

**ผลของแคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอซิติก และโพแทสเซียมซอร์เบต
ที่มีต่อคุณภาพของขนมปังขาว**

**Effects of Calcium Propionate, Acetic Acid, and Potassium Sorbate on
the Qualities of White Bread**

ศุภักษร มาแสวง^{1*}
Supuksorn Masavang^{1*}

Received 21 ธันวาคม 2565 Revised 21 กุมภาพันธ์ 2566 Accepted 28 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

ขนมปังขาวมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นและมักสูญเสียคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุของขนมปังการเติมสารกันเสียจึงถูกนำมาใช้ในการผลิต งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมสารเคมีเพื่อเพิ่มความเป็นกรด ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอซิติก และโพแทสเซียมซอร์เบต ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักวัตถุดิบรวม ที่มีต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของขนมปังขาว จากการทดลองพบว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีปริมาตรจำเพาะและค่าความยืดหยุ่นสูงกว่า ขนมปังที่เติมกรดแอซิติกและโพแทสเซียมซอร์เบต แต่ในทางกลับกันขนมปังที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบต ส่งผลให้ค่าความหนาแน่น ค่าความแข็ง ค่าความเคี้ยวได้ และค่าสี (L^* , a^* , b^*) สูงกว่าขนมปังที่เติมกรดแอซิติกและแคลเซียมโพรพิโอเนตตามลำดับ อีกทั้งการเพิ่มความเข้มข้นของสารเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของขนมปังขาวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ขนมปังขาว, แคลเซียมโพรพิโอเนต, กรดแอซิติก, โพแทสเซียมซอร์เบต

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.,คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹ Assistant Professor Dr., Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

* ผู้ประสานงานนิพนธ์ e-mail : supuksorn.m@rmutp.ac.th

Abstract

White bread tends to lose its quality during storage due to the growth of microorganisms. To avoid this spoilage and extending shelf life, the addition of different levels of acidulants (calcium propionate, acetic acid, and potassium sorbate at 0.1, 0.2 and 0.3%) were evaluated for their quality characteristics contributing with acidulants. From the experiment, it was found that bread with calcium propionate addition had the highest specific volume and springiness, followed by bread with acetic acid and potassium sorbate adding. On the other hand, bread was added with potassium sorbate had the highest density, hardness, chewiness, and color values (L^* , a^* , b^*), followed by acetic acid and calcium propionate addition respectively. The increasing in acidulants levels effects on bread's qualities have become steadily more pronounced.

Keywords: White bread, Calcium propionate, Acetic acid, Potassium sorbate

1. บทนำ

การเสื่อมเสียด้วยเชื้อราเป็นปัจจัยที่จำกัดอายุการเก็บของขนมปัง และส่งผลให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจได้ ผลิตภัณฑ์ขนมปังมีการเจริญของเชื้อราได้ง่าย เช่น *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* และ *Rhizopus* (Dal bello et al., 2007) สปอร์ของเชื้อรามีการกระจายในบรรยากาศซึ่งพบมากกว่า 1,000 สปอร์/ลูกบาศก์เมตร ในอากาศของสภาวะแวดล้อมที่ทำกรแปรรูปอาหาร ทำให้เกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสกับอากาศรวมถึงพื้นผิวของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูปอีกด้วย (Samson et al., 2004) ค่า Water activity และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของขนมปังมีส่วนช่วยให้เกิดการเจริญของเชื้อราบนขนมปังที่ถูกเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องได้ (Belz et al., 2012) การแช่เย็นเป็นอีกวิธีที่ช่วยชะลอการเจริญของเชื้อราแต่วิธีนี้ยังเร่งการคืนตัวของแป้ง (starch retrogradation) และการแข็งตัวของขนมปัง (bread stealing) ด้วย (Gray & Bemiller, 2003) นอกจากนี้ยังมีการใช้แสงยูวีเพื่อลดการปนเปื้อนของสปอร์แต่มักใช้เฉพาะกับสินค้าเชิงพาณิชย์เท่านั้นเนื่องจากต้นทุนที่สูง (Smith et al., 2004) ดังนั้นการใช้สารเคมีเพื่อยืดอายุการเก็บจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังด้วยวิธีอื่น เช่น แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate) และกรดซอร์บิก (sorbic acid) ก็นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเช่นกัน (Smith et al. 2004) โดยสามารถใช้ในขนมปังได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนัก) และ ร้อยละ 0.2 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ (EEC, 2008) ความคงตัวของขนมปังและอายุการเก็บค่อนข้างจำกัดเนื่องจากเกิดการแข็งของขนมปัง (stealing) เป็นสิ่งที่ซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมปังโดยทั่วไปที่เกิดมักเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย นอกเหนือจากการเจริญของเชื้อรา ซึ่งทำให้ขนมปังสูญเสียความสดและลดคุณภาพของขนมปัง เช่น ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพด้านประสาทสัมผัส และด้านเคมีฟิสิกส์ (physico-chemical properties) ในโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของเปลือกและ

เนื้อขนมปัง ซึ่งพบว่าขนมปังมีค่าการละลายของแป้งลดลง สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของการเกิดผลึก และการลดลงของความสามารถในการอุ้มน้ำในช่วงที่เก็บรักษา (Hoseny & Miller, 1998) การเปลี่ยนแปลงคุณภาพนี้สามารถเพิ่มขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยจะมีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอื่น ๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง (hardness) ค่าความแห้ง (dryness) และ ค่าการจับตัวเป็นก้อน (crumbliness) ของเนื้อขนมปังซึ่งทำให้ความยืดหยุ่น (elasticity) ลดลง ความกรอบของเปลือกขนมปังลดลง และเกิดการลดลงของกลิ่น (aroma) ตามไปด้วย รวมถึงลักษณะอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับความสดของขนมปัง ดังนั้นการเกิด *staling* จึงเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการจำกัดอายุการเก็บของขนมปังด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำจากเนื้อขนมปังไปที่เปลือกของขนมปังซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบคอลลอยด์ (Ureta et al., 2019) หรือการสูญเสียระหว่างสภาวะที่เก็บรักษาขนมปัง ดังนั้นการทำให้ขนมปังยังคงความสดจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภค ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเปรียบเทียบการใช้สารเคมีในการยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปังซึ่งได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอสซิติค และ โพแทสเซียมซอร์เบท ที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของขนมปังในแต่ละสูตรที่อุณหภูมิห้อง เพื่อที่จะนำองค์ความรู้ที่ได้ไปออกแบบสภาวะการเก็บรักษาและปรับปรุงสูตรการผลิตขนมปังขาวให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น

2. วัตถุประสงค์

2.1 เปรียบเทียบการใช้สารเคมีที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปังขาวซึ่ง ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอสซิติค และโพแทสเซียมซอร์เบท (potassium sorbate) ที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักวัตถุดิบรวม

2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของขนมปังในแต่ละสูตรซึ่งเก็บในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ศึกษากรรมวิธีและคัดเลือกสูตรมาตรฐานในการทำขนมปังขาว

ทำการคัดเลือกสูตรการทำขนมปังขาวโดยเตรียมส่วนผสมของขนมปัง ได้แก่ แป้งขนมปัง น้ำตาล เกลือ ยีสต์ น้ำเปล่า เนยขาว นมผง ผงฟู นมสด และไข่ไก่ ตามสูตรพื้นฐานจำนวน 4 สูตร (ตารางที่ 1) ทำการผลิตขนมปังขาวโดยร่อนแป้งและส่วนผสมที่เป็นของแห้ง จากนั้นนำส่วนผสมที่เป็นของเหลวผสมกับน้ำตาลทราย แล้วนำส่วนผสมของแห้งและของเหลวใส่ลงในเครื่องนวดโดแบบ 2 แขน พร้อมกับเนยสดเป็นเวลา 15 นาที จนเนื้อโดเนียน เมื่อครบเวลาให้รวบแป้งโดให้ตึง ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกแล้วพักแบ่งเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตัดแบ่งโดก้อนละ 110 กรัม ริดแบน และพับเป็น 3 ส่วน แล้วพักไว้อีก 10 นาที เมื่อครบเวลานำโดมารีดเป็นเส้นอีกครั้ง แล้วม้วนเป็นแท่ง และเรียงลงในพิมพ์ขนมปังที่ทำาเนยไว้ อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส 15 นาที หลังการอบให้เอาขนมปังออกจากพิมพ์ทันทีและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เก็บในถุงพลาสติกปิดสนิทและนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส

ต่อไป เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม ด้วยผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน เป็นอาจารย์และนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือทดสอบให้คะแนนแบบ 9-Point Hedonic Scale และคัดเลือกสูตรมาตรฐานของขนมปังขาวที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดเพื่อใช้ในการศึกษาผลการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปังขาว

ตารางที่ 1 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตขนมปังขาว

ส่วนผสม	ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ (กรัม)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
แป้งสาลี	1,000	1,000	1,000	1,000
น้ำตาลทราย	50	90	70	50
เกลือ	10	15	10	10
ยีสต์	15	20	15	8
เนยขาว	100	80	120	50
น้ำเปล่า	650	840	-	600
นมผง	-	80	85	-
ผงฟู	-	10	-	-
นมสด	-	-	480	30
ไข่ไก่	-	-	-	50

ที่มา: สูตรที่ 1 นวรัตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ (2546) สูตรที่ 2 วิภาวัน จุลยา (2549)

สูตรที่ 3 ฐิตาภา เหลียวเจริญ (2563) สูตรที่ 4 แสงแข สหพันธุ์พงศ์ (2562)

3.2 การเปรียบเทียบการใช้สารเคมีที่มีต่อคุณภาพของขนมปังขาว

เตรียมขนมปังขาวจากสูตรที่คัดเลือกในข้อ 3.1 โดยเติมสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปังขาว ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนท กรดแอซิดิก และโพแทสเซียมซอร์เบต ที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ในขั้นตอนการตีผสมด้วยเครื่องนวดโดแบบ 2 แขน จากนั้นนำขนมปังขาวมาทดสอบทางกายภาพและเคมี ดังนี้

1) วิเคราะห์หาค่าความชื้น

วัดค่าความชื้นตัวอย่างขนมปังขาวด้วยเครื่องวัดค่าความชื้นแบบอินฟาเรด (Sartorius รุ่น MA35) โดยนำขนมปังที่ตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กประมาณ 5 กรัม ใส่ลงบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ติดตั้งในเครื่องวัดความชื้น โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบตัวอย่างขนมปังที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

2) ปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของขนมปัง โดยวิธีการดัดแปลงจาก Hathorn et al., 2008

