช่น ความกระด้างของขนมปัง และความแข็งของข้าวสุก เป็นต้น สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด เช่น เส้นหมี่และขนมขบเคี้ยวที่มีการใช้แบ่งที่ยังไม่สุกบางส่วนในส่วนผสมซึ่งมักส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส แต่อย่างไรก็ตามการคืนตัวของแบ่งส่งผลต่อ

ผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากในผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ไม่มีโปรตีนกลูเตน ดังนั้นการคืนตัวที่เกิดจากการเปลี่ยนของโครงสร้างอะมิโลสจึงเป็นตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์³² เมื่อแกรนูลแบ่งถูกเจลลิตในระหว่างการให้ความร้อน โครงสร้างของเม็ดแบ่งจะถูกรบกวนและเปลี่ยนเป็นโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous structure) ซึ่งไวต่อการย่อยด้วยเอนไซม์และ

ความร้อน³³ ซึ่งเส้นลวดของสังคโปรที่ผลิตด้วยแป้งมันสำปะหลังที่ไม่มีโปรตีนกลูเตนเช่นเดียวกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นอะไมโลสที่หลุดออกจากการนึ่งแป้งเมื่อเกิดเจลาติไนเซชันและเกิดการคืนตัวของแป้งที่เพิ่มขึ้นได้เมื่อเส้นสุกและเย็นตัวลง ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดหยุ่นลดลงเมื่อมีปริมาณแป้งสูงในสูตรการผลิตที่มากขึ้น ซึ่ง Chatakanonda et al.³⁴ ได้รายงานว่แป้งมันสำปะหลังเกิดเจลาติไนเซชันที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น และแป้งมีแนวโน้มการเกิดการคืนตัวค่อนข้างต่ำ โดยพบว่าแป้งมันสำปะหลังเกิดการคืนตัวได้สูงสุดเมื่อทำการเก็บแป้งเปียกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บเจลแป้งเปียกที่อุณหภูมิ -18 และ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองที่อาจแตกต่างจากคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ศึกษาโดย Satmalee et al.³⁵ ซึ่งได้รายงานว่ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวเพิ่มขึ้นนั้นส่วนใหญ่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการบ่ม (Ageing step) เนื่องจากการคืนตัวของแป้งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Yu et al.³⁶ ที่รายงานการเพิ่มการคืนตัวของแป้งมีความสอดคล้องเชิงบวกกับเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งสูงในเส้นก๋วยเตี๋ยวเช่นกัน อย่างไรก็ตามก็ตามข้อขัดแย้งนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าชนิดของแป้ง กระบวนการผลิต และสภาวะในการเก็บรักษาสามารถทำให้เกิดเจลาติไนเซชันและการคืนตัวของแป้งมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นการศึกษาระดับการเกิดเจลาติไนเซชันและ

การคืนตัวของแป้งระหว่างกระบวนการให้ความร้อนและการทำให้เย็นตัวลงจึงเป็นสิ่งสำคัญ

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลวดของสังคโปร โดยศึกษาผลของสัดส่วนของแป้งสุกและแป้งมันสำปะหลังดิบในแป้งโดที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสลักษณะเนื้อสัมผัส ความคงตัวของสีเขียวจากใบเตยในผลิตภัณฑ์ลวดของสังคโปรใบเตย โดยเส้นลวดของสังคโปรสูตรที่ 1 ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งสุกที่กวนด้วยน้ำใบเตยสกัดด้วยน้ำปูนใสอิมมัลชันร้อยละ 30 และแป้งมันสำปะหลังดิบร้อยละ 70 ในการเตรียมแป้งโดมีคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบชิมสูงสุดในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวม นอกจากนี้เส้นลวดของสังคโปรสูตรที่ 1 มีความคงตัวของสีเขียวจากใบเตยสูงที่สุด อีกทั้งยังมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความทนต่อแรงดึง และความยืดหยุ่นสูงกว่าเส้นลวดของสังคโปรสูตรอื่นอีกด้วย ซึ่งคุณภาพของเส้นลวดของสังคโปรที่กล่าวมาอาจสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำปูนใสซึ่งควรเป็นปัจจัยที่ต้องทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. อัมพร แซ่เอียว. ผลิตภัณฑ์เส้นลวดช่องสิงคโปร์ ผสมชาเขียว [อินเทอร์เน็ต]. 2556. [เข้าถึงเมื่อ 15 ก.พ. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://ip.kku.ac.th/catagories/image/Food/Detail/11.%20ลวดช่องสิงคโปร์.pdf>.
2. Gunawan MI, Barringer SA. Green color degradation of blanched broccoli (*Brassica Oleracea*) due to acid and microbial growth. *J Food Process Preserv* 2000;24:253-63.
3. Koca N, Karadeniz F, Burdurlu HS. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chem* 2007;100:609-15.
4. Minguez-Mosquera MI, Garrido-Fernandez J, Gandul-Rojas B. Pigment changes in olives during fermentation and brine storage. *J Agric Food Chem* 1989;37:8-11.
5. เอกพล อ่อนน้อมพันธุ์, ปวีตรา ภาสุรกุล. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเปียกปูนใบเตยเสริมน้ำใบย่านาง. *SDU Res J* 2559;10:159-70.
6. รอมลี เจะดอเลาะ, ชูไฮมิน เจ๊ะมะลี, ตอयीบะห์ รอยิง. การพัฒนาและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ลวดช่องพื้นเมืองในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย* 2561;3:120-8.
7. Sharma S, Singh N, Katyal M. Effect of gelatinized-retrograded and extruded starches on characteristics of cookies, muffins and noodles. *J Food Sci Technol* 2016;53:2482-94.
8. Naito S, Fukami S, Mizokami Y, Hirose R, Kawashima K, Takano H, Ishida N, Koizumi M, Kano H. The effect of gelatinized starch on baking bread. *Food Sci Technol Res* 2005;11:194-201.
9. Porrarud S, Pranee A. Microencapsulation of Zn-chlorophyll pigment from Pandan leaf by spray drying and its characteristic. *Int Food Res J* 2010;17:1031-42.
10. Wakte KV, Thengane RJ, Jawali N, Nadaf AB. Optimization of HS-SPME conditions for quantification of 2-acetyl-1-pyrroline and study of other volatiles in *Pandanus amaryllifolius* Roxb. *Food Chem* 2010;121:595-600.
11. Suryani CLS, Wahyuningsih TD, Supriyadi, Santoso U. The potential of mature pandan leaves as a source of chlorophyll for natural food colorants. *J Teknol dan Industri Pangan* 2020;31:127-37.
12. Ngamwonglumlert L, Devahastin S, Chiewchan N. Natural colorants: Pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2015;57:3243-59.
13. Pineda-Gomez P, Coral DF, Ramos-Rivera D, Rosales-Rivera A, Rodriguze-Garcia M.

