ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาคุณสมบัติของโดและคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมแสวยทดแทนแป้งสาลี

(Study on Dough Propoties and Qualities of Bread partially substituted with sa-waey Fragrance Rice Flour)

โดย

น.ส. เพ็ญพิชญา	**วัฒนศิริ**	**รหัส 44040150**
น.ส. ยุวดี	**รัฐสถาพรชัย**	**รหัส 44040151**
น.ส. ศิวพร	**เลิศมณฑากวิน**	**รหัส 44040158**

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....ภัสรพี เหลืองสกุล..... ...22/มี.ค./48... อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(อาจารย์นภัสรพี เหลืองสกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2C416

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

T096688

การศึกษาคุณสมบัติของโดและคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลี

(Study on Dough Propoties and Qualities of Bread partially substituted with sa-waey Fragrance Rice Flour)

โดย

น.ส. เพ็ญพิชญา วัฒนศิริ รหัส 44040150

น.ส. ยุวดี รัฐสถาพรชัย รหัส 44040151

น.ส. ศิวพร เลิศมณฑากวิน รหัส 44040158

ปพ.
พ892ก
2547
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....96688
วัน,เดือน,ปี.....- 4 JUN 2009

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพ็ญพิชญา วัฒนศิริ , ยุวดี รัฐสถาพรชัย และ ศิวพร เลิศมณฑากวิน. 2547 : การศึกษาคุณสมบัติของโดและคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลี (Study on Dough Propoties and Qualities of Bread partially substituted with sa-waey Fragrance Rice Flour). สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์นภัสรพี เหลืองสกุล กรรมการอาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ , ผศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม และ ผศ.ดร. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบันนี้ผู้บริโภคนิยมบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมอบมากขึ้น เนื่องจากสะดวก รวดเร็วและง่ายต่อการรับประทาน โดยเฉพาะขนมปังจึงมีการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพขนมปังให้ดีมากขึ้น สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำข้าวหอมเสวยมาทดแทนในแป้งสาลีในขนมปังบางส่วนในปริมาณ 0 , 5 , 10, 20 และ 30% จากการทดลองพบว่าการใช้แป้งข้าวหอมเสวยที่ปริมาณ 30% มีค่าความหนืด Setback และBreakdownสูง ทำให้เม็ดแป้งทนต่อค่าความร้อนและแรงกวนได้น้อยกว่าการทดแทนแป้งข้าวหอมที่ระดับอื่นๆ ทำให้โดมีแรงต้านการยืดตัวมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณ 30% เนื่องจากมีปริมาณกลูเตนน้อยลง จึงทำให้ปริมาตรของขนมปังเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับเนื้อสัมผัสของขนมปังจะมี ความนุ่มและเหนียวมากกว่า Control พบว่าการใช้แป้งข้าวหอมเสวยทดแทนในปริมาณ 20% เหมาะสมมากที่สุด จึงเลือกนำมาเปรียบเทียบกับคุณภาพของขนมปังที่ใช้แป้งข้าวญี่ปุ่น 2 พันธุ์ คือ Akitakomochi (A) กับ Koshihikari (K)ที่ระดับ 20% เช่นเดียวกัน พบว่าข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ K มีค่าแรงดึงในการยืดตัวมากสุด และขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ Aมีเนื้อสัมผัสแข็งมากที่สุดและผลการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสพบว่าขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมเสวยมีลักษณะคุณภาพด้านกลิ่นรส ความชอบโดยรวม และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด

ลายมือชื่อนิสิต	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	วัน/เดือน/ปี
ศิวพร เลิศมณฑากวิน		26 มี.ค. 48

ลายมือชื่อนิสิต	ลายมือชื่อนิสิต
ยุวดี รัฐสถาพรชัย	เพ็ญพิชญา วัฒนศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การนำเสนอสัมมนาในหัวข้อเรื่อง การศึกษาคุณสมบัติของโดและคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์นภัสรพี เหลืองสกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาสัมมนาของพวกเรา ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาคอยแนะนำ ให้คำปรึกษาและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างมาก รวมทั้งแก้ไข รายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนทุนทรัพย์ ในการจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังใจและกำลังกายตลอดมา

ผู้จัดทำ

น.ส. เพ็ญพิชญา วัฒนศิริ

น.ส. ยุวดี รัฐสถาพรชัย

น.ส. ศิวพร เลิศมณฑากวิน

22 มีนาคม 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
วัตถุประสงค์	1
2. วารสารปริทรรศน์	2
2.1 ข้าว	2
2.2 ข้าวญี่ปุ่น	2
2.3 แผนภูมิความหนืดด้วยเครื่องอะมิโลกราฟ (Amylograph)	3
2.4 โด (Dough)	
คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของโด	4
2.5 ขนมปัง	
2.5.1 ส่วนผสมของขนมปัง	12
- แป้งสาลี	13
- น้ำ	13
- เกลือ	14
- ยีสต์	14
- ส่วนผสมอื่นๆ	15
2.5.2 กระบวนการผลิตขนมปัง	15
- การผสม	15
- การหมัก	16
- การปั้น-แต่งโด	16
- การอบ	17
- การทำให้เย็นและบรรจุ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 ประเภทกระบวนการผลิต	19
- กระบวนการแบบดั้งเดิม	19
- กระบวนการแบบใหม่	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
3. วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง	26
3.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง	26
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	27
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	30
5. สรุปผลการทดลอง	40
ภาคผนวก ก	41
ภาคผนวก ข	42
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลของเอนไซม์ที่เติมในแป้งต่อลักษณะความหนืด	6
2	พันธะสำคัญของโปรตีนที่สำคัญในโปรตีนของโด	9
3	สูตรการทำขนมปังธรรมดาแบบดั้งเดิม[1]	20
4	สูตรการทำขนมปังแบบโด-เมกเกอร์ (ไม่มีแป้งในของเหลวหมัก)	21
5	สูตรการทำขนมปังแบบแอมโฟล (มีแป้งในของเหลวหมัก)	22
6	สูตรการทำขนมปังแบบชาร์ลีวูด	22
7	สมบัติของทางเคมีกายภาพของข้าวชนิดต่าง ๆ	30
8	คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ ด้วยเครื่อง BrabenderAmylograph	31
9	คุณสมบัติของแรงดึงยืดและระยะยืดตัวของโดจากแป้งข้าวหอมเสวย ทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ	32
10	คุณสมบัติทางความร้อนของโดจากเครื่อง Differential Scanning Colorimetry (DSC)	33
11	คุณสมบัติทางกายภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ	34
12	การเปรียบเทียบสมบัติของแรงดึงยืดและระยะทางของโดระหว่างแป้ง ข้าวหอมเสวยกับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20%	36
13	การเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของโดระหว่างแป้งข้าวหอมเสวย กับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20%	37
14	การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของขนมปังระหว่างแป้งข้าวหอมเสวย กับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20%	37
15	ผลของการนำแป้งข้าวหอมเสวยและข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลี 20%ต่อการ ยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคแบบ Hedonic Scale	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เครื่องอะมิโลกราฟ (ก) และลักษณะเส้นโค้งที่ได้ (ข)	5
2	การเปลี่ยนแปลงของแป้งสาลี(A) กลายเป็นโด(B) มองผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสแกนนิง (Scanning Electrn Microscope)	7
3	ฟิล์มของโดที่ผสมได้เหมาะสมดี	7
4	โครงร่างของแผ่นฟิลม์กลูเตน ซึ่งมีน้ำโปรตีนและลิพอโปรตีนร่วมกันอยู่	8
5	ลักษณะพันธะทางเคมีของกรดอะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของกลูเตน	10
6	ลักษณะการเกาะเกี่ยวของกลูตามีนด้วยพันธะไฮโดรเจน	10
7	การเปลี่ยนแปลงโครงร่างและการเคลื่อนย้ายพันธะไดซัลไฟด์ ของกรดอะมิโนในกลูเตน	11
8	การเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลของกลูเตน (ทั้งจากไกลอาดีนและกลูตานิน)	11
9	ลักษณะทางกายภาพของ(ก) กลูเตน(ข) กลูเตนิน(ค) ไกลอะดิน	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีหลายประเภทได้แก่ ขนมปังต่างๆ ซึ่งเป็นอาหารหลักของชาวยุโรปมาแต่โบราณ บิสกิต แครกเกอร์ คุกกี้ และเค้ก นิยมบริโภคเป็นอาหารว่างและอาหารหวาน นอกจากนี้ยังมีเพสตรี้ชนิดต่างๆ เช่น พัฟเพสตรี้ เดนิช เพสตรี พาย และอื่นๆ โดยมีวิวัฒนาการในการทำปรับปรุงจากรูปแบบเดิม ตามสภาพความเป็นอยู่และรสนิยมของกลุ่มชนในแต่ละท้องถิ่น ในปัจจุบันนี้คนหันมานิยมบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมอบกันมากขึ้น โดยเฉพาะขนมปังเนื่องจากเป็นอาหารที่บริโภคง่าย หาซื้อได้ง่าย อร่อย และให้คุณค่าทางอาหาร จึงมีการปรับปรุงคุณภาพขนมปังให้ดีมากขึ้นในปัจจุบัน เห็นได้จากมีการนำผลิตผลทางธรรมชาติมาใส่เพิ่มในขนมปัง เช่น ชาเขียว ข้าวโอ๊ต และธัญพืชต่างๆ สำหรับในงานวิจัยนี้เราได้นำข้าวหอมเสวยซึ่งเป็นข้าวญี่ปุ่นชนิดหนึ่ง นิยมปลูกกันมากในจังหวัดอุตรดิตถ์ ด้วยเหตุที่ข้าวชนิดนี้กลายพันธุ์จึงไม่นิยมส่งออกขายที่ประเทศญี่ปุ่น ดังนั้นการบริโภคจึงเป็นเพียงการบริโภคเฉพาะในท้องถิ่นที่ปลูกเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการแปรรูปผลผลิตเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเป็นผลิตภัณฑ์สินค้าโอทอป เช่น แชมพูสระผม และเนื่องจากว่าข้าวชนิดนี้มีคุณลักษณะพิเศษคือเมื่อเป็นข้าวสุกจะมีลักษณะที่เหนียวนุ่ม จึงมีความสนใจที่จะนำแป้งข้าวหอมเสวยมาทดแทนในแป้งสาลี เพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากแป้งข้าวให้มากขึ้น และพัฒนาคุณภาพของขนมปังให้ดีขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งข้าวหอมเสวย
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งและโดจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่ต่างๆกัน
3. เพื่อศึกษาคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีหลังจากอบเสร็จใหม่และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน
4. ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมที่สุดของการนำแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลี
5. ศึกษาผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมเสวยในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเทียบกับขนมปังที่แทนด้วยแป้งข้าวญี่ปุ่นในอัตราส่วนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก โดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียที่นิยมรับประทานข้าวเป็นอาหารประจำวันมากกว่าในภูมิภาคอื่นๆของโลก การผลิต บริโภคและการค้าข้าวส่วนใหญ่จึงกระจุกตัวอยู่ในทวีปเอเชีย แต่ข้าวที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะใช้ในการบริโภคภายในประเทศ ซึ่งข้าวที่นำมาปลูกเป็นอาหารนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ข้าว *Oryza sativa* ปลูกในทวีปเอเชียและ *Oryza glaberrima* ปลูกในทวีปแอฟริกา แต่ข้าวที่ค้าขายกันในตลาดโลกเกือบทั้งหมดเป็นข้าวที่ปลูกจากแถบเอเชีย ซึ่งข้าวชนิดดังกล่าวยังสามารถแบ่งได้ตามแหล่งปลูกอีก คือ