ซึ่งน้ำหนักขนมปังที่จะตรวจสอบปริมาตร นำขนมปังใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร และเติมเมล็ดงาให้เต็มกระบอกตวงแล้วอ่านปริมาตรของเมล็ดงาที่เติมลงไปทั้งหมด ซึ่งปริมาตรของขนมปัง ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) และความหนาแน่นของขนมปัง คำนวณจากสมการ (Eq. 1-3) ดังต่อไปนี้

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

$$\text{ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง (cm}^3\text{/g)} = \frac{\text{ปริมาตรของขนมปัง}}{\text{น้ำหนักของขนมปัง}} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\text{ความหนาแน่นของขนมปัง (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของขนมปัง}}{\text{ปริมาตรของขนมปัง}} \quad (\text{Eq.3})$$

3) ค่าสีของขนมปังโดยเครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer) โดยตัดขอบของขนมปังออกด้านละประมาณ 1.0 เซนติเมตร ให้เหลือแต่ส่วนเนื้อของขนมปัง นำไปวัดค่าสี โดยใส่ตัวอย่างลงใน Target (ภาชนะที่ใส่ตัวอย่าง) ทำการวัดค่าสีซึ่งแสดงผลในรูปค่าความสว่าง (L^*), ค่าดัชนีสีแดง (a^*) และค่าดัชนีสีเหลือง (b^*) ด้วยเครื่องวัดสี (Konica Minolta รุ่น CM-3500d)

4) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture Analyzer รุ่น TA.XT2i (Stable Micro Systems) เป็นการจำลองการใช้ฟันบดอาหารโดยการกด (compression) 2 ครั้ง โดยตัดขนมปังให้มีขนาด $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้หัวกดทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง ได้แก่ ค่าด้านความแข็ง (hardness) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) ของขนมปังขาว กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่อง ได้แก่ Pre-Test Speed 1.0 มิลลิเมตร/วินาที, Test Speed 1.0 มิลลิเมตร/วินาที, Post-Test Speed 10.0 มิลลิเมตร/วินาที โดยกดให้ความสูงของตัวอย่างร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่างเริ่มต้น

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองนี้ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Completely Block Design, RCBD) สำหรับการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม และได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test; (DMRT)

4. ผลการวิจัย

4.1 ศึกษากรรมวิธีและคัดเลือกสูตรมาตรฐานในการทำขนมปังขาว

คัดเลือกสูตรการผลิตขนมปังจำนวน 4 สูตร ซึ่งผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมปังสูตรต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังสูตรต่าง ๆ

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ลักษณะปรากฏ	6.55±1.32 ^b	7.53±1.17 ^a	7.40±1.12 ^a	7.08±1.15 ^a
สี	6.73±1.20 ^{ab}	7.60±1.25 ^a	7.57±1.11 ^a	7.15±1.22 ^{ab}
รสชาติ ^{ns}	6.80±1.02	7.22±1.22	7.13±1.16	6.90±1.30
กลิ่นรส	7.07±0.97 ^{ab}	7.47±1.17 ^a	7.22±1.24 ^{ab}	7.28±1.11 ^{ab}
ลักษณะเนื้อสัมผัส	6.95±1.16 ^b	7.45±1.17 ^a	7.28±1.25 ^{ab}	7.05±1.29 ^{ab}
ความชอบโดยรวม	7.05±0.96 ^b	7.53±1.03 ^a	7.22±1.21 ^{ab}	7.07±1.06 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การศึกษากกรรมวิธีการผลิต และสูตรมาตรฐานของขนมปังขาว โดยใช้สูตรขนมปัง 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 (นวรรตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ, 2546) สูตรที่ 2 (วิภาวัน จุลยา, 2549) สูตรที่ 3 (จิตาภา เหลี้ยวเจริญ, 2563) และสูตรที่ 4 (แสงแข สหพันธุ์พงศ์, 2562) และคัดเลือกสูตรที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับโดยทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบขนมปังสูตรที่ 2 มากที่สุด เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมปังขาวสูตรที่ 2 ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงานโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามวิธี AOAC (1995) และคำนวณหาปริมาณพลังงาน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนั้นจึงเป็นสูตรขนมปังที่ใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีและค่าพลังงานของขนมปังขาวสูตรที่ 2

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	35.33±1.34
เถ้า	3.14±0.42
โปรตีน	10.36±0.58
ไขมัน	2.67±0.15
คาร์โบไฮเดรต	48.5±2.36
เยื่อใย	3.95±0.24
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	259.47±2.69

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 การเปรียบเทียบการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปังขาว

จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่มีการเติมสารเคมี ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอซิดิก และโพแทสเซียมซอร์เบต เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ได้แก่

1) คุณภาพด้านกายภาพของขนมปังขาว

ผลการเปรียบเทียบขนาดของก้อนขนมปัง และภาพตัดขวางของก้อนขนมปังในรูปที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าขนมปังที่ผลิตโดยเติมสารกันเสียแคลเซียมโพรพิโอเนตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 0.2 และขนมปังที่เติมกรดแอซิดิก ร้อยละ 0.1 มีขนาดของก้อนขนมปังใกล้เคียงกับขนมปังตัวอย่างควบคุม ส่วนขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนต ร้อยละ 0.3 ใช้กรดแอซิดิกร้อยละ 0.2 และ 0.3 และขนมปังที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบตมีขนาดของก้อนขนมปังเล็กกว่าตัวอย่างควบคุมที่เป็นสูตรมาตรฐานซึ่งไม่ได้เติมสารเคมีตามลำดับ โดยที่ขนมปังขาวที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบตร้อยละ 0.3 มีขนาดเล็กที่สุด

