

การใช้คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสในการปรับปรุงคุณภาพขนมปัง ที่ใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

Use of Carboxymethyl Cellulose to improve quality of bread made from Palmyra Palm Fruit Pulp instead of wheat flour

วรลักษณ์ ปัญญาธิพิงค์¹ และจุฑามาศ พิรพัชระ^{2,*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²สาขาวิชาอุตสาหกรรมบริการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

การเพิ่มมูลค่าเนื้อตาลสุกของชุมชนจังหวัดเพชรบุรีโดยใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังทำให้ขนมปังมีสีเหลืองอมส้มและมีกลิ่นรสที่เป็นลักษณะเด่นเฉพาะของเนื้อตาลสุก แต่มีผลทำให้คุณภาพทางกายภาพของขนมปังลดลงจึงศึกษาการเติมคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC) ในขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี 4 ระดับคือ 0 2.0 2.5 และ 3.0% ของน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าการเติม CMC ในส่วนผสมของการผลิตขนมปังมีผลทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะและมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น แต่มีความหนาแน่นลดลง การเพิ่มขึ้นของปริมาตรจำเพาะของขนมปัง ส่งผลให้ค่าความแข็งและค่าความเคี้ยวได้ของขนมปังลดลงเมื่อระดับของ CMC เพิ่มขึ้น โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับโดยรวมของขนมปังที่ใช้เนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลีที่มีการเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ ไม่ต่างจากสูตรพื้นฐานขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลีแต่การเติม CMC ทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง มีปริมาณความชื้นและมีใยอาหารสูงขึ้น และสามารถเก็บรักษาขนมปังในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนปิดผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 5 วัน

คำสำคัญ: เนื้อตาลสุก, เบเกอรี่, ขนมปังไฮโดรคอลลอยด์, คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส

Abstract

Adding value to Palmyra Palm Fruit Pulp for Phetchaburi communities by using Palmyra Palm Fruit Pulp instead of wheat flour in bread-making produced bread with yellowish orange color and unique odor of Palmyra Palm. Due to this, physical qualities of the bread were reduced. Therefore, a study was conducted on adding Carboxymethyl Cellulose (CMC) into the bread that used 35% of Palmyra Palm Fruit Pulp instead of wheat flour for 0, 2.0, 2.5 and 3.0% of wheat flour weight. It was found that addition of CMC increased the bread specific volume and moisture content, but decreased its density. The increase of specific volume resulted in lower levels of hardness and chewiness when the level of CMC became higher. Tasters' overall acceptance scores of bread that used 35% of Palmyra Palm Fruit Pulp of wheat flour weight with different levels of CMC addition were not significantly different from scores given to traditional formula bread. The bread that used 35% of Palmyra Palm Fruit Pulp of wheat flour weight with CMC addition had lower level of protein but higher level of moisture and fiber. The bread could be kept in tightly-closed plastic bag at least 5 days at room temperature.

Keywords: Palmyra Palm, bakery, bread hydrocolloid, Carboxymethyl Cellulose

Article history: Received 23 March 2016, Accepted 15 July 2016

*Corresponding author; e-mail: chutamas.p@rmutp.ac.th

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้ร่วมมือกับองค์การบริหารส่วนตำบลหนองหญ้าปล้อง และทำบันทึกข้อตกลงความร่วมมือกับเทศบาลเมืองชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ในการสนับสนุนข้อมูลทางวิชาการแก่ชุมชนเพื่อให้ชุมชนสามารถใช้ทรัพยากรและภูมิปัญญาท้องถิ่นในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ การดำเนินงานตามข้อตกลงดังกล่าวหนึ่งในหลายโครงการคือ การใช้ประโยชน์ของเนื้อตาลสุกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีอยู่มากของชุมชนในพื้นที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังของกลุ่มแม่บ้านเยาวชนบ้านห้วยสาธิตา และกลุ่มแม่บ้านห้วยทรายใต้ เพื่อพัฒนาอาชีพการทำขนมปัง ทั้งนี้สามารถใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลีได้สูงสุดที่ระดับ 35% ของแป้งสาลี แต่มีผลทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะต่ำ ขนมปังมีขนาดเล็ก มีเซลล์อากาศเล็ก มีค่าความแข็งและค่าความเคี้ยวได้เพิ่มขึ้น [1]