2.1.1 ข้าวอินดิกา (Indica) มีลักษณะเมล็ดยาวรี ต้นสูง เป็นข้าวที่ปลูกในเอเชียเขตมรสุม ตั้งแต่จีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย อินเดีย และศรีลังกา ข้าวพันธุ์นี้ค้นพบครั้งแรกในอินเดียและต่อมาได้พัฒนาไปปลูกที่ทวีปอเมริกา

2.1.2 ข้าวจาปอนิกา (Japonica) เป็นข้าวที่ปลูกในเขตอบอุ่น เช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี มีลักษณะเมล็ดป้อมกลมรี ต้นเตี้ย

2.1.3 ข้าวจาวานิกา (Javanica) ปลูกในอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ มีเมล็ดป้อมใหญ่ แต่ไม่ได้รับความนิยมเพราะให้ผลผลิตต่ำ

2.2 ข้าวญี่ปุ่น

ข้าวญี่ปุ่นจัดอยู่กลุ่มในจาปอนิกา แต่ข้าวญี่ปุ่น เป็นที่นิยมบริโภคมากกว่าพันธุ์ข้าวปอนิกาจากแหล่งอื่นๆเป็นพันธุ์ที่เหมาะสำหรับปลูกแถบอากาศอบอุ่น ซึ่งเป็น อากาศช่วงฤดูร้อนของญี่ปุ่น สภาพอากาศคล้ายฤดูหนาวภาคเหนือตอนบน และบางจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามแนวฝั่งโขงของไทย

ข้าวญี่ปุ่น มีลักษณะหลายประการต่างจากข้าวอินดิกา ที่เป็นที่นิยมปลูกทั่วไปในไทย กล่าว คือ ข้าวญี่ปุ่นต้นเตี้ย ความสูงประมาณ 60-100 เซนติเมตร ใบสั้นและแคบ เมล็ดป้อมสั้น ลักษณะพิเศษข้าวญี่ปุ่น คือข้าวสารสุกได้อุณหภูมิต่ำประมาณ 65-85 องศาเซลเซียส ปริมาณอะไมโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกนุ่มนวล ยืดหยุ่น และเหนียวคล้ายมียาง เมล็ดข้าวสุกจะเกาะกัน ต่างจากข้าวอินดิกาที่ปริมาณอะไมโลสสูง เมื่อหุงสุกแล้ว ข้าวจะค่อนข้างแข็ง และร่วนซุย ข้าวญี่ปุ่นใช้เวลาเพาะปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเพียง 3 เดือน เป็นข้าวที่ไม่ต้องการใช้น้ำมาก จึงเหมาะสำหรับพื้นที่เพาะปลูกขาดแคลนน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบัน การบริโภคข้าวญี่ปุ่นแบ่งเป็น 3 ตลาด คือ

2.2.1 บริโภคโดยตรง หรือหุงเป็นข้าวสวยเพื่อบริโภค พันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพของเมล็ด เป็นที่นิยมของตลาดญี่ปุ่น คือพันธุ์โคชิฮิการิ หรือเรียกกันว่าราชาข้าว และซาซานิชิกิหรือเรียกกันว่าราชินีข้าว ข้าวทั้ง 2 พันธุ์นี้ จำหน่ายราคาสูงกว่าข้าวอื่นๆ โดยพันธุ์โคชิฮิการิ ปลูกที่โฮกุริกุ ถึงบริเวณภาคใต้คันโต ส่วนพันธุ์ซาซานิชิกิ ปลูกที่จังหวัดมิยากิ ถึงบริเวณภาคใต้โตโฮกุ พื้นที่ปลูกข้าวทั้ง 2 พันธุ์ รวมกันประมาณ 27% ของพื้นที่ปลูกข้าวในญี่ปุ่น

อย่างไรก็ตาม ข้าวทั้ง 2 พันธุ์นี้ จุดอ่อนคือล้มง่าย และอ่อนแอต่อโรค ความนิยมจึงลดลง ปัจจุบันจึงค้นคว้าปรับปรุงพันธุ์ใหม่ๆ ที่มีคุณภาพเมื่อหุงเป็นข้าวสวย ให้ผลผลิตแน่นอน ไม่ล้ม และไม่เป็นโรคง่าย ปลูกแทน 5 พันธุ์ คือ พันธุ์โคกาเนะบาเระ (Koganebere) พันธุ์ยามาฮิคาริ (Yamahikari) พันธุ์มูสาฮิโคกาเนะ (Musashikogane) พันธุ์โฮชิโนฮิคาริ (Hoshinohikari) และพันธุ์อะคิฮิคาริ (Akihikeri)

2.2.2 ใช้ทำแป้งและขนม พันธุ์ข้าวญี่ปุ่นที่นิยมใช้ทำแป้งและขนม มีชื่อข้างท้ายว่า “โมชิ” แปลว่าข้าวเหนียว ได้แก่ ฮิเมโนโมชิ (Himeno mochi) ทากาสาโกโมชิ (Takasago mochi) และโกคาเนะโมชิ (Gokane mochi) พื้นที่ปลูกข้าวเหนียวของญี่ปุ่น ประมาณ 4.2% ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด ชาวญี่ปุ่นนิยมนำข้าวเหนียวห่อด้วยใบไผ่ แล้วนึ่ง เรียกว่าจิมากิ แต่ส่วนมากจะนำข้าวเหนียวทำเป็นแป้งผงละเอียด เพื่อใช้ทำขนมต่างๆ

2.2.3 ป้อนอุตสาหกรรมผลิตเหล้าสาเก พันธุ์ข้าวญี่ปุ่นที่ใช้ทำเหล้าสาเกรสเยี่ยม คือ นิปปอนบาเร (Nipponbare) ชิโยนิชิกิ (Chiyonishiki) โกฮิยากุมาโงกุ (Gohiyakumangoku) ยามาดานิชิกิ (Yamada Nishiki) และมิยามามิชิกิ (Miyama Mishiki)

2.3 แผนภูมิความหนืดด้วยเครื่องอะมิโลกราฟ (Amylograph) (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

บราเบนเดอร์ได้ประดิษฐ์เครื่องมือวัดความหนืดข้นของแป้งกับน้ำ เรียกว่า อะมิโลกราฟ ลักษณะการทำงาน เริ่มจากการชั่งแป้งจำนวน 40-80 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นหรือบัฟเฟอร์ให้เข้ากันดี ใส่ลงในอ่างขนาด 50 มล. เปิดเครื่องเพื่อให้อ่างหมุนและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1.5 °C (2.7 °F) ต่อนาที จากอุณหภูมิเริ่มต้น (25-30 °C) จนถึงอุณหภูมิ 95 °C (203 °F) ภายในอ่างประกอบด้วยเข็ม 8 อัน หมุนด้วยความเร็ว 75 รอบต่อวินาที มีเทอร์โมมิเตอร์ จุ่มวัดอุณหภูมิเมื่อจะให้ลดลง มีขอติดวัดความหนืด 7 เข็ม ซึ่งจะเคลื่อนที่ได้อิสระ ตามแรงต้านความหนืดของสารผสมน้ำกับแป้งส่วนบนติดต่อกับขดลวดสปริงซึ่งส่งผลไปยังเข็มที่ปากกา เขียนเป็นเส้นโค้งลงบนกระดาษกราฟตามแรงต้านที่เกิดขึ้น โดยสเกลของเส้นกราฟจะเริ่มจาก 0 ถึง 1000 บี.ยู. และกระดาษกราฟนี้จะเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ ในอัตราคงที่ 1 ช่องต่อนาที (ภาพที่ 1ก) ส่วนเส้นโค้งที่วัดได้จะมีลักษณะดังภาพที่ 1ข โดยอ่านค่าที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1) อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งบอกถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมแป้ง ที่จะเกิดขึ้นในขณะอยู่ในเตาอบ แสดงจุดเริ่มการเปลี่ยนแปลงของโครงร่างภายใน ซึ่งจะมีผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเนื้อของขนมปังได้ โดยเวลาที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชันนาน หรืออุณหภูมิในการเริ่มเกิดเจลาติไนเซชันสูงเกินไป จะทำให้ลักษณะเนื้อขนมปังไม่ดี