สารเคมี	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้นของสารเคมี (ร้อยละ)		
		0.1	0.2	0.3
แคลเซียม- โพรฟิโอนัท				
กรดแอซิติก				
โพแทสเซียม- ซอร์เบท				

ภาพที่ 1 ลักษณะก้อนของขนมปังขาวที่มีการเติมแคลเซียมโพรฟิโอนัท กรดแอซิติก และโพแทสเซียมซอร์เบทที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

สารเคมี	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้นของสารเคมี (ร้อยละ)		
		0.1	0.2	0.3
แคลเซียม- โพรฟิโอนัท				
กรดแอซิติก				
โพแทสเซียม- ซอร์เบท				

ภาพที่ 2 ลักษณะเนื้อด้านในของขนมปังขาวที่มีการเติมแคลเซียมโพรฟิโอนัท กรดแอซิติก และโพแทสเซียมซอร์เบทที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

2) ปริมาณความชื้น ปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่นของขนมปัง

การเติมสารเคมีที่ออกฤทธิ์เป็นกรด ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนท กรดแอซิติก และโพแทสเซียมซอร์เบท เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปัง จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่าขนมปังสูตรควบคุมและขนมปังที่เติมสารเคมีทุกสูตรมีค่าความชื้นมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความหนาแน่นของขนมปังมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาตรจำเพาะ กล่าวคือเมื่อปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง ความหนาแน่นของขนมปังจะมีค่ามากขึ้น จากการทดลองพบว่า ขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนทร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 และกรดแอซิติก ร้อยละ 0.1 มีค่าปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) ซึ่งสูตรการผลิตขนมปังมีส่วนผสมและน้ำที่เติมเท่ากัน นอกจากนี้วิธีในการผลิตและขั้นตอนการอบถูกควบคุมให้เหมือนกันทุกสูตรการผลิตส่งผลให้ขนมปังขาวมีความชื้นไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้น ปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของขนมปังขาวที่มีการเติม แคลเซียมโพรพิโอเนท กรดแอซิติก และโพแทสเซียมซอร์เบทที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารเคมี		
	ความชื้น (%) ^{ns}	ปริมาตรจำเพาะ (cm ³ /g)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
ตัวอย่างควบคุม	34.70±0.83	4.43±0.04 ^a	0.25±0.03 ^a
แคลเซียมโพรพิโอเนท 0.1%	33.54±1.87	4.42±0.09 ^a	0.25±0.01 ^a
แคลเซียมโพรพิโอเนท 0.2%	34.97±1.82	4.42±0.06 ^a	0.25±0.02 ^a
แคลเซียมโพรพิโอเนท 0.3%	34.71±1.64	4.41±0.06 ^a	0.25±0.02 ^a
กรดแอซิติก 0.1%	32.91±1.87	4.41±0.04 ^a	0.26±0.02 ^a
กรดแอซิติก 0.2%	34.65±1.65	4.28±0.05 ^b	0.28±0.01 ^b
กรดแอซิติก 0.3%	33.25±1.13	4.15±0.07 ^c	0.30±0.01 ^c
โพแทสเซียมซอร์เบท 0.1%	34.10±1.17	3.83±0.03 ^d	0.33±0.01 ^d
โพแทสเซียมซอร์เบท 0.2%	36.00±0.75	3.63±0.03 ^e	0.34±0.01 ^e
โพแทสเซียมซอร์เบท 0.3%	34.69±1.14	3.30±0.08 ^f	0.36±0.02 ^f

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวดังที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$);

ns หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในขณะที่การผลิตขนมปังที่เติมกรดแอซิติกที่ร้อยละ 0.2, 0.3 และโพแทสเซียมซอร์เบท ร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 ส่งผลให้ขนมปังขาวมีค่าปริมาตรจำเพาะลดลง และความหนาแน่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อระดับของการเติมสารเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นของขนมปังจะเพิ่มขึ้น โดยขนมปังที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบทที่ร้อยละ 0.3 จะมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด และมีปริมาตรจำเพาะต่ำที่สุดซึ่งมีความสอดคล้องกับขนาดของก้อนขนมปังที่แสดงในภาพที่ 1 และ 2