Ragae *et al.* [2] Hathom *et al.* [3] และ Hung *et al.* [4] รายงานว่าการใช้ส่วนผสมอื่นทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังทำให้สัดส่วนของโปรตีนจากแป้งสาลีลดลงส่งผลต่อการเกิดกลูเตน ความแข็งแรง และความยืดหยุ่นของโดลดลงทำให้โดมีความสามารถในการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้จนโครงสร้างได้น้อยลง การใช้ไฮโดรคอลลอยด์สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังที่ใช้ส่วนผสมอื่นทดแทนแป้งสาลีให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐานได้เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์ทำให้เกิดโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงช่วยกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักและการอบได้มากขึ้น เป็นผลให้ความหนาแน่นของขนมปังลดลง [5] Ho *et al.* [6] ทำการศึกษาการใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลีร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในการผลิตขนมปังพบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีผลทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงขึ้นและความหนาแน่นลดลง Buresova *et al.* [7] รายงานว่าการเติม CMC ในการผลิตขนมปังที่มีการเติมแป้งข้าวและ buckwheat ทดแทนแป้งสาลีมีผลทำให้เซลล์อากาศในขนมปังเป็นเซลล์เปิดขนาดใหญ่ขึ้นจึงมีปริมาตรจำเพาะสูงขึ้นจากคุณสมบัติของ CMC ในการช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยส่วนผสมอื่นให้มีคุณภาพเพิ่มขึ้น แต่การเติม CMC ในปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้ส่วนผสมมีความหนืดสูงขึ้น ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ [8]

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาหาปริมาณของ CMC ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วย

เนื้อตาลสุกของชุมชนจังหวัดเพชรบุรีให้มีคุณภาพเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการผลิตขนมปังประเภทอื่น ๆ เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับตาลสุก และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรท้องถิ่นเพื่อสร้างอาชีพต่อไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมเนื้อตาลสุก

นำลูกตาลสุกพันธุ์หม้อ (*Borassus flabellifer* L.) จากจังหวัดเพชรบุรีมาล้างด้วยน้ำสะอาดและปอกเปลือกเติมน้ำในอัตราส่วน 1:1 และนำลูกตาลไปชูดกับตะแกรงสแตนเลสขนาดตาห่าง 2.5×2.5 cm² เพื่อแยกเนื้อตาลสุกออกจากเส้นใยตาล จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกเส้นใยและสิ่งแปลกปลอมออกจากเนื้อตาลสุก นำเนื้อตาลสุกที่ได้บรรจุในถุงผ้าอย่างหนา กดบีบแยกน้ำออกจากเนื้อตาลสุกด้วยเครื่องคั้นน้ำระบบไฮดรอลิก (Thai Sakaya-12) ได้เนื้อตาลสุกที่มีความชื้น $90.07 \pm 0.65\%$ บรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (PE) และเก็บรักษาเนื้อตาลไว้ที่อุณหภูมิ -18°C เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตลอดการทดลอง

3.2 การเตรียมขนมปัง

ขนมปังที่ใช้ในการศึกษาคือ ขนมปังประเภทไขมันปานกลางชนิดขนมปังกะโหลก ทำการผลิตขนมปังสูตรพื้นฐาน [9] และสูตรใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลี 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี [1] โดยศึกษาปริมาณการเติม CMC 4 ระดับ คือ 0 2.0 2.5 และ 3.0% ของน้ำหนักแป้งสาลีในสูตรที่ใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลี 35% เนื่องจากน้ำในเนื้อตาลสุกมีปริมาณสูงถึง 90% ดังนั้นปริมาณน้ำในส่วนผสมจะลดลงโดยคำนวณจากอัตราส่วนของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อตาล (ตารางที่ 1) ผสมแป้งสาลีกับเนื้อตาลสุกและส่วนผสมอื่น ในเครื่องนวดผสม (Kitchen Aid-KSM 900) นวดส่วนผสมโดยใช้หัวตีแบบตะขอ (dough hook) เป็นเวลา 15 นาที จนได้ก้อนโดที่เรียบเนียน ยืดหยุ่น แผ่เป็นแผ่นบางได้โดยไม่ขาดง่าย นำโดออกจากเครื่อง พัก 10 นาที แบ่งโดก้อนละ 105 กรัม คลึงกลมพักไว้ 10 นาที จากนั้นคลึงโดให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วม้วนเป็นท่อนกลม กดด้านริมก้อนโดให้ตะเข็บปิดสนิทวางในพิมพ์อะลูมิเนียมขนาด $10 \times 5 \times 5$ cm³ บ่มให้ขึ้นฟูที่อุณหภูมิ 35°C ความชื้นสัมพัทธ์ 75% เป็นเวลา 50 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 180°C นาน 12 นาที พักให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมงและเก็บใส่ถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรพื้นฐานของขนมปังและส่วนผสมในการผลิตขนมปังที่ใช้เนื้อตาลสุก 35% ทดแทนแป้งสาลี