2) ความสูงของจุดที่ให้ความหนืดสูงสุด จะแสดงถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะของขนมปังที่ได้ ถ้าความสูงของเส้นโค้งที่ได้มีมาก แสดงว่ามีความหนืดมาก จะมีผลทำให้เนื้อขนมปังแห้งและเสื่อมเสียเร็ว ถ้าความสูงของเส้นโค้งต่ำมากเนื่องจากมีปริมาณเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลสสูง จึงเกิดการย่อยโครงสร้างของสตาร์ชให้เล็กลง มีผลทำให้ความหนืดลดลง ดังนั้นขนมปังจึงมีเนื้อแฉะ ชื้นมากไม่ดี ส่วนลักษณะเนื้อขนมที่ดีเหมาะสม เกิดจากแป้งที่ให้ความหนืดในช่วงความสูงปานกลางไม่สูงหรือต่ำไป โดยอยู่ในช่วงประมาณ 500 บี.ยู. สำหรับแป้งสาลีทำขนมปัง

3) ความหนืดเมื่ออุณหภูมิของส่วนผสมถึง 95 ° C .ซึ่งโดยทั่วไปจะลดลง เนื่องจากเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวสูงสุดแล้วเครื่องผสมยังทำหน้าที่กวนต่อไป จะทำให้เม็ดสตาร์ชนั้นแตกออก ไม่คงรูปร่างอีกต่อไป มีผลทำให้ความหนืดลดลง แต่ถ้าเม็ดสตาร์ชของธัญพืชบางชนิด หรือสตาร์ชที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมแล้วเรียกว่า สตาร์ชดัดแปร มีความคงทนต่อสภาพการกวนของเครื่องผสม ความหนืดก็จะไม่ลดลง แต่อาจจะเพิ่มขึ้นไปด้วย

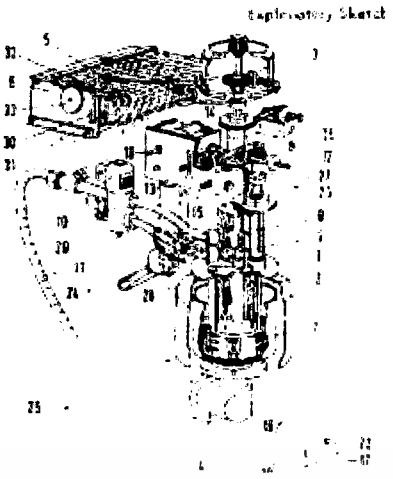
4) ความหนืดหลังจากทำการต้มกวนอยู่ที่ 95 ° C .เป็นเวลา 30 นาที ลักษณะของเส้นในขณะนั้นจะแสดง ถึงความคงทนของส่วนผสม ว่าจะยังคงให้สภาพความหนืดคงเดิม หรือลดลง หรือเพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้ แสดงถึงคุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดต่าง ๆ กัน

5) ลักษณะเส้นโค้งหลังจากลดอุณหภูมิลงจาก 95° C ถึง 50 °C โดยทั่วไปจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจาก เกิดการีโทรเกรเดชัน ซึ่งเมื่อความร้อนลดลง ลักษณะโครงร่างของสตาร์ชจะปรับสภาพจัดเรียงตัวกันใหม่เกิดความหนืดข้นและขุ่นกลับคืนอีกครั้ง

6) ความหนืดหลังจากคงอุณหภูมิไว้ที่ 50 ° C เป็นเวลา 30 นาที ลักษณะเส้นโค้งในช่วงนี้ จะบอกถึงความคงทนและคงตัวของสารผสมที่เกิดจากแป้งชนิดต่าง ๆ จะให้คุณลักษณะต่างกัน และมีผลต่อลักษณะช่องผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งนั้น ๆ

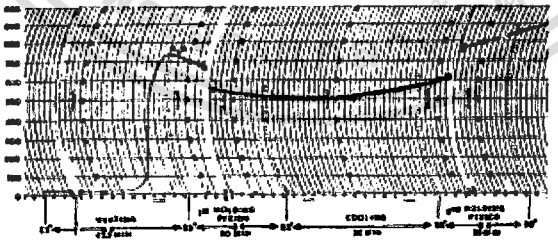
เครื่องนี้ใช้ตรวจสอบคุณภาพแป้งขนมปัง ในด้านการเติมเอนไซม์ ให้มีปริมาณเหมาะสมได้ โดยดูการเปลี่ยนแปลงความหนืดข้น ซึ่งมีผลจากการทำงานของเอนไซม์ ถ้าแป้งมีเอนไซม์น้อย สารผสมจะมีความหนืดสูง แต่ถ้าแป้งมีเอนไซม์มาก จะทำให้ความหนืดต่ำมาก โดยค่าความหนืดข้นนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณเอนไซม์ เราจึงสามารถใช้ควบคุมปริมาณการเติมเอนไซม์ในแป้งให้เหมาะสมได้ (ตารางที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

1. อ่างวัด
2. เข็มวัด
3. กล่องวัด
4. มอเตอร์เกียร์พิเศษ
5. แขนพร้อมปากกาบันทึกผล
6. เครื่องบันทึกผล
7. ส่วนให้ความร้อนแก่อ่าง
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. ระบบให้ความเย็น
10. เครื่องควบคุมปิดเปิดความเย็น
11. ท่อส่งน้ำเข้าเครื่องทำความเย็น
12. ปุ่มตั้งอุณหภูมิ
13. ปุ่มปรับระดับการควบคุมอุณหภูมิ
14. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
15. เกียร์
16. ไฟบอกการทำงานของเครื่องให้ความร้อน
17. ปุ่มตั้งเวลา
18. ปุ่มปรับระบบความเย็น
19. ปุ่มปิดเปิดเครื่องให้ทำงาน
22. ปุ่มสัญญาณเตือน
23. ส่วนบนของเครื่องมือ
24. ส่วนมือจับยกเครื่องส่วนบนขึ้น
25. ส่วนล่างของเครื่องมือ
26. ที่แขวนตุ้มน้ำหนัก
27. ปุ่มเปิดไฟของเครื่องเทอร์โมมิเตอร์
28. ฝาของระบบความเย็น
29. ท่อน้ำเย็นไหลกลับ
30. ที่หนีบปรับระดับกระดาษ
31. แกนของม้วนกระดาษ
32. เครื่องบันทึก
33. ที่หมุนกระดาษกราฟ



ภาพที่ 1 เครื่องอะมิโลกราฟ (ก) และลักษณะเส้นโค้งที่ได้ (ข)

(Shuey และ Tipples,1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลของเอนไซม์ที่เติมในแป้งต่อลักษณะความหนืด

%มอลต์ที่เติม	อะมิโลกราฟ (บี.ยู.)	ฟอลลิง นัมเบอร์ (วินาที)
0.00	1,000+	415
0.05	970	320
0.10	570	273
0.25	360	199
0.40	255	176

ที่มา:Shuey และ Tipples ,1980

จากตารางที่ 1 แสดงผลของการเติมมอลต์ที่เตรียมจากข้าวบาร์เลย์ บดให้เป็นแป้ง แล้วเติมลงในแป้งสาลีชนิดทำขนมปังในปริมาณที่ต่างกัน จะมีผลต่อความหนืดข้นของสารผสมน้ำกับแป้ง ซึ่งวัดได้โดยใช้เครื่องอะมิโลกราฟเปรียบเทียบกับ ฟอลลิง นัมเบอร์ ปรากฏว่าปริมาณมอลต์ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.10 % ทำให้ได้ความหนืดที่ 570 บี.ยู. จากเครื่องอะมิโลกราฟสอดคล้องกับ 273 วินาที จากเครื่องฟอลลิง-นัมเบอร์ ถ้ามีเอนไซม์มากหรือน้อยเกินไปกว่านี้จะมีผลต่อขนมปังที่ทำจากแป้งนั้น ในด้านคุณภาพที่ไม่ดีเท่าปกติ

2.4 โด (Dough)

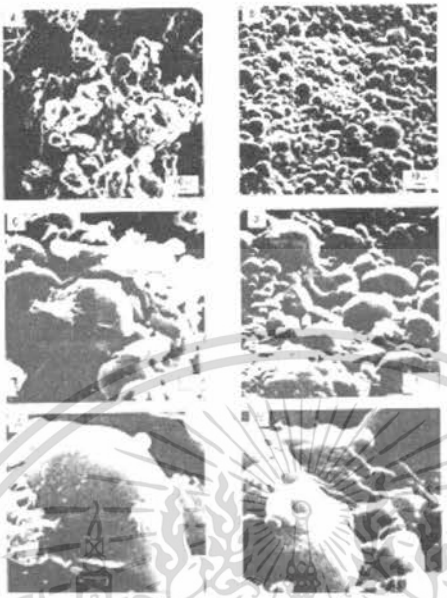
คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของโด (อรอนงค์ , 2540)

เมื่อนวดแป้งกับน้ำ จะเกิดการจับกันของแป้งกับน้ำจะกลายเป็นก้อนโด ซึ่งมีคุณสมบัติของความยืดหยุ่น จากลักษณะการยืดหยุ่น (elastic) ความหนืดข้น (viscous) และลักษณะของพลาสติกร่วมกัน ซึ่งเป็นผลจากความเปลี่ยนแปลงภายในของแป้ง ทั้งในทางเคมี กายภาพและชีวภาพ(ภาพที่ 2) เรียกว่า การเกิดรีโอโลยีของโด (dough rheology) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงเค้น (stress) แรงเฉือน (shear) และแรงดึง (tensile) ต่อโด ในระยะเวลาและอุณหภูมิเหมาะสม จึงจะได้โดลักษณะยืดหยุ่นดี ซึ่งทำให้เกิดการผิดรูป (deformation) แบบนอนนิวโทเนียน (non-newtonian) มีลักษณะผสมผสานระหว่างความหนืดและความยืดหยุ่น เป็นผลให้โครงร่างและองค์ประกอบทางเคมีในโดเปลี่ยนแปลง โดยมีน้ำที่เติมลงไปเป็นตัวกลางสำคัญ