3) ค่าสีของขนมปังขาว

จากการวัดสีของเนื้อขนมปัง พบว่าค่าสีของขนมปังที่มีการเติมสารกันเสียชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าขนมปังสูตรควบคุมและขนมปังสูตรที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบตมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าดัชนีสีแดง (a^*) และค่าดัชนีสีเหลือง สูงที่สุด รองลงมาคือขนมปังสูตรที่เติมกรดแอสติค แคลเซียมโพรพิโอเนต และขนมปังตัวอย่างควบคุมตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มระดับการเติมสารกันเสียมีผลทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 5 ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของขนมปังขาวที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอสติค และโพแทสเซียมซอร์เบตที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารเคมี		
	L^*	a^*	b^*
ตัวอย่างควบคุม	68.58±1.81 ^d	3.05±0.07 ^f	6.49±0.82 ^d
แคลเซียมโพรพิโอเนต 0.1%	69.08±2.23 ^d	3.11±0.07 ^{cdef}	6.63±1.01 ^d
แคลเซียมโพรพิโอเนต 0.2%	69.55±2.28 ^{cd}	3.11±0.08 ^{def}	6.44±0.60 ^d
แคลเซียมโพรพิโอเนต 0.3%	70.88±1.42 ^{bc}	3.10±0.08 ^{ef}	6.63±0.33 ^d
กรดแอสติค 0.1%	70.69±1.70 ^{bc}	3.18±0.09 ^{cd}	7.44±0.86 ^c
กรดแอสติค 0.2%	70.17±1.19 ^{cd}	3.16±0.06 ^{cde}	7.82±0.72 ^c
กรดแอสติค 0.3%	70.86±1.16 ^{bc}	3.19±0.08 ^c	8.47±0.66 ^b
โพแทสเซียมซอร์เบต 0.1%	71.12±1.32 ^{bc}	3.35±0.08 ^b	8.83±0.62 ^b
โพแทสเซียมซอร์เบต 0.2%	72.11±2.59 ^b	3.52±0.12 ^a	9.84±0.79 ^a
โพแทสเซียมซอร์เบต 0.3%	73.73±1.23 ^a	3.58±0.07 ^a	9.85±0.51 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4) ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังขาว

การเติมสารออกฤทธิ์เป็นกรด ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอสติค และโพแทสเซียมซอร์เบต ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ค่าความแข็ง จากผลการทดลองในตารางที่ 6 พบว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) สูงที่สุด รองลงมาคือ ขนมปังที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบต แคลเซียมโพรพิโอเนต และขนมปังสูตรควบคุมตามลำดับ ส่วนค่าความยืดหยุ่น (springiness) มีแนวโน้มตรงกันข้าม โดยขนมปังสูตรควบคุมและขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ขนมปังสูตรที่เติมกรดแอสติค และโพแทสเซียมซอร์เบตตามลำดับ

ตารางที่ 6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังขาวที่มีการเติมแคลเซียมโพรฟิโอนัท, กรดแอซิดิก และ โพแทสเซียมซอร์เบทที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์เป็นกรด		
	Hardness (g)	Chewiness (g)	Springiness (g)
ตัวอย่างควบคุม	226.74±57.41 ^d	83.85±11.39 ^e	0.9689±0.0050 ^a
แคลเซียมโพรฟิโอนัท 0.1%	232.17±54.48 ^d	76.18±8.17 ^e	0.9618±0.0085 ^{ab}
แคลเซียมโพรฟิโอนัท 0.2%	210.44±59.46 ^d	78.96±18.14 ^e	0.9611±0.0750 ^{ab}
แคลเซียมโพรฟิโอนัท 0.3%	276.63±65.93 ^d	87.65±19.87 ^{de}	0.9567±0.0094 ^{ab}
กรดแอซิดิก 0.1%	305.08±66.23 ^{cd}	104.36±22.80 ^{cde}	0.9502±0.0111 ^{abc}
กรดแอซิดิก 0.2%	414.84±45.37 ^{bc}	119.64±19.18 ^{bcd}	0.9411±0.0163 ^{abc}
กรดแอซิดิก 0.3%	459.18±54.07 ^b	141.26±18.21 ^{ab}	0.9312±0.0313 ^{bc}
โพแทสเซียมซอร์เบท 0.1%	445.50±65.37 ^b	134.04±20.23 ^{abc}	0.9315±0.0196 ^{bc}
โพแทสเซียมซอร์เบท 0.2%	465.72±71.74 ^b	163.09±19.06 ^a	0.9198±0.0169 ^c
โพแทสเซียมซอร์เบท 0.3%	597.04±69.65 ^a	164.65±19.90 ^a	0.9213±0.0132 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5. อภิปรายผล

5.1 ศึกษากรรมวิธีและคัดเลือกสูตรมาตรฐานในการทำขนมปังขาว

ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบขนมปังสูตรที่ 2 มากที่สุด อาจเป็นเพราะขนมปังขาวสูตรที่ 2 มีปริมาณน้ำมากที่สุดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้นมากกว่าสูตรอื่น อีกทั้งในสูตรมีการเติมผงฟูทำให้ขนมปังมีการขึ้นฟูได้ดี รวมถึงการเติมนมผงที่ช่วยเสริมความแข็งแรงโครงสร้างของขนมปังหลังพักให้เย็นตัวทำให้ขนมปังมีการขึ้นฟูและยังคงรูปร่างที่ดีกว่าสูตรอื่น ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบสูงกว่าสูตรพื้นฐานอื่น

5.2 การเปรียบเทียบการใช้สารเคมีที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปังขาว

1) ผลของการเติมสารเคมีที่มีลักษณะทางกายภาพของขนมปังขาว

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนมปังมีการขึ้นฟูที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ก้อนขนมปังมีขนาดที่แตกต่างกันเมื่อเติมสารกันเสียแต่ละชนิด การทำขนมปังมีขั้นตอนพื้นฐาน 2 ขั้นตอน ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ได้แก่ ขั้นตอนการหมัก ซึ่งการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เชื่อมโยงกับกิจกรรมของยีสต์จะแสดงออกมาในโครงสร้างแป้งที่มีรูพรุนพร้อมกับการพัฒนาปริมาณแป้งในระหว่างการอบโดยที่กิจกรรมของยีสต์สิ้นสุดลงและโครงสร้างขนมปังจะถูกทำให้เกิดโครงสร้างในระหว่างการอบ อุณหภูมิภายในจะสูงถึง 100 องศาเซลเซียส และสัดส่วนปริมาตรของขนมปังจะมีค่าสุดท้ายระหว่าง 0.8 ถึง 0.9 (Shehzad et al., 2011) ในขณะที่กลูเตนและเม็ดแป้งถูกทำให้เสียหายได้ (Bajd, F. and Serša, I., 2011) ซึ่งโครงสร้างสุดท้ายของขนมปังมักขึ้นอยู่กับส่วนผสมของแป้ง กิจกรรมของยีสต์ อุณหภูมิในการหมัก และการเกิดฟองก๊าซ (Lassoued et al., 2007) จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการเติมโพแทสเซียมซอร์เบท

สามารถยับยั้งกิจกรรมของยีสต์ได้ดีที่สุดส่งผลให้ขนมปังมีการขึ้นฟูน้อย รองลงมาคือกรดแอซิติกและ แคลเซียมโพรพิโอเนตตามลำดับ

2) ผลของการเติมสารเคมีที่ออกฤทธิ์เป็นกรดที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่นของขนมปัง

โดแบ่งเป็นระบบที่มีหลายองค์ประกอบ ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต น้ำและอากาศ ส่วนผสมของแป้ง ตลอดจนสถานะของการแปรรูป ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดโครงสร้างมหภาคของขนมปัง ในทางกลับกันก็มีหน้าที่ทำให้เกิดลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดโครงสร้างของขนมปัง ส่วนผสมจะถูกผสม และนวด โดถูกทำขึ้นฟู และอบ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะเกิดขึ้นระหว่างวิธีการทำขนมปัง (Ali et al., 2012) ในขั้นตอนการผสม ส่วนผสมจะเปลี่ยนเป็นส่วนผสมที่มีความหนืดซึ่งเป็นผลมาจากการก่ตัวของเครือข่ายโปรตีนสามมิติ ซึ่งเม็ดแป้งจะถูกแยกออกจากกันอย่างสม่ำเสมอ ในระหว่างการนวดแป้งจะมีฟองอากาศอยู่ภายในแป้งและถือว่าเป็นนิวเคลียสช่วงต้นของฟองแก๊สซึ่งจะก่ตัวขึ้นในระหว่างการบ่ม ในระหว่างการพักโด เมแทบอลิซึมของยีสต์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทางเคมีเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลแอลกอฮอล์เป็นผลิตภัณฑ์หลักสำเร็จรูป เนื่องจากปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกี่ยวข้องซึ่งผสมกันกับน้ำได้ จึงส่งผลต่อธรรมชาติคอลลอยด์ของโปรตีนข้าวสาลีและเปลี่ยนความตึงเครียดระหว่างผิวหน้าภายในแป้ง นอกจากนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งบางส่วนละลายในเฟสที่เป็นน้ำของแป้ง จะเคลื่อนไปยังนิวเคลียสเริ่มต้นของฟองอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการนวดทำให้เกิดการเจริญเติบโต การเจริญเติบโตของเซลล์แก๊สขึ้นอยู่กับขนาดเซลล์และองค์ประกอบของโด การผลิตก๊าซควบคุมโดยประสิทธิภาพของยีสต์ ดังนั้นปริมาตรของก้อนขนมปังที่ต้องการจะสัมพันธ์กับการหมักยีสต์ที่จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อแป้งมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของยีสต์และการสร้างก๊าซ และในขณะเดียวกันก็มีกลูเตนเมทริกซ์ที่สามารถกักเก็บก๊าซได้สูงสุด (Sahlstroöm et al., 2004) ดังนั้นการที่ขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีปริมาตรจำเพาะสูงแสดงให้เห็นว่ามีการเจริญเติบโตของยีสต์และการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่าขนมปังสูตรที่เติมกรดซอร์บิกซึ่งมีปริมาตรจำเพาะน้อย ส่งผลให้ขนมปังมีขนาดก้อนที่เล็กกว่าและความหนาแน่นมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณก๊าซที่แทรกในเนื้อขนมปังน้อยลง

3) ผลของการเติมสารเคมีที่มีต่อสีของขนมปังขาว

คุณภาพด้านสีของขนมปังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีต่อการเลือกซื้อขนมปังของผู้บริโภค ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการหมักสามารถทำลายสีของแป้งสาลี เพิ่มความขาว อาจเกิดจากปริมาณไขมัน และน้ำตาลเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความขาวของแป้ง เช่น ไขมันและข้าวโพด (Yuliana et al., 2018) เป็นที่ทราบกันว่าข้าวสาลีอุดมไปด้วยแคโรทีนอยด์ และสีของเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแคโรทีนอยด์ สีเหลืองอำพันของแป้งซาลโมลีนา (semolina) เกิดจากรงควัตถุสีของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่อยู่ในเมล็ดข้าวสาลี โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ในแป้งสาลีชนิดเมล็ดแข็ง (durum wheat) พบประมาณ 6.2 ± 0.13 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Beleggia et al., 2009; Hidalgo & Brandolini et al., 2011)