ส่วนผสม (g)	สูตรพื้นฐาน ¹	เนื้อตาลสุก 35% ²
แป้งสาลี	250.00	162.50
เนื้อตาลสุก	0.00	87.50
น้ำ	125.00	46.50*
เนยจืด	25.00	25.00
หางนมผง	20.00	20.00
น้ำตาล	15.00	15.00
สารเสริมคุณภาพ	3.75	3.75
ยีสต์	2.50	2.50
เกลือ	2.50	2.50

ที่มา: ¹ จูซา ฟิรพัชระ [9] และ ² จูชามาต ฟิรพัชระ และวรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ [1]

*ปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณจากอัตราส่วนของน้ำที่มีในเนื้อตาลสุก

3.3 การทดสอบคุณภาพ

3.3.1 การทดสอบคุณภาพด้านสี

นำเฉพาะส่วนของเนื้อขนมปังมาทำให้มีขนาดเล็ก โดยใช้โถปั่นของแห้ง แล้วนำไปวัดค่าสีขาว (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ด้วยเครื่องวัดสี Minolta spectrophotometer (CM-3500d, ญี่ปุ่น) [6]

3.3.2 การทดสอบปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของขนมปัง [3]

การหาปริมาตรของขนมปังทำโดยการทดแทนปริมาตรเมล็ดงา โดยทำการชั่งน้ำหนักขนมปังที่จะตรวจสอบปริมาตร นำขนมปังใส่ลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร และเติมเมล็ดงาให้เต็มภาชนะ จากนั้นวัดปริมาตรเมล็ดงาที่เติมลงไปทั้งหมดด้วยกระบอกตวงและคำนวณหาปริมาตรของขนมปังปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของขนมปัง ดังสมการที่ (1) - (3) ตามลำดับ

$$\text{ปริมาตรของขนมปัง (cm}^3\text{)} = \text{ปริมาตรของภาชนะ} - \text{ปริมาตรของเมล็ดงาที่เติมในภาชนะ} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง (cm}^3\text{/g)} \\ = \frac{\text{ปริมาตรของขนมปัง}}{\text{น้ำหนักของขนมปัง}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นของขนมปัง (g/cm}^3\text{)} \\ = \frac{\text{น้ำหนักของขนมปัง}}{\text{ปริมาตรของขนมปัง}} \end{aligned} \quad (3)$$

3.3.3 การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) (ดัดแปลงจาก [10])

ทำการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-XT2i, Stable Micro Systems, อังกฤษ) ตัดขนมปังให้มีขนาด 25x25x25 mm³ โดยวัดจากกึ่งกลางของขนมปัง ทำการกด 2 ครั้ง ด้วยหัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm. กำหนดสถานะในการทำงานของเครื่อง Texture Analyzer ได้แก่ pre-test speed 1.00 mm./sec., test speed 1.00 mm./sec., post-test speed 1.00 mm./sec., distance 40% ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังด้านค่าความแข็ง (hardness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) ทำการทดสอบจำนวน 20 ซ้ำ

3.3.4 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยตัดขอบขนมปังด้านละ 0.5 cm. หั่นตัวอย่างขนาด 4x5x1 cm³ (กว้างxยาวxสูง) ทดสอบด้านลักษณะปรากฏของโพรงอากาศ สี กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-points hedonic scale) คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 60 คน โดยเปิดไฟสีเหลืองในระหว่างการทดสอบคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม และเปิดไฟสีขาวในระหว่างการทดสอบคุณภาพด้านสีซึ่งทดสอบเป็นด้านสุดท้าย

3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขนมปัง ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน ตามวิธีของ AOAC. [11] สำหรับคาร์โบไฮเดรตใช้การคำนวณ ดังสมการที่ (4)

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100 - (\text{ความชื้น (\%)} + \text{โปรตีน (\%)} + \text{ไขมัน (\%)} + \text{ใยอาหาร (\%)} + \text{เถ้า (\%)}) \quad (4)$$