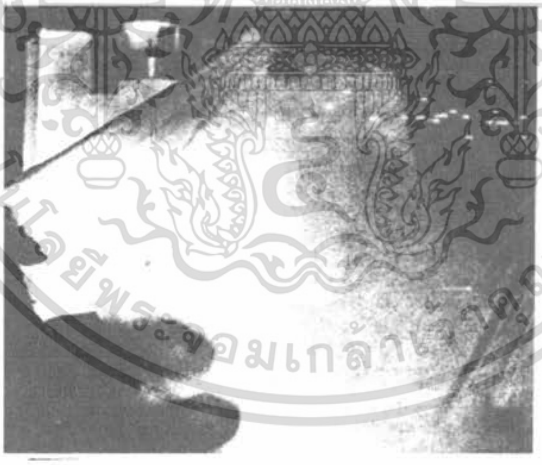
เมื่อเติมน้ำลงในแป้งนั้น น้ำจะไม่ซึมเข้าไปในแป้งทันที แต่จะเกิดเป็นฟิล์มบางๆ บนผิวแป้ง พอออกแรงนวดหรือใช้เครื่องผสม เกิดแรงเค้นและแรงเฉือน ทำให้น้ำซึมเข้าไปในแป้ง อยู่ระหว่างเม็ดแป้ง เกิดแรงดึงดูดระหว่างแป้งกับน้ำ เป็นผลจากโปรตีนในองค์ประกอบของแป้ง เกิดการรวมตัวของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีน้ำเป็นตัวเชื่อม กลายเป็นร่างแหของกลูเตน คลุมเม็ดสตาร์ชซึ่งจะยังไม่ดูดน้ำที่อุณหภูมิของการผสมโดนี้ ขณะผสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลูเตนไปเรื่อยๆ จนถึงจุดที่กลูเตนมีความยืดหยุ่นเหมาะสมทำให้โดไม่ติดมือ หรือติดภาชนะที่ใช้ผสม สามารถดึงยืดให้เป็นฟิล์มบางๆได้ (ภาพที่3)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของแป้งสาลี(A) กลายเป็นโด(B) มองผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสแกนนิง (Scanning Electrn Microscope) (Pyler, 1973)

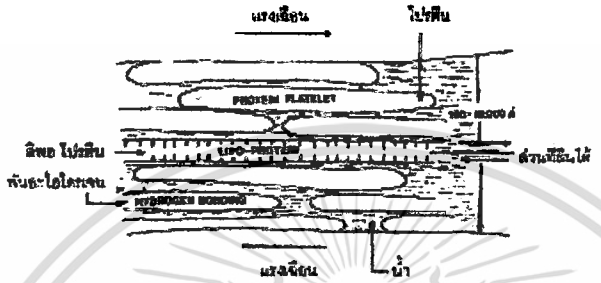


ภาพที่ 3 ฟิล์มของโดที่ผสมได้เหมาะสมดี (Pyler, 1973)

ถ้าทำการผสมต่อไปอีก จะทำให้เกิดแรงเฉือนและแรงเค้นรวมทั้งแรงดึงร่วมกัน มีผลให้กลูเตนฟิล์มหมดความยืดหยุ่นตัว ทำให้ขาดลงเป็นสาย โดเหนอะหนะติดมือและไหลได้ เนื่องจากการผสมมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำที่เติมให้ได้โดที่เหมาะสมนั้น ต้องพิจารณาจากปริมาณความชื้นเดิมของแป้ง ซึ่งเป็นปริมาณน้ำชนิดที่เกาะเกี่ยวกับสารอื่นรวมกับน้ำอิสระ โดยทั่วไปมีอยู่ประมาณ 14 % ดังนั้นน้ำที่เติมลงไปจะช่วยให้เกิดการเกาะเกี่ยวของน้ำกับสารอื่นจนถึง 25 % ของความชื้นหรือเท่ากับ 0.33 กรัมของน้ำต่อน้ำหนักแป้ง 1 กรัม และเมื่อมีน้ำถึง 0.54 กรัมของน้ำต่อน้ำหนักแป้ง 1 กรัม (ประมาณ 35 % ของความชื้น) โดจะมีลักษณะที่เหมาะสม โดยมีส่วนของน้ำอิสระประมาณ 10% (0.11 กรัมของน้ำต่อน้ำหนักแป้ง 1 กรัม) และน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลทำให้โดอ่อนนุ่ม และมีความลื่นไม่ติดมือ (ภาพที่ 4) และสามารถยืดเป็นฟิล์มได้



ภาพที่ 4 โครงร่างของแผ่นฟิลม์กลูเตน ซึ่งมีน้ำโปรตีนและลิพอโปรตีนร่วมกันอยู่ (Pyler, 1973)

กลูเตน เกิดจากการรวมตัวของไกลอะดีน ในปริมาณใกล้เคียงกัน ปริมาณกลูเตนที่เกิดขึ้นนับว่าเป็นส่วนใหญ่ของโปรตีน (80-90 %) ในแป้ง ไกลอะดีนและกลูตานินก่อให้เกิดลักษณะโครงร่างของกลูเตนจากการนวดโด ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวของพันธะทางเคมีระหว่างกรดอะมิโน หลายรูปแบบ ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ (covalent) พันธะอิออนิก (ionic) พันธะไฮโดรเจน และพันธะแวนเดอร์ วอว์ล (van der walls) ตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 พันธะสำคัญของโปรตีนที่สำคัญในโปรตีนของโค

ชนิดของพันธะ	ลักษณะการเกิด	พลังงาน กิโลแคลอรี่/โมล
โควาเลนต์	พันธะระหว่างอะตอมด้วยคู่อิเล็กตรอน	30-100
อิออนิก	พันธะระหว่างประจุตรงข้าม	10-100
ไฮโดรเจน	พันธะในลักษณะอิเล็กโทรเนกะทีฟของอะตอมระหว่างไฮโดรเจน (กับออกซิเจน)	2-5
แวน เดอร์ วอว์ล	พันธะที่เกิดระหว่างกลุ่มที่ไม่มีประจุ	มากถึง 0.5

ที่มา : Pyler, 1973

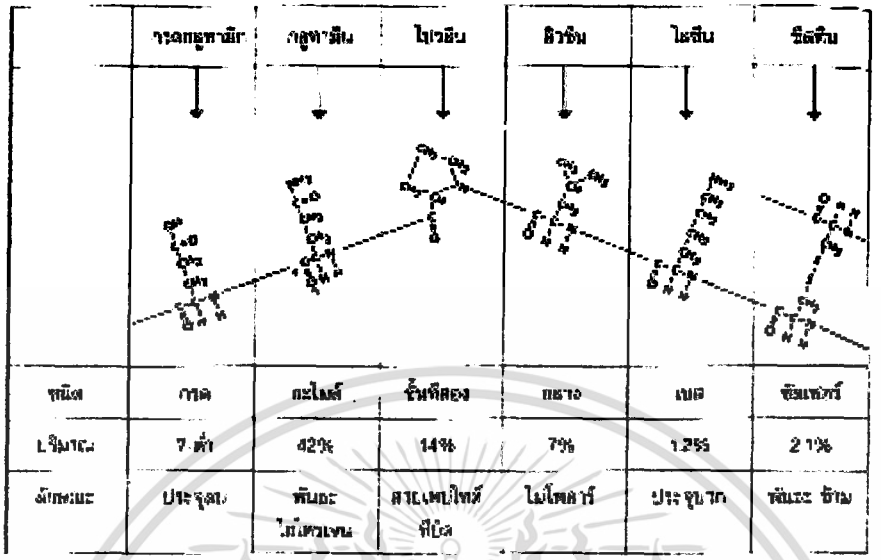
พันธะโควาเลนต์ในโครงร่างของกลูเตน ก็คือพันธะเพปไทด์ ที่เชื่อมระหว่างกรดอะมิโน ทั้งลักษณะภายในและภายนอกของโมเลกุล ด้วยการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างสองอะตอมทำให้มีพลังงานสูงในการเชื่อมกันเป็นพันธะรวมทั้งพันธะระหว่างซัลเฟอร์ เรียกว่า ไดซัลไฟด์ (disulfide linkage) ของกรดอะมิโนซีสทีนในโปรตีนโมเลกุล ซึ่งนับเป็นพันธะที่มีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นของกลูเตน

พันธะอิออนิกหรือพันธะเกลือ เกิดจากแรงดึงระหว่างกลุ่มที่มีประจุตรงกันข้ามกัน เป็นพันธะที่มีจำนวนน้อยในกลูเตน ส่วนพันธะไฮโดรเจน เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโปรตีนของไฮโดรเจนกับอะตอมของไนโตรเจนหรือออกซิเจนซึ่งถึงแม้ว่าจะมีแรงยึดเหนี่ยวต่ำ แต่ก็มีจำนวนมากในกลูเตน จึงมีความสำคัญต่อลักษณะโครงสร้างของกลูเตนมากกว่าพันธะชนิดอื่น สำหรับพันธะแวน เดอร์ วอว์ล นั้นเกิดระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุกับกรดไขมันหรือระหว่างสตาร์ชกับกลีเซอไรด์ ซึ่งพันธะนี้นับว่ามีกำลังอ่อนที่สุด แต่ก็มีผลต่อลักษณะของกลูเตนโดยก่อให้เกิดลักษณะไม่ชอบน้ำ (hydrophobic bonds) ระหว่างกลุ่มของโปรตีนที่ไม่มีประจุ (nonpolar group) ได้ (ภาพที่ 5)