การที่ขนมปังมีเนื้อสัมผัสอาจมีความสัมพันธ์กับการทำให้แป้งบริสุทธิ์ขึ้นโดยการหมักของยีสต์ และการย่อยสลายของสารแคโรทีนอยด์ จูลินทรีย์ไฮโดรไลซ์ไขมันและน้ำตาลอิสระทำให้เกิดเป็นแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลแบบไม่เกี่ยวข้องกับการเอนไซม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในระหว่างกระบวนการอบ นอกจากนี้การหมักอาจทำให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความขาวของตัวอย่างแป้งหมัก (Gong et al., 2019) นอกจากนี้ Sefa-Dedeh et al. (2003) ได้เสนอแนะว่าการหมักสามารถลดความเข้มข้นของสีของข้าวโพดที่ผสมอาหารแล้วซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับเม็ดสีแคโรทีนอยด์ ด้วยเหตุนี้แสดงให้เห็นว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมฟอสโฟอเนทมีกิจกรรมของจูลินทรีย์สูงที่สุด ทำให้เกิดการย่อยสลายของไขมัน น้ำตาลอิสระและแคโรทีนอยด์จึงส่งผลให้เนื้อของขนมปังมีความขาวหรือค่าความสว่างสูงกว่าขนมปังที่เติมกรดแอสซิดิกและโพแทสเซียมซอร์เบทตามลำดับ

4) ผลของการเติมสารเคมีที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังขาว

ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกซื้อขนมปังของผู้บริโภค ค่าความเคี้ยวได้แสดงถึงเนื้อสัมผัสที่หนึบของขนมปัง และค่าที่สูงกว่าบ่งชี้ว่าเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้าง ในทางกลับกันค่าความยืดหยุ่นแสดงถึงคุณภาพการเคี้ยวของขนมปัง และค่าที่สูงกว่าหมายถึงขนมปังที่เคี้ยวได้ง่ายกว่า (Del Valle et al., 2014) ส่วนค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) แสดงให้เห็นถึงความนุ่มและความเหนียวของอาหารแข็ง และได้รับผลกระทบจากความแข็ง ความเหนียวแน่น และความสปริงตัว จะลดลงพร้อม ๆ กันเมื่อความแข็งและความยืดหยุ่นของขนมปังลดลง (Gong et al., 2019) ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าสารที่ออกฤทธิ์เป็นกรดมีผลอย่างมากต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ผลิตโดยการหมักด้วยยีสต์ ค่าความแข็ง และค่าความเคี้ยวได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารกันเสียที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยืดหยุ่นลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการลดลงของปริมาตรจำเพาะของขนมปังและความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นจากการลดลงของการเจริญเติบโตและการสร้างก๊าซของยีสต์ โดยค่าความแข็งต่ำของขนมปังที่หมักด้วยยีสต์อาจเป็นผลมาจากการดัดแปลงโมเลกุลขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก ทำให้ความสามารถในการละลายของโมเลกุลเหล่านี้เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการกระทำของจูลินทรีย์ (Chinma et al., 2014)

6. องค์ความรู้ใหม่

การใช้สารเคมี ได้แก่ แคลเซียมฟอสโฟอเนท กรดแอสซิดิก และโพแทสเซียม มีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ความชื้น ปริมาตรจำเพาะซึ่งสัมพันธ์กับการขึ้นฟูของขนมปัง และคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังขาว ซึ่งอาจใช้สารเหล่านี้เป็นสารกันเสียที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ของขนมปังขาวได้

7. สรุป

สารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย มีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของขนมปัง โดยขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิเนตมีปริมาตรจำเพาะและค่าความยืดหยุ่น รองลงมาคือขนมปังที่เติมกรดแอซิติกและโพแทสเซียมซอร์เบต แต่ในทางกลับกันขนมปังที่เติมโพแทสเซียมซอร์เบตมีความหนาแน่น ค่าความแข็ง ค่าความเคี้ยวได้ และค่าสี (L^* , a^* , b^*) สูงที่สุดซึ่งส่งผลให้ขนมปังขาวมีปริมาตรจำเพาะสูงมีการขึ้นฟูน้อย ตามด้วยขนมปังที่เติมกรดแอซิติกและแคลเซียมโพรพิโอเนตตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มระดับการเติมสารที่ออกฤทธิ์เป็นกรดในสูตรการผลิตขนมปังจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของขนมปังเพิ่มขึ้น จากการศึกษาทำให้เห็นว่าการใช้สารเคมีเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของขนมปังขาว

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การศึกษาผลของสารเคมีที่มีต่อคุณภาพของโดของขนมปังก่อนอบจะเป็นข้อมูลที่แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของสารที่ออกฤทธิ์เป็นกรดในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นก่อนขั้นตอนการใช้ความร้อนในการอบ

8.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาขนมปังเพิ่มเติม เช่น การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ หรือการศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น เป็นต้น อีกทั้งควรทำการเปรียบเทียบการใช้สารชนิดอื่นที่ได้จากธรรมชาติเพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมปัง เช่น การใช้ sourdough น้ำผึ้ง สารสกัดจากขิง น้ำมันงา เป็นต้น กับสารที่ออกฤทธิ์เป็นกรดเพื่อให้เป็นทางเลือกในการบริโภคอาหารปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ใช้ในการวิจัย อีกทั้งงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

10. เอกสารอ้างอิง

- จิตาภา เหลียวเจริญ. (2563). ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมปังปลอดกลูเตน และการประยุกต์ใช้ในนักเก็ตไก่. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นวรรตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ. (2546). ขนมอบ 2. แม่บ้าน.
- วิภาวัน จุลยา. (2549). การพัฒนาคุกกี้ข้าวกล้องเสริมใยอาหารและโปรตีน. มหาวิทยาลัยรามคำแหง. doi: 10.14457/RU.the.2006.279
- แสงแข สพันธุ์พงศ์. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากรำข้าวไรซ์เบอร์รี่. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*, 13(2), 186-195.