3.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

เก็บรักษาขนมปังในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ปิดสนิทด้วยเครื่องปิดผนึกแบบร้อน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (30±2°C) เป็นเวลา 7 วัน ตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) และปริมาณยีสต์ รา โดยทำการสุ่มตัวอย่างทุกวัน

3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely

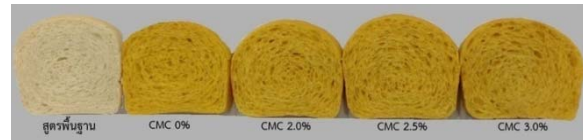
randomize design, CRD) และการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomize complete block design, RCBD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลของ CMC ต่อสมบัติด้านกายภาพและความชื้นของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35%

ขนมปังที่ใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี และเติม CMC 4 ระดับ ได้แก่ 0 2.0 2.5 และ 3.0 % ของน้ำหนักแป้งสาลี ลักษณะปรากฏ (รูปภาพที่ 1) สมบัติทางกายภาพ และความชื้น (ตารางที่ 2) พบว่าเมื่อเติม CMC ในปริมาณมากขึ้น ขนมปังจะมีปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้น และความหนาแน่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุกมีผลทำให้ขนมปังมีค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลงเนื่องจากปริมาณแป้งสาลีในส่วนผสมลดลงส่งผลต่อการเกิดกลูเตน ความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของโดลดลง [1] เมื่อความแข็งแรงของโดลดลง ทำให้ความสามารถในการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักลดลง [12, 13, 14] การเติม CMC ช่วยให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงขึ้นจากการทดลองพบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังมีค่าสูงที่สุดที่ระดับ CMC เท่ากับ 3.0% โดย CMC มีโครงสร้างเป็น hydrophilic ซึ่งทำให้โดอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากขึ้น และเกิดโครงสร้างของเจลที่แข็งแรงสามารถช่วยกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักและการอบได้มากขึ้น เป็นผลให้ความหนาแน่นของขนมปังลดลง [5] สอดคล้องกับการทดลองของ Ho *et al.* [6] ซึ่งศึกษาการใช้แป้งกล้วยทดแทนแป้งสาลีร่วมกับการเติม CMC ในการผลิตขนมปัง และพบว่า การเติม CMC มีผลทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงขึ้นและความหนาแน่นลดลง Buresova *et al.* [7] รายงานว่าการเติม CMC ในการผลิตขนมปังมีผลทำให้เซลล์อากาศในขนมปังเป็นเซลล์เปิดขนาดใหญ่ขึ้นเป็นผลให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mohammadi *et al.* [15] โดยการทดลองนี้ไม่สามารถเติม CMC ในระดับที่มากกว่า 3.0% ของน้ำหนักแป้งสาลีได้ เนื่องจากโดของขนมปังที่ได้จากการนวดมีความเหนียวมากเกินไปและไม่สามารถขึ้นรูปได้ สอดคล้องกับการทดลองของยุพร พิษกมุท และวิญญู ผิวนิม [8] นอกจากนี้การเติม CMC มีผลทำให้ความชื้นของขนมปังสูงขึ้นเนื่องจาก CMC สามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่แข็งแรงสามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างโดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำและหมู่ไฮดรอกซิลของ CMC

[16] ทำให้ลดการสูญเสียไอน้ำในระหว่างการอบขนมปังได้ดี [6] สอดคล้องกับการทดลองของ Rosell *et al.* [16] Nicolae *et al.* [17] และ Guarda *et al.* [18] แต่การที่ขนมปังมีความชื้นสูงขึ้นจากการเติม CMC มากขึ้น จะทำให้ลักษณะเนื้อขนมปังต่างจากขนมปังสูตรพื้นฐานปกติที่ไม่มีการเติมเนื้อลูกตาลสุก



รูปภาพที่ 1 ขนมปังสูตรพื้นฐาน และขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี และมีการเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 2 สมบัติด้านกายภาพและความชื้นของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี และการเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ

ระดับ CMC (%)	ปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ความชื้น (%)
สูตรพื้นฐาน	$4.40^a \pm 0.13$	$0.23^b \pm 0.01$	$28.06^c \pm 0.49$
0	$3.28^c \pm 0.05$	$0.31^a \pm 0.01$	$32.01^b \pm 0.77$
2.0	$3.23^c \pm 0.16$	$0.30^a \pm 0.02$	$32.12^b \pm 0.07$
2.5	$3.41^c \pm 0.07$	$0.29^a \pm 0.01$	$33.19^a \pm 0.32$
3.0	$3.68^b \pm 0.07$	$0.27^{ab} \pm 0.01$	$33.24^a \pm 0.27$

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2 ผลของ CMC ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35%

การทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุกในขนมปัง 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี และการเติม CMC 4 ระดับ ได้แก่ 0 2.0 2.5 และ 3.0% ของน้ำหนักแป้งสาลี ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การเติม CMC ในปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็ง ค่าความเคี้ยวได้ และค่าความยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อาจเป็นเพราะ CMC สามารถช่วยลดความแข็งของขนมปัง ช่วยเก็บรักษาความชื้นของขนมปัง [16, 18, 19, 20] จึงทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มและง่ายต่อการเคี้ยวมากขึ้น นอกจากนี้ CMC ยังอาจทำให้ขนมปังมีเซลล์อากาศเปิดขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความแข็ง ค่าความเคี้ยวได้ และความยืดหยุ่นของขนมปังลดลง [7]

4.3 ผลของ CMC ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35%

การทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี และการเติม CMC 4 ระดับ ได้แก่ 0 2.0 2.5 และ 3.0 % ของน้ำหนักแป้งสาลีมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสแตกต่างจากสูตรพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านลักษณะปรากฏ สี และลักษณะเนื้อสัมผัสซึ่งพบว่า การเติม CMC ในขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุกที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส แต่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพของขนมปังให้เพิ่มขึ้น เช่น มีปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้น มีความหนาแน่นลดลง (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็งและค่าความเคี้ยวได้ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของขนมปังมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วย (ตารางที่ 3) ซึ่งอาจเป็นผลให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนน

ความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4.4 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังเนื้อตาลสุก

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี และเติม CMC 3.0% ของน้ำหนักแป้งสาลี มีปริมาณความชื้นสูงกว่าขนมปังสูตรพื้นฐานและขนมปังสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% และเติม CMC 0% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจาก CMC ช่วยให้เกิดโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่แข็งแรงสามารถอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างโดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำและหมู่ไฮดรอกซิลของ CMC [16] ทำให้ลดการสูญเสียน้ำในระหว่างการอบขนมปังได้ดี [6] การทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุกมีผลทำให้ขนมปังที่ได้มีใยอาหารสูงขึ้น [1] แต่มีปริมาณโปรตีนลดลง ซึ่งเกิดจากการทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก

ตารางที่ 3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี และการเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ

ระดับ CMC (%)	Hardness (g)	Chewiness (g)	Springiness
สูตรพื้นฐาน	66.46 ^f ±3.46	37.79 ^f ±2.87	0.84 ^a ±0.03
0	110.64 ^d ±5.63	54.31 ^d ±3.36	0.77 ^b ±0.03
2.0	193.41 ^a ±16.92	90.71 ^a ±9.36	0.79 ^{bc} ±0.04
2.5	171.61 ^b ±12.14	74.67 ^b ±4.73	0.74 ^{cd} ±0.03
3.0	143.58 ^c ±6.41	60.64 ^c ±3.34	0.72 ^d ±0.02

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี และเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ

CMC (%)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
สูตรพื้นฐาน	7.63 ^a ±0.75	7.28 ^a ±1.25	7.25 ^a ±1.05	7.28 ^a ±1.11	7.47 ^a ±0.84	7.50 ^a ±0.88
0	7.01 ^b ±0.63	6.56 ^b ±1.46	6.82 ^a ±1.11	6.97 ^a ±0.87	6.78 ^b ±1.02	6.96 ^a ±1.11
2.0	6.66 ^b ±1.18	6.81 ^b ±0.97	6.90 ^a ±1.00	6.78 ^a ±1.16	6.81 ^b ±1.15	7.00 ^a ±0.88
2.5	6.50 ^b ±1.14	6.75 ^b ±0.95	7.06 ^a ±0.95	7.09 ^a ±1.00	6.97 ^b ±0.93	7.06 ^a ±0.91
3.0	6.34 ^b ±1.00	6.81 ^b ±0.93	6.91 ^a ±1.20	7.16 ^a ±0.95	6.97 ^b ±1.03	7.09 ^a ±0.86