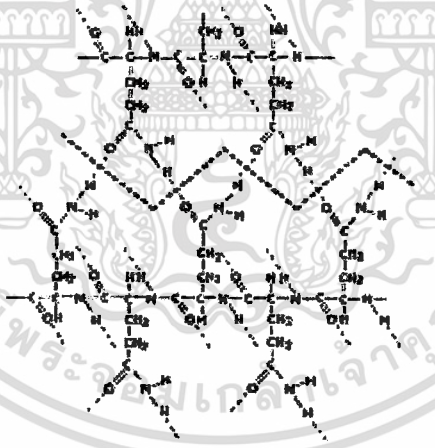
จากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า พันธะไฮโดรเจนมีความสำคัญต่อโครงร่างของกลูเตนมาก เนื่องจากมีจำนวนมากถึง 42% และมักเกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนกลูทามิกในรูปกลูทามีน ส่วนกรดอะมิโนโปรลีนมีผลทำให้เกิดการหักหรือเป็นเกลียว (helix) ของพอลิเพปไทด์ซึ่งมีอยู่ประมาณ 14% สำหรับพันธะที่เกิดระหว่างกลุ่มกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุ จะมีอยู่ 7% ส่วนที่เกิดพันธะระหว่างประจุบวกหรือประจุลบมีจำนวนน้อย พันธะสำคัญอีกชนิดที่มีผลต่อโครงร่างของกลูเตนคือ พันธะไดซัลไฟด์ เนื่องจากเป็นพันธะที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมีซึ่งวิธีทางกายภาพหมายถึงการผสม การนวดจนเป็นโด มีส่วนให้เกิดการเคลื่อนที่ของพันธะ (Brownian motion) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งทำให้โครงร่างกลูเตนมีความยืดหยุ่นมากขึ้น(ภาพที่ 7) ส่วนวิธีทางเคมีหมายถึงการเติมสารเคมี ซึ่งมีผลทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นหรือลดลง กลูเตนจึงมีความยืดหยุ่นน้อยลงส่วนสารประกอบออกซิไดส์ เช่น สารที่มีไอโดเดต และโบรเมตเป็นองค์ประกอบ จะช่วยให้มีพันธะไดซัลไฟด์ในกลูเตนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 8)

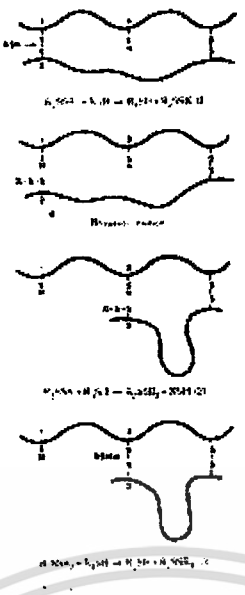


ภาพที่ 5 ลักษณะพันธะทางเคมีของกรดอะมิโนซึ่งเป็นองค์ประกอบของกลูเตน (Pyler, 1973)



ภาพที่ 6 ลักษณะการเกาะเกี่ยวของกลูตามีนด้วยพันธะไฮโดรเจน (Krull และ Inglett , 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



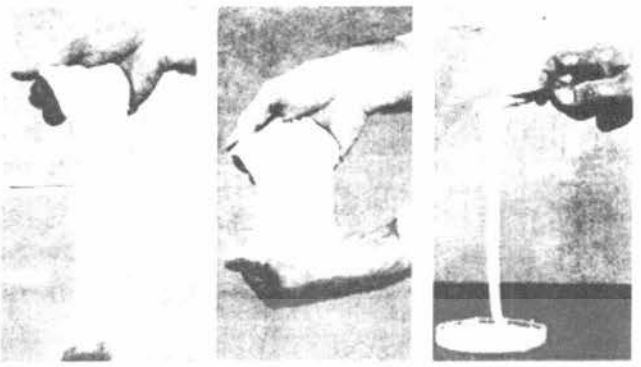
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงโครงร่างและการเคลื่อนย้ายพันธะไดซัลไฟด์ ของกรดอะมิโนในกลูเตน (Pyler, 1973)

ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลของกลูเตน (ทั้งจากไกลอาดีนและกลูตานิน) (Wall และคณะ, 1968)

ในขณะที่ทั้งไกลอะดินและกลูเตนิน ซึ่งมีพันธะไดซัลไฟด์เหมือนกันนั้น ปรากฏว่าลักษณะพันธะของไกลอะดินจะเป็นแบบเชื่อมกันภายในโมเลกุลมาก (intra molecular bonding) ส่วนกลูเตนินมีพันธะแบบเชื่อมภายนอกโมเลกุลมากกว่าแบบแรก (inter molecular bonding) ลักษณะที่ต่างกันนี้เนื่องจากองค์ประกอบของกรดอะมิโน ที่เรียงลำดับในสายพอลิเพปไทด์ที่ต่างกัน มีผลทำให้โครงร่างและลักษณะของไกลอะดิน และกลูเตนินต่างกันในทางกายภาพ กล่าวคือ ไกลอะดินจะมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 20,000 ถึง 40,000 เนื่องจากมีพันธะเชื่อมภายในเป็นส่วนมาก ส่วนกลูเตนินจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากระหว่าง 50,000 ถึง 1,000,000 หรือมากกว่า ดังนั้นไกลอะดินจึงมีคุณสมบัติในการไหลยืดได้ดีกว่ากลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตนินซึ่งมีลักษณะเหนียวคล้ายยาง แต่เมื่อรวมกันเป็นกลูเตนจะได้ลักษณะเหมาะสม มีความยืดหยุ่นพอดี (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ลักษณะทางกายภาพของ(ก) กลูเตน(ข) กลูเตนิน(ค) ไกลอะดิน (Dimler, 1965)

ลักษณะพิเศษของกลูเตนดังกล่าวมาแล้วนี้เอง ทำให้แป้งสาลีเหมาะสมในการทำเป็นขนมปังได้ดีกว่าแป้งชนิดอื่นที่ไม่มีกลูเตน หรือกลูเตนแต่สัดส่วนขององค์ประกอบไม่เหมาะสม เนื่องจากในกระบวนการทำขนมปังนั้น ต้องการโครงร่างของกลูเตน ที่แข็งแรง ยืดหยุ่น สามารถอุ้มก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมัก และคงรูปร่างเมื่อเข้าเตาอบ ได้เป็นขนมปังที่มีเนื้อขนมเหนียวพอดี เป็นเส้นใย ซึ่งผู้บริโภคทั่วไปยอมรับ

2.5 ขนมปัง (จินตนา และ อรอนงค์ ,2525)

นับเป็นผลิตภัณฑ์เก่าแก่ ที่ไม่สามารถตรวจหาบันทึกของกำเนิดวิธีการทำได้แน่นอน แต่เป็นที่เชื่อแน่ว่า มีความเป็นมาควบคู่กับมนุษย์ยุคแรกในประวัติศาสตร์

2.5.1 ส่วนผสมของขนมปัง

ประกอบด้วยแป้งสาลีโปรตีนสูง หรือที่เรียกทั่วไปว่า แป้งสาลีชนิดทำขนมปังผสมกับน้ำ ยีสต์ และเกลือ ทั้ง 4 อย่างนี้ จัดเป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งจำเป็นต้องมีในสูตรทำขนมปังทั่วไป นอกจากนั้น อาจใส่สารอื่นเพื่อปรับปรุงลักษณะของขนมปังให้แตกต่างไปตามความต้องการของผู้บริโภค ได้แก่ ไขมัน แป้งมอลต์ แป้งถั่วเหลือง ธัญชาติอื่นๆ อาหารยีสต์ สารที่ทำให้น้ำกับน้ำมันเข้ากันได้ (emulsifiers) น้ำนม และผลิตภัณฑ์จากน้ำนม ผลไม้และกลูเตนเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.1 แป้งสาลี

ที่ใช้ทำขนมปัง เป็นแป้งโม่จากข้าวสาลีธรรมดาชนิดหนึ่ง มีโปรตีนสูง (12-14%) ในบางประเทศ อาจใช้แป้งโม่ข้าวสาลีชนิดดูรัมโปรตีนสูง เพื่อทำเป็นขนมปังชนิดแบนแบบอาหรับ แต่โดยทั่วไปแล้ว แป้งที่ใช้จะมีสีขาวนวล มีความชื้นไม่เกิน 14 % เป็นแป้งที่ดูดซึมน้ำได้มาก(60-65%) มีเถ้า 0.40-0.50% และโปรตีน 10-16% มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสม วัดได้จากเครื่องฟาริโนกราฟ และเอกซ์เทนซิกราฟ ส่วนปริมาณของเอนไซม์ในแป้ง วัดได้จากเครื่องอะมิโลกราฟ โดยรายละเอียดลักษณะคุณภาพของแป้ง ที่เหมาะสมในการทำขนมปังแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปบ้าง

หน้าที่ของแป้งสาลีในขนมปัง คือเป็นโครงร่างสำคัญ มีความยืดหยุ่นในขณะผสม ขึ้นฟูขณะหมักและในที่สุดแข็งตัวเป็นโครงร่างของขนมปังเนื้อนุ่ม เหนียวต่อการเคี้ยว เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีในแป้งสาลี ที่สำคัญคือ สตาร์ช และกลูเตน รวมทั้งองค์ประกอบอื่น เช่น ไขมัน เพนโทแซน น้ำตาล และอื่นๆ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อผสมแป้งกับน้ำ ยีสต์และเกลือ เข้าด้วยกันจนเป็นโด