- Thermo-alkaline treatment. A process that changes the thermal properties of corn starch. *Procedia Food Sci* 2011;1:370-8.
14. Han L, Lu Z, Hao X, Cheng, Y, Li L. Impact of calcium hydroxide on the textural properties of buckwheat noodles. *J Texture Stud* 2012;43:227-34.
 15. Bryant CM, Hamaker BR. Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chem* 1997;74:171-5.
 16. วรธนมณพน์ ชาญจารุจิตร, สิริ ชัยเสรี. ผลของสภาวะต่างต่อความสามารถในการกักเก็บลินาโลอลในเมทริกซ์สตาร์ชที่ผ่านการทำแห้ง. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม 2561;13:36-48.
 17. ไพโรจน์ วิริยจारी. การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. Chang Mai University Press; 2561.
 18. Shan S, Zhu K-X, Peng W, Zhuu HM. Physicochemical properties and salted noodle-making quality of purple sweet potato flour and wheat flour blends. *J Food Process Preserv* 2012;37:709-16.
 19. Hosney RC. Chemical changes in carbohydrates produced by thermal processing. *J Chem Educ* 1984;61:308-12.
 20. Francis FJ. 1985. Pigments and other colorants. In *Food chemistry*, 2nd ed. Fennema OR. ed. New York. Marcel Dekker, Inc; 1985.
 21. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม. ผลของอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และเกลือสังกะสีคลอไรด์ต่อความคงตัวของสีเขียวของสารสกัดใบเตย. *อาหาร* 2546;33:277-82.
 22. Lien DTP. Kinetic of chlorophyll degradation and color change in bitter gourd during heat treatment. *Int J Eng Sci Res Technol* 2016;5:616-22.
 23. Erge HS, Karadeniz F, Koca N, Soyer Y. Effect of heat treatment on chlorophyll degradation and color loss in green peas. *Gida* 2008;33:225-33.
 24. Cansee S, Watyotha C, Thivavarnvongs T, Uriyapongson J, Varith J. Effects of temperature and concentration on thermal properties of cassava starch solutions. *Warasan Songkhla Nakharin* 2008;30:405-11.
 25. Wang N, Warkentin TD, Vandenberg B, Bing DJ. Physicochemical properties of starches from various pea and lentil varieties, and characteristics of their noodles prepared by high temperature extrusion. *Food Res Int* 2014;55:119-27.
 26. Smewing J. Analyzing the texture of pasta for quality control. *Cereal Foods World* 1997;42:8-12.
 27. Jane J. ¹³C-NMR study of interactions between amylopectin and neutral salts. *Starch-Starke* 1993;45:172-5.

28. Pedcharat K, Jangchud K, Prinyawiwatkul W. Physicochemical properties of rice flour as affected by alkaline soaking and washing treatments. *Int J Food Sci Technol* 2021;56:2539-47.
29. Xie F, Liu H, Chen P, Xue T, Chen L, Yu L, Corrigan P. Starch gelatinization under shearless and shear conditions. *Int J Food Eng* 2006;2:6-1-6-31.
30. Castanha N, Rojas ML, Augusto PDE. An insight into the pasting properties and gel strength of starches from different sources: effect of starch concentration. *Sci Agropecu* 2021;12:203-12.
31. Ai Y, Jane J-I. Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch – Stärke* 2015;67:213-24.
32. Denchai N, Suwannaporn P, Lin J, Soontaranon S, Kiatpongarp W, Huang T-C. Retrogradation and digestibility of rice starch gels: The joint effect of degree of gelatinization and storage. *J Food Sci* 2019;0:1-11.
33. Zhou X, Baik B, Wang R, Lim ST. Retrogradation of waxy and normal corn starch gels by temperature cycling. *J Cereal Sci* 2010;51:57-65.
34. Chatakanonda P, Wongprayoon S, Sriroth K. Gelatinization and retrogradation of cassava starch in the presence of NaCl and sucrose. *Starch Update: The 3rd Conference on Starch Technology*. 2005 Nov 4-5; National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC). Bangkok, Thailand. 2005;275-9.
35. Satmalee P, Charoenrein S. Acceleration of ageing in rice stick noodles sheets using low temperature. *Int J Food Sci Technol* 2009;44:1367-72.
36. Sangpring Y, Fukuoka M, Ratanasumawong S. The effect of sodium chloride on microstructure, water migration, and texture of rice noodle. *LWT-Food Sci Technol* 2015;64:1107-13.