- Ali, A., Shehzad, A., Khan, M. R., Shabbir, M.A., & Amjid, M. R. (2012). Yeast, its types and role in fermentation during bread making process- A review. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(3), 171-179.
- Beleggia, R., Platani, C., Spano, G., Monteleone, M., & Cattivelli, L. (2009). Metabolic profiling and analysis of volatile composition of durum wheat semolina and pasta. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 301-309. doi:10.1016/j.jcs.2008.12.002
- Belz, Markus C.E., Ryan, Liam A.M., & Arendt, Elke K. (2012). The Impact of Salt Reduction in Bread: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(6), 514-524. doi:10.1080/10408398.2010.502265
- Chinma, C. E., Abu, J. O., & Akoma, S. N. (2014). Effect of Germinated Tigernut and Moringa Flour Blends on the Quality of Wheat-Based Bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(2), 721-727. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12023>
- Dal Bello, F., Clarke, C.I., Ryan, L.A.M., Ulmer, H., Schober, T.J., Ström K., Sjögren, J., Sinderen, D. van, Schnürer, J., & Arendt, E.K. (2007). Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7. *Journal of Cereal Science*, 45(3), 309-318. doi:10.1016/j.jcs.2006.09.004
- Della Valle, G., Chiron, H., Cicerelli, L. (2014). Basic knowledge models for the design of bread texture. *Trends in Food Science and Technology*, 36(1), 5-14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.003>
- Della Valle, G., Chiron, H., Cicerelli, L., Kansou, K., Katina, K., Ndiaye, A., Whitworth, M., & Poutanen, K. (2014). Basic Knowledge Models for the Processing of Bread as a Solid Foam. *Key Engineering Materials*, 611-612, 901-908. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.611-612.901
- EEC Regulation No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on Food Additives. Available online: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32008R1333> (accessed on 27 December 2017).
- Bajd, F., & Serša, I. (2011). Continuous monitoring of dough fermentation and bread baking by magnetic resonance microscopy. *Magnetic Resonance Imaging*, 29, 434-442. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2010.10.010>

- Gong, S., Xie, F., Lan, X., Zhang, W., Gu, X., & Wang, Z. (2019). Effects of Fermentation on Compositions, Color, and Functional Properties of Gelatinized Potato Flours. *Journal of Food Science*. 0(0), 1-8.
doi:10.1111/1750-3841.14837
- Gray, J.A., & Bemiller, J.N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2, 1-21.
doi:10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x
- 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 sweet potato flour and high-gluten dough enhancers. *LWT - Food Science and Technology*. 41(5), 0-815. doi:10.1016/j.lwt.2007.06.020
- Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2011). Heat damage of water biscuits from einkorn, durum and bread wheat flours. *Food Chemistry*, 128(2), 471-478.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.056>
- Hoseney C, & Miller R. (1998). Current understanding of staling of bread. *AIB Research Department Technical Bulletin*, 20, 1-6.
- Lassoued, N., P. Babin, G. Della Valle, M.F. Devaux & A.L. Reguerre. (2007). Granulometry of bread crumb grain: contributions of 2D and 3D image analysis at different scale. *Food Research International*. 40(8), 1087-97.
- Sahlstroöm, S., W. Park & D. R. Shelton. (2004). Factors influencing yeast fermentation and the effect of LMW sugars and yeast fermentation on hearth bread quality. *Cereal Chemistry*, 81(3), 328-335.
<https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.3.328>
- Samson, R. A., Hoekstra, E. S., & Frisvad, J. C. (2004). *Introduction to food-and airborne fungi* (No. Ed. 7). Centraalbureau voor Schimmelcultures (CBS). Netherlands.
- Sefa-Dedeh, S., Cornelius, B., & Afoakwa, E. O. (2003). Effect of fermentation on the quality characteristics of nixtamalized corn. *Food Research International*, 36, 57-64. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00108-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00108-4)
- Shehzad, A., Chaunier, L., Chiron, H., Della Valle, G., Ducasse, M., D. Lourdin, Reguerre, A-L., & Saulnier, L. (2011). Processing doughs for bread with improved nutritional properties to incorporation of dietary fibers. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 21(1-4): 56-66.

- Smith, J.P., Daifas, D.P., El-Khoury, W., Koukoutsis, J. & El-Khoury, A. (2004). Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products-A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(1), 19-55.
doi:10.1080/10408690490263774
- Ureta, M.M., Diascorn, Y., Cambert, M., Flick, D., Salvadori, V.O., & Lucas, T. (2019). Water transport during bread baking: Impact of the baking temperature and the baking time. *Food Science and Technology International*, 25(3), 187-197. doi:10.1177/1082013218814144
- Yuliana, N., Nurdjanah, S. & Dewi, Y.R. (2018). Physicochemical properties of fermented sweet potato flour in wheat composite flour and its use in white bread. *International Food Research Journal*. 25(3), 1051-1095.