2.5.1.2 น้ำ

เป็นส่วนผสมหลักสำคัญ ทำให้แป้งกลายเป็นโด และมีผลต่อลักษณะของโดโดยตรง กล่าวคือโดจะมีความนุ่มยืดหยุ่น และไม่ติดมือ ถ้าน้ำที่ใช้เป็นน้ำกระด้างปานกลาง ซึ่งมีแร่ธาตุบางชนิดปนอยู่อย่างเหมาะสม จะช่วยให้โดมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นตัวดี ถ้าน้ำกระด้างมากหรือถาวร จะทำให้โดแข็งเกินไป ส่วนน้ำอ่อนก็มีผลทำให้โดนุ่มเกินไปอาจแฉะติดมือง่าย ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของน้ำก่อนนำไปใช้ทำขนมปังจึงจำเป็น เพื่อการปรับปรุงแก้ไขสภาพน้ำให้เหมาะสม โดยใช้เกลือและอาหารยีสต์ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบแร่ธาตุชนิดต่างๆเข้าช่วย
เช่น ถ้าน้ำอ่อนมากก็ควรเพิ่มเกลือและอาหารยีสต์ในสูตร แต่ถ้าน้ำกระด้างมาก ก็ลดเกลือ ลดอาหารยีสต์และเพิ่มปริมาณยีสต์ พร้อมทั้งใช้เวลาในการหมักนานขึ้น เป็นต้น โดยปริมาณน้ำที่เติมในสูตร จะอยู่ในช่วง 55-56% ขึ้นอยู่กับชนิดของขนมปัง

กล่าวได้ว่า น้ำมีผลต่อการทำขนมปังมาก เริ่มจากทำหน้าที่ละลายเกลือ ยีสต์ หรือส่วนผสมอื่น ให้สามารถผสมเข้าไปในเนื้อโดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากการนวดแป้งกับน้ำจนกลายเป็นโด จะมีกลูเตนเกิดขึ้น ให้ความยืดหยุ่นดี มีอุณหภูมิของโดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ซึ่งทำงานได้เนื่องจากน้ำในส่วนผสม จนเกิดก๊าซ ทำให้โดพองฟูขึ้นขณะหมัก เมื่อนำเข้าอบ น้ำมีส่วนให้สตาร์ชเกิดเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กลูเตนขยายตัว และส่วนอื่นเปลี่ยนสภาพจากดิบเป็นสุกและคงรูปร่างของขนมปัง ส่วนน้ำที่ยังเหลืออยู่จะทำให้ขนมปังนุ่มเมื่อใช้มือกด และเนื้อขนมปังเหนียวเคี้ยวอร่อย จนในที่สุดมีผลต่อการเก็บรักษาขนมปัง กล่าวคือ ถ้าเก็บขนมปังในภาชนะบรรจุที่ไม่เหมาะสม ทำให้ขนมปังแห้ง จากการระเหยน้ำออกจากภายในเนื้อขนม หรือขนมปังแฉะจนขึ้นรา เพราะมีความชื้นในขนมมากเกินไป ก็จะทำให้ขนมปังนั้นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.3 เกลือ

ที่เติมลงไปในส่วนผสมขนมปัง เพื่อจุดประสงค์ 3 ประการ ที่สำคัญคือ ทำให้ขนมปังมีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ประการที่สองคือ ช่วยให้กลูเตนแข็งแรงและคงทนเพิ่มขึ้น ทำให้โดไม่แฉะ ประการที่สามคือ มีส่วนในการควบคุมการทำงานของยีสต์ให้ช้าลง มีการหมักนานขึ้น ทำให้ขนมปังขึ้นฟูสม่ำเสมอ และมีโครงร่างดี ปริมาณเกลือที่ใส่อยู่ระหว่าง 1.75-2.2% ซึ่งเป็นเกลือป่นธรรมดาชนิดใส่อาหาร ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ 99% โดยมีน้ำและซัลเฟตของธาตุอื่นปนอีก 1%

2.5.1.4 ยีสต์

เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharomyces cerevisiae* หรือมีชื่อทั่วไปว่า ยีสต์สำหรับช่างทำขนมอบ (Bakers' yeast) ซึ่งมีหน้าที่หลักในส่วนผสมขนมปัง 3 อย่าง คือ ช่วยให้เกิดก๊าซภายในโด ปรับสภาพโดให้เหมาะสม และให้กลิ่นรสแก่ขนมปัง

ยีสต์ที่ผสมอยู่ในโด จะเริ่มเติบโตเนื่องจากมีน้ำและอากาศจากการผสม และมีอาหารคือน้ำตาลและสารอาหารอื่นจากโด ทำให้ยีสต์เพิ่มจำนวนมากขึ้น พร้อมกันนี้ เอนไซม์ต่างๆในยีสต์จะแปรสภาพสารอาหารโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาลให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอลกอฮอล์และพลังงานดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{ยีสต์}} 2CO_2 + 2\,C_2H_5OH + 27 \text{ แคลอรี}$$

100 ส่วนของน้ำตาลกลูโคส — 48.9 ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ — 51.1 ส่วนแอลกอฮอล์

โดยกระบวนการที่เกิดนี้ จะอยู่ในสภาพที่ไม่มีอากาศ เรียกว่า กระบวนการหมัก ซึ่งเป็นผลให้ภายในโดมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดันให้โดพองตัวขึ้นจากเดิมหลายเท่า ในขณะเดียวกัน ก็ปรับสภาพโด ให้ยืดตัว มีก๊าซแทรกอยู่พร้อมทั้งให้กลิ่นหมักของแอลกอฮอล์ ร่วมกับกลิ่นอื่นๆ เมื่อนำโดเข้าเตาอบ ขณะที่ความร้อนยังไม่แผ่กระจายเข้าสู้โดมากนัก ยีสต์จะยังทำงานเป็นเหตุให้โดขึ้นฟูในเตาอบอีกระยะหนึ่ง จนในที่สุด ความร้อนกระจายทั่วก้อนโด ทำให้ยีสต์ตายและขนมปังคงรูปร่างขึ้นฟู พร้อมกับมีกลิ่นหมัก กลิ่นยีสต์และสารอื่น เป็นกลิ่นเฉพาะของขนมปังที่ผู้บริโภคพอใจ

ยีสต์ที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 ลักษณะคือ สดและแห้ง ยีสต์สด เป็นยีสต์อัดก้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า ยังมีความชื้นอยู่มาก (70%) ต้องใช้ปริมาณมาก ให้กลิ่นรสของขนมปังดี ส่วนยีสต์แห้งจะเป็นยีสต์สายพันธุ์พิเศษ ทดความแห้งได้ดีกว่าชนิดที่ใช้ยีสต์สด ยีสต์แห้งนี้ จะมีความชื้นต่ำมาก (7.5-9%) จึงสามารถเก็บได้นานกว่ายีสต์สด ทั้งในสภาพเย็นและสภาพอุณหภูมิปกติ ใช้สะดวก โดยผสมลงในแป้งได้เลย ในปริมาณน้อยกว่ายีสต์สดมาก เนื่องจากอยู่ในสภาพที่แห้ง น้ำหนักเพียงเล็กน้อยก็มียีสต์มากเท่ายีสต์ที่มีน้ำมาก จึงต้องใช้ยีสต์สดมากกว่า 3-4 เท่าของยีสต์แห้ง นอกจากนี้ ปริมาณยีสต์ที่ใส่ในขนมปังแต่ละชนิดก็ยังไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากันอีกด้วย เนื่องจากขั้นตอนการทำ โดยเฉพาะขั้นการหมักนั้น ใช้เวลาแตกต่างกัน ถ้าเป็นวิธีหมักนานก็จะใช้ยีสต์น้อย แต่ถ้าหมักไม่นาน จะใช้ยีสต์มากกว่า ส่วนการทำงานของยีสต์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของโด ถ้าอุณหภูมิสูง (80° F ขึ้นไป) จะทำให้ยีสต์ทำงานเร็วกว่าในสภาพที่โดมีอุณหภูมิต่ำ

2.5.1.5 ส่วนผสมอื่นๆ

ไขมัน เป็นส่วนผสมที่นิยมใส่ จนดูเหมือนว่าเป็นส่วนผสมจำเป็น เนื่องจากไขมันช่วยในการหล่อลื่นกลูเตน ให้ยืดหยุ่นได้ดี เก็บก๊าซได้เหมาะสม ทำให้เนื้อขนมปังนุ่ม มีเซลล์บ้าง มีปริมาตรมากขึ้น และให้กลิ่นรสดีของขนมปัง และให้กลิ่นรสดีของขนมปัง เช่นเดียวกับ
อิมัลซิไฟเออร์ที่ใส่ในขนมปังบางชนิด แป้งมอลต์ ช่วยปรับสภาพเอนไซม์ในแป้งให้เหมาะสม
แป้งถั่วเหลืองช่วยเพิ่มคุณค่าอาหาร อาหารยีสต์และน้ำตาล ช่วยให้การทำงานของยีสต์ดีขึ้น น้ำนมและผลิตภัณฑ์จะเสริมคุณค่าอาหารและช่วยให้ขนมปังมีรสชาติดีขึ้น กลูเตนช่วยเสริมลักษณะ
ของโดให้ดีขึ้น ส่วนธัญชาติอื่น และผลไม้ต่างๆ มีผลให้ขนมปังมีรสชาติ และรูปร่างแปลกไปหลายๆแบบ

2.5.2 กระบวนการผลิตขนมปัง

ขั้นตอนในการทำขนมปังเป็นลำดับ มี 5 ขั้นตอน คือ

2.5.2.1 การผสม เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำขนมปัง เพื่อจุดประสงค์ 2 ประการคือ เพื่อผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันดีอย่างสม่ำเสมอทั่วกันทุกส่วน และช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ เกิดกลูเตนในโดให้ความยืดหยุ่นเหมาะสมในการทำขนมปัง

ในขณะผสมนี้สามารถแบ่งลักษณะการผสมเป็น 6 ขั้น คือ

(1) การผสมให้เข้ากัน (Pickup stage) เป็นการเริ่มผสม จะเห็นว่าส่วนผสมแห้ง คือ แป้งจะเริ่มดูดซึมของเหลวคือน้ำ เข้ามารวมกันเป็นก้อนโดที่ยังหยาบและไม่สม่ำเสมอ

(2) การทำความสะอาดอ่าง (Cleanup stage) หมายถึง ส่วนผสมของโดเริ่มจับตัวกันมากขึ้น ทำให้อ่างที่ใช้สะอาดไม่มีโดติดอยู่อีกต่อไป