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังสูตรพื้นฐานและขนมปังสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ขนมปังสูตรพื้นฐาน	ขนมปังสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% และเติม CMC 0%	ขนมปังสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% และเติม CMC 3.0%
คาร์โบไฮเดรต	55.02 ^a ±0.54	53.83 ^b ±0.47	52.54 ^b ±0.93
ความชื้น	28.06 ^c ±0.49	32.01 ^b ±0.77	33.24 ^a ±0.27
โปรตีน	11.31 ^a ±0.19	7.28 ^b ±0.11	7.55 ^b ±0.19
ไขมัน	3.42 ^a ±0.06	3.94 ^a ±0.04	3.73 ^a ±0.24
ใยอาหาร	0.67 ^b ±0.03	1.30 ^a ±0.12	1.31 ^a ±0.13
เถ้า	1.52 ^b ±0.11	1.60 ^a ±0.13±	1.63 ^a ±0.02

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวนอนที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 6 ปริมาณจุลินทรีย์และค่าสีของขนมปังเนื้อตาลสุกที่ขนมปังสูตรทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% และเติม CMC 3.0%

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/g)		ค่าสี		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC)	ยีสต์และรา	L	a*	b*
0	5.1×10^1	>10 (โดยประมาณ)	4.08±67.70 ^c	11.34±0.40 ^a	47.78±0.39 ^a
1	9.0×10^1	>10 (โดยประมาณ)	0.11±70.43 ^b	11.00±0.28 ^b	46.92±0.52 ^b
2	1.4×10^2	5.0 (โดยประมาณ)	0.18±71.20 ^{ab}	10.27±0.23 ^c	46.67±1.00 ^c
3	1.9×10^2	1.4×10^1 (โดยประมาณ)	0.16±71.30 ^{ab}	0.18±10.20 ^c	46.18±0.35 ^c
4	2.5×10^2	2.6×10^1 (โดยประมาณ)	0.05±71.07 ^b	0.08±8.24 ^d	43.67±0.15 ^d
5	2.8×10^3	4.2×10^1	0.23±71.66 ^{ab}	7.70±0.03 ^e	43.59±0.06 ^d
6	2.8×10^4	7.8×10^1	0.34±73.18 ^a	0.09±6.96 ^f	42.71±0.22 ^e
7	2.9×10^4	1.0×10^2	0.03±73.20 ^a	6.87±0.31 ^f	41.12±0.24 ^f

หมายเหตุ: ตัวอักษรแนวตั้งที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาขนมปังเนื้อตาลสุก

เมื่อสังเกตลักษณะของขนมปังที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน ด้วยตาเปล่า พบว่าผิวหน้าของขนมปังมีความเลื่อมมัน สีของเนื้อขนมปังมีสีอ่อนลง โดยเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นขนมปังมีความสว่าง (L) เพิ่มขึ้นและมีค่าสีเหลือง (b*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของบีตาแคโรทีนในเนื้อตาลที่ได้รับความร้อนระหว่างการอบขนมปังและมีระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยบีตาแคโรทีนจะเปลี่ยนอยู่ในรูปซิส (cis-trans isomerization) มากขึ้นมีผลทำให้อาหารมีสีซีดลง [21] และไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ผิวหน้าของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา แต่เมื่อทำการตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ พบว่าเมื่อเก็บรักษาขนมปังไว้ 6 วันมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมปัง (มผช. 747/2555) [22] ที่กำหนดให้จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์และราน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อ

ตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งเป็นคุณภาพที่ผิดปกติจากมาตรฐานดังกล่าว จึงสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังได้อย่างน้อย 5 วัน นับจากวันที่ผลิต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะและวิธีการที่ดีในการผลิต

5. สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มมูลค่าเนื้อตาลสุกของชุมชนจังหวัดเพชรบุรี โดยใช้เนื้อตาลสุกเป็นส่วนผสมในการผลิตขนมปังทำให้ขนมปังมีสีเหลืองอมส้มและมีกลิ่นรสที่เป็นลักษณะเด่นเฉพาะของเนื้อตาลสุก การเติม CMC ในขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลี สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพของขนมปังได้ โดยการเติม CMC ในระดับสูงขึ้นไปผลทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นสูงขึ้น แต่มีความหนาแน่นลดลง ซึ่งส่งผลให้คุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังดีขึ้นโดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับโดยรวมของขนมปังที่ใช้เนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลีที่มีการเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ ไม่ต่างจากสูตรพื้นฐานของขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลี

ด้วยเนื้อตาลสุก 35% ของน้ำหนักแป้งสาลีแต่การเติม CMC ทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง ปริมาณความชื้นและใยอาหารสูงขึ้น และสามารถเก็บรักษาในถุงพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน ปิดผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 5 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณบริษัทจิมสกู๊ป จำกัด ที่ให้การสนับสนุน CMC ในการทดลอง ขอขอบคุณเทศบาลเมืองชะอำ องค์การบริหารส่วนตำบลหนองหญ้าปล้อง ที่อนุเคราะห์การทำงานในพื้นที่ ขอขอบคุณประธานและสมาชิกของชุมชนในความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จุฑามาศ พีรพัชระ และวรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์. (2559). การใช้ประโยชน์จากเนื้อตาลสุกของชุมชนจังหวัดเพชรบุรีเพื่อผลิตขนมปัง. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, 10 (1), 168-178.
- [2] Ragaei, S., Fuzar, I., Dhull, N., & Seetharaman, K. (2011). Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. *LWT-Food Sci Technol.*, 44, 2147-2153.
- [3] Hathorn, C. S., Biswas, M. A., Gichuhi, P. N., & Bovell-Benjamin, A. C. (2008). Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high-gluten dough enhancers. *LWT.*, 41, 803-815.
- [4] Hung, P. V., Maeda, T., & Morita, N. (2007). Dough and bread qualities of flour with whole waxy wheat flour substitution. *Food Res. Int.*, 40, 273-279.
- [5] Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M. Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *J. Food Eng.*, 79, 1033-1047.
- [6] Ho, L., Aziz, N. A. A., & Azahri, B. (2013). Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with banana (*Musa acuminata* X *balbisiana* cv. Awak) pseudostem flour. *Food Chem.*, 139, 532-539.
- [7] Buresova, I., Masarikova, L., Krivna, L., Kulhanova, S., & Bures, D. (2016). The comparison of the effect of sodium caseinate, calcium caseinate, carboxymethyl cellulose and xanthan gum on rice buck wheat dough rheological characteristics and textural and sensory quality of bread. *LWT Food Sci. Technol.*, 68, 659-666.
- [8] ยุพร พิษกมฺุทร และวิญญู ฝิวนิม. (2554). การปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลี. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 21 (3), 607-616.
- [9] จุฑา พีรพัชระ. (2547). *ผลิตภัณฑ์ขนมอบจากแป้งกล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 2.* กรุงเทพฯ. โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮาส์. 152 หน้า.
- [10] Huttner, E. K., Bello, F. D., & Arendt, E. K. (2010). Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flours. *J. Cereal Sci.*, 52, 65-71.
- [11] AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC international*. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.
- [12] Morris, C. & Morris, G. A. (2012). The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: a review. *Food Chem.*, 133, 237-248.
- [13] Mohamed, A., Xu, J., & Singh, M. (2010). Yeast leavened banana-bread: Formulation, processing, colour and texture analysis. *Food Chem.*, 118, 620-626.
- [14] Mandala, I., Polaki, A., & Yanniotis, S. (2009). Influence of frozen storage on bread enriched with different ingredients. *J. Food Eng.*, 92, 137-145.
- [15] Mohammadi, M., Sadeghnia, N., Azizi, M. H., Neyestani, T. R., & Mortazavian A. M. (2014). Development of gluten-free bread using hydrocolloids. *J. Ind. Eng. Chem.*, 20, 1812-1818.
- [16] Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15, 75-81.

- [17] Nicolae, A., Radu, G. L., & Belc, N. (2016). Effect of sodium carboxymethyl cellulose on gluten-free dough rheology. **J. Food Eng.**, 168, 16-19.
- [18] Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C., & Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. **Food Hydrocolloids**, 18 (2), 241-247.
- [19] Barcenas, M. E. & Rosell, C. M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. **Food Hydrocolloids**, 19 (6), 1037-1043.
- [20] Sharadanant, R. & Khan, K. (2003). Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II. bread characteristics. **Cereal Chemistry**, 80 (6), 773-780.
- [21] Chandler, L. A. & Schwartz, S. J. (1988). Isomerization and losses of trans-b-carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments. **J. Agric. Food Chem.**, 36, 129-133.
- [22] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2555). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมปัง มผช.747/2555**. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.