(3) โดเริ่มมีลักษณะดี (Development stage) เมื่อผสมนานขึ้น โดจะเริ่มมีความยืดหยุ่น สามารถดึงได้ แต่ยังขาดง่ายอยู่ ผิวเรียบและเนียนขึ้น

(4) ลักษณะโดเหมาะสม (Final stage) เป็นระยะที่โดได้รับการผสมถึงจุดเหมาะสมที่สุด มีความยืดหยุ่นดีสามารถดึงได้เป็นฟิล์มบาง แสงส่องผ่านได้ มีเนื้อเนียนเป็นมัน มีความนิ่มตัวดี ดังนั้นเมื่อผสมถึงจุดนี้ จึงควรหยุดได้เพราะได้ลักษณะโดที่สามารถอุ้มก๊าซได้ดีที่สุดแล้ว

(5) โดเริ่มขาดง่าย (Letdown stage) ถ้าผสมโดต่อจากขั้นที่ 4 จะมีผลทำให้โครงร่างของโดเริ่มอ่อนแอ ขาดง่าย และมีลักษณะแฉะ เป็นโดไม่ดีอีกต่อไป

(6) โดขาดง่ายและไหลได้ (Breakdown stage) เป็นขั้นที่โดขาดไม่มีชิ้นดี จนสามารถไหลได้แฉะมาก ไม่สามารถนำไปทำขนมปังได้ จึงไม่ควรผสมนานเกินไปถึงขั้นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 การหมัก เมื่อผสมส่วนผสมต่างๆ จนเป็นโดดีแล้ว จึงนำมาหมักระยะหนึ่งเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยเอนไซม์และยีสต์ ทำให้โดมีสภาพขึ้นฟู จากการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในโด การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญเริ่มจากเอนไซม์ย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต คือ แอลฟา-และบีตา-อะมีเลส รวมทั้งเอนไซม์อื่น เช่น ไดเอสเทส มอลเทส อินเวอร์เทส ไซเมส ซึ่งเป็นเอนไซม์หลายชนิด (ประมาณ 14 ชนิด) ที่มีในยีสต์ ทำการย่อยสตาร์ช โดยเฉพาะสตาร์ชเสียหาย จะย่อยได้มากและเร็วทำให้ได้น้ำตาลกลูโคส ซึ่งกลุ่มเอนไซม์ไซเมสในยีสต์ จะแปรสภาพเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ พร้อมกับกลิ่นแอลกอฮอล์ ทำให้สภาพของโดเปลี่ยนไป มีความฟูตัวขึ้น ช่วยให้เก็บก๊าซไว้ได้ ดังนั้นจึงมีความสัมพันธ์กันระหว่างการเกิดก๊าซและการเก็บก๊าซของโด ควรจะเหมาะสมกัน เพื่อให้ได้ขนมปังเนื้อนุ่ม เป็นรูพรุน ซึ่งควบคุมได้จากปริมาณเอนไซม์หรือปฏิกิริยาการหมักกับระยะเวลาที่ใช้หมัก ต้องพอดี จึงจะได้ลักษณะโดหลังหมักที่ดี ซึ่งโดยทั่วไปในระหว่างการหมัก ถึงระยะหนึ่ง จะมีการนำโดมาไล่ลม (punching) โดยการนวดโดให้ยุบตัวลง ไล่ก๊าซออกจากโด ปรับสภาพอุณหภูมิภายในโดใหม่ นวดให้โดมีโครงร่างแข็งแรงอีกครั้ง เพิ่มอากาศเข้าไปในโด เพื่อให้ยีสต์ได้ใช้ในการเจริญเติบโต ช่วยให้โดมีความยืดหยุ่นในการอุ้มก๊าซได้ดีขึ้นเมื่อทำการหมักต่อไปอีก จะได้ลักษณะโดดี มีโครงร่างเป็นร่างแหดึงยืดได้ ไม่แฉะ แสดงว่าหมักได้ที่แล้ว

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในขั้นตอนการหมัก ก็คือ ตู้หมัก หรือสภาพห้องหมัก เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม มีส่วนช่วยให้กระบวนการหมักดำเนินไปได้ด้วยดี ตามเวลาที่ต้องการ โดยอุณหภูมิของโดขณะหมัก ควรจะประมาณ 25-26^{o}C (77-79^{o}F) และอุณหภูมิห้องควรจะเป็น 27-29^{o}C (80-85^{o}F) และความชื้นสัมพัทธ์ 75 % ถ้าอุณหภูมิสูงไป จะทำให้เร่งการทำงานของเอนไซม์และยีสต์ ส่วนอุณหภูมิต่ำไป จะเกิดกระบวนการหมักช้าไป นอกจากนี้ช่างทำขนมอบยังต้องคำนึงถึง น้ำหนักโดที่หายไปขณะหมัก เนื่องจากการหมักทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโด เนื่องจากอุณหภูมิโดเพิ่ม อุณหภูมิห้องสูง เป็นต้น จึงมีผลให้น้ำหนักลดลงประมาณ
0.5-3% ขึ้นอยู่กับวิธีการทำ เวลาที่ใช้หมัก ปริมาณยีสต์และเอนไซม์ที่มีในสูตร สภาพห้องหมัก และอื่นๆ แต่โดยทั่วไป น้ำหนักโดที่หายไปจะประมาณ 1% เท่านั้น

2.5.2.3 การปั้น-แต่งโด (Dough make-up) เป็นขั้นตอนเตรียมโด หลังการหมักไปจนถึงก่อนเข้าเตาอบประกอบด้วยการทำงานเป็นลำดับดังนี้

(1) การตัดแบ่ง นำโดที่หมักดีแล้ว มาตัดแบ่งเป็นก้อน น้ำหนักเท่าๆกันตามต้องการ

(2) การคลึงให้กลม นำก้อนโดที่ตัดแบ่งแล้ว มาคลึงให้กลม เป็นการไล่อากาศและปั้นโดใหม่ ให้มีผิวหน้าเรียบและตึง จะได้เก็บก๊าซอีกครั้ง และเพื่อไม่ให้โดเหนียวติดมือ อาจใช้แป้งนวลโรยบางๆขณะคลึงให้กลม

(3) การพักโด เพื่อให้โดที่กลมนี้ ได้พักตัว และเกิดการหมักอีกระยะหนึ่ง เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน การตัดและคลึง มีผลให้ก๊าซออกจากโด และโดหดตัวลง จึงต้องพักโดให้ปรับสภาพอีกครั้ง และให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นอีกประมาณ 2-20 นาที แล้วแต่ชนิดของขนมปังที่ต้องการ ถ้าระยะพักตัวนาน จะนำเข้าไว้ในตู้พักพิเศษควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เช่นเดียวกับตู้หมัก

(4) การปั้นรูปร่างเมื่อโดพักตัวดีแล้ว นำมาปั้นให้เป็นรูปร่างตามต้องการ โดยเริ่มจากการรีดให้เป็นแผ่นยาวเพื่อเป็นการไล่ลมด้วยทำได้โดยใช้ไม้รูปกลมแลทรงกระบอกหรือเข้าเครื่องรีดประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ตัว หมุนเข้าหากัน โดยมีระยะห่างตั้งได้ 2-3 ครั้ง จนได้ขนาดแผ่นที่ต้องการ ต่อมาจึงนำไปม้วน ให้เป็นรูปร่างทรงกระบอกปิดรอยม้วนทุกด้านให้เรียบร้อย

(5) ใส่ลงพิมพ์ นำม้วนโดมาใส่พิมพ์ทาด้วยไขมันบางๆเพื่อไม่ให้ขนมติดพิมพ์ ต้องให้ส่วนรอยม้วนด้านยาวอยู่ที่ก้นพิมพ์ จึงจะได้ขนมปังขึ้นสวย

(6) การพักโดครั้งสุดท้าย เนื่องจากการรูปร่าง มีผลให้โดหดตัว และไม่มีอากาศอยู่ภายในอีกครั้ง จึงจำเป็นต้องพักโดเพื่อให้เกิดการหมัก มีก๊าซเกิดขึ้น ทำให้โดขึ้นฟูในพิมพ์เป็นครั้งสุดท้ายก่อนอบ ขั้นตอนนี้นับว่าสำคัญมาก จึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และเวลาให้เหมาะสม โดยมีอุณหภูมิ 33-54°C (90-130°F) ความชื้นสัมพัทธ์ 60-90% และเวลาประมาณ 55-65 นาที ซึ่งจะควบคุมไว้ที่ใดแน่นอนนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและลักษณะของขนมปังที่ต้องการด้วย

2.5.2.4 การอบ เป็นขั้นตอนสุดท้าย และสำคัญที่สุดในการทำขนมปัง เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนสภาพของโดที่ยังดิบให้สุกโดยความร้อน จนได้ขนมปังที่กินได้ในที่สุด ปัจจัยสำคัญในการอบ คือ การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และเวลาให้เหมาะสม เพราะมีผลต่อการสุกของขนมปัง โดยเฉพาะเนื้อในส่วนกลางของขนมปัง ควนจะสุกพอดีกับเปลือกนอกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลสวย มีกลิ่นรสดี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเตาอบจะมีอุณหภูมิระหว่าง 191-232° C (375-450°F) โดยอาจจะแบ่งอุณหภูมิของเตาเป็นช่วงๆ 3-4 ช่วง ขึ้นอยู่กับชนิดของเตาอบ ถ้าเป็นแบบอุโมงค์ยาวอาจมี 4 ช่วง เริ่มจากอุณหภูมิ 210, 274, 260, และ 271°C หรือ 217, 272, 228 และ 232°C เป็นต้น ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ อาจแตกต่างกันมาก จากความชื้นต่ำจนถึงความชื้นสูง ด้วยการพ่นไอน้ำเข้าไปในเตาเป็นช่วงๆ แล้วแต่ชนิดของขนมปังและเวลาในการอบจะอยู่ระหว่าง 18-35 นาที ซึ่งจะใช้เวลานานแค่ไหน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและขนาดของขนมปังที่จะอบกล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิของเตาอบต่ำจะใช้เวลานานกว่าเมื่ออุณหภูมิเตาอบสูง ทำนองเดียวกัน ถ้าขนมปังก้อนใหญ่ จะใช้เวลาอบนานกว่าขนมปังก้อนเล็ก ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีภายในโดขณะอยู่ในเตาอบนั้น จะเริ่มจากความร้อนภายในเตาแผ่กระจายไปยังโด กระตุ้นให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแรงดัน น้ำในโดกลายเป็นไอ และแอลกอฮอล์ขยายตัว ช่วยกันดันโครงร่างของโด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
96688

ให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นขณะเดียวกัน ความร้อนในช่วงแรก จะช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และยีสต์ให้เกิดกระบวนการหมักเพิ่มขึ้นอีก มีก๊าซและแอลกอฮอล์เสริมในการขยายตัวของโด เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้น สตาร์ชภายในโด จะเกิดการพองตัวและกลายเป็นเจล ในขณะขนมปังสุกนี้ องค์ประกอบของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะส่วนอะมิโลส จะเคลื่อนย้ายออกจากสตาร์ช เมื่อทำให้ขนมปังเย็นและทิ้งไว้นานอะมิโลสจะเปลี่ยนกลับ มีลักษณะขุ่นเป็นตะกอนขาวอีกครั้ง ซึ่งถือเป็นลักษณะการเสื่อมเสียที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับอย่างหนึ่ง

ในระหว่างที่สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์จะดึงน้ำจากโดมา ทำให้กลูเตนสูญเสียน้ำเปลี่ยนสภาพจากเดิมที่เคยยืดหยุ่นกลับแข็งตัวขึ้น เป็นโครงร่างของเซลล์ มีรูพรุน ผนังเซลล์บางเป็นใยเชื่อมกัน รูปรีบ้าง กลมบ้าง กระจายทั่วก้อนขนมปังในขณะที่เอนไซม์และยีสต์ค่อยๆตายไป เนื่องจากทนความร้อนเพิ่มมากขึ้นไม่ได้

ส่วนผิวนอกของขนมปัง ก็จะเริ่มเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลทั้ง 2 แบบ คือ การเกิดคาราเมลเนื่องจากความร้อนทำให้น้ำตาลที่ผิวโด เปลี่ยนสภาพให้สีน้ำตาล และการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) จากน้ำตาลและกรดอะมิโน ให้สารสีน้ำตาลเรียกว่า มิลานอยดิน (Melanoidin) พร้อมกันนี้จะเกิดสารให้กลิ่นรสแก่ขนมปังและในที่สุดขนมปังก็สุก โดยมีน้ำหนักลดลงจากเดิม 9-10 % เนื่องจากการระเหยของน้ำและสารอื่นๆ

2.5.2.5 การทำให้เย็นและการบรรจุ เมื่อนำขนมปังออกจากเตาอบนั้น ถือว่าเป็นขนมปังที่มีคุณภาพดีที่สุด มีกลิ่นหอม รสชาติดี เปลือกนอกกรอบแข็งสีน้ำตาล เนื้อในนุ่ม มีความเหนียวเมื่อเคี้ยว แต่เราจะได้บริโภคขนมปังเช่นนี้ต่อเมื่อเราทำเองเท่านั้น ในทางการค้าแล้ว จำเป็นต้องนำขนมปัง มาทำให้เย็นสนิทเสียก่อนที่จะตัดเป็นชิ้น และบรรจุใส่ภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ซึ่งนิยมใส่ถุงพลาสติกหรือกระดาษไข

ขนมปังที่ออกมาจากเตาอบ จะมีอุณหภูมิภายในเนื้อขนมประมาณ 98°C (208°F) และมีความชื้นประมาณ 45% ส่วนด้านนอกที่เป็นเปลือกของขนมปังจะมีอุณหภูมิประมาณ 150°C (302°F) และมีความชื้นประมาณ 43 % ดังนั้นจึงควรลดอุณหภูมิของขนมปังลงให้ปกติโดยใช้ลมเป่าอัตรา 600-800 ฟุตต่อนาที ด้วยอุณหภูมิ 21°C (70°F) และความชื้นสัมพัทธ์ 80 % เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาณของขนมปัง ในขณะที่ลมเย็นเป่าขนมปังนั้น ความร้อนและความชื้นภายในเนื้อขนมจะระเหยมายังผิวเปลือก ทำให้เปลือกที่เคยกรอบและแข็งกลับนุ่ม เหนียวคล้ายหนัง ถ้าทิ้งไว้นานเกินไป น้ำหนักขนมปังจะลดลงมากและทำให้เนื้อขนมปังแข็งได้ แต่ถ้าใช้เวลาในการทำให้เย็นน้อยไปขนมปังยังไม่เย็นเมื่อนำมาตัดจะได้ชิ้นขนมเหนียวและติดกัน ตัดยากไม่เป็นชิ้น เมื่อนำไปบรรจุในถุงพลาสติก จะเกิดเหงื่อในถุงและความชื้นย้อยกลับเข้าสู่ขนมปัง ทำให้เกิดจุลินทรีย์ในขนมปังได้ง่าย ดังนั้นจึงควรระวังในการทำให้เย็นเพื่อให้ได้ขนมปังคุณภาพดีในการเก็บรักษาก่อนถึงผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนการทำขนมปังที่กล่าวแล้วทั้ง 5 ขั้นตอนนี้ ได้มีการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตเพื่ออุตสาหกรรมได้เป็น 2 แบบ โดยคำนึงถึงขั้นตอนในการผสมและการหมัก เพื่อลดระยะเวลาในการผลิตลงให้มากที่สุด

2.5.3 ประเภทกระบวนการผลิต

2.5.3.1 กระบวนการแบบดั้งเดิม

มีขั้นตอนการหมักที่เกิดจากยีสต์เป็นเวลานาน ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ วิธีผสมครั้งเดียว เรียกว่า สเทรต-โด (Straight dough method) และวิธีผสมสองครั้งเรียกว่า สปันจ์-โด (Sponge-dough method) โดยทั้งสองวิธีนี้ต่างกันที่สูตรวิธีผสมและวิธีหมัก กล่าวคือสูตรของวิธีผสมสองครั้ง จะมีปริมาณยีสต์น้อยกว่า ต้องผสมสองครั้ง และต้องหมักสองขั้นคือ ขั้นสปันจ์และขั้นโด จึงใช้เวลาในการทำนานกว่า ต้องใช้แรงงาน พลังงานและเครื่องมือที่ใช้มากกว่าวิธีแรก แต่อย่างไรก็ตามยังเป็นที่นิยมทำกันในบางท้องถิ่น เนื่องจากจะได้ขนมปังที่มีกลิ่นหมัก รสชาติดี ผู้บริโภคชอบ นอกจากนั้นยังประหยัดยีสต์ และช่วยให้ช่างทำขนมอบมีเวลาในการทยอยทำขนมปังไปได้เรื่อยๆ เพราะโดทนต่อการหมักเกินเวลาได้มากกว่าวิธีผสมครั้งเดียว จึงเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 สูตรการทำขนมปังธรรมดาแบบดั้งเดิม[1]

ส่วนผสม	วิธีผสมครั้งเดียว	วิธีผสมสองครั้ง	
	%	สปันจ์ %	โด %
แป้งสาลี	100	65	35
น้ำ	65	40	25
ยีสต์	3	2.5	-
อาหารยีสต์	0.2-0.5	0.2-0.5	-
เกลือ	2.25	-	2.25
น้ำตาล	8-10	-	8-10
ไขมัน	3	-	3
นมผงขาดมันเนย	3	-	3
สารทำให้ขนมนุ่ม	0.2-0.5	-	0.2-0.5
สารยับยั้งเชื้อรา	0.125	-	0.125
สารปรับปรุงลักษณะโด	0-0.5	-	0-0.5
สารเสริมคุณค่าอาหาร	ตามต้องการ	-	ตามต้องการ

[1] ส่วนผสมอื่นคิดจากน้ำหนักแป้ง 100 ส่วน

ที่มา : Pomeranz , 1971

2.5.3.1.1 วิธีผสมครั้งเดียว นำส่วนผสมทั้งหมดที่บอกไว้ในตารางที่ มาผสมให้เข้ากันจนได้โด อุณหภูมิ 25.5-28 °ซ (78-82°ฟ) ที่เรียบเนียน ใช้เวลาประมาณ 15-25 นาที แล้วนำไปหมักอีก 2-3 ชั่วโมง ในระหว่างหมัก ต้องไล่ลม 1-2 ครั้ง หลังจากนั้นปั้นและแต่งโด แล้วเข้าอบประมาณ 25-30 นาที รวมเวลาทั้งหมดประมาณ 4-5 ชั่วโมง

2.5.3.1.2 วิธีผสมสองครั้ง ต้องแบ่งแป้งสาลี และน้ำเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งมีแป้ง 65 % รวมกับน้ำ 40% ผสมกับยีสต์และอาหารยีสต์ให้พอเข้ากัน ไม่ต้องให้ถึงกับเป็นโด เรียกว่า สปันจ์ หมักไว้ได้นาน 3.5-5 ชั่วโมง จึงนำมาผสมกับส่วนผสมที่เหลือผสมอีกครั้งจนเป็นโด แล้วหมักโดไว้อีกระยะหนึ่ง ต่อจากนั้นจึงดำเนินขั้นตอนเดียวกับวิธีการแรก ใช้เวลาในการทำทั้งสิ้น 6-7 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.2 กระบวนการแบบใหม่

เพื่อประหยัดเวลาในการผลิต และทำให้ผลิตได้ในปริมาณมาก ทันกับความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีผู้คิดวิธีการทำขนมปังแบบใหม่ขึ้น โดยเน้นการลดระยะเวลาในการหมัก และจัดระบบการผลิตอย่างต่อเนื่อง (Continuous system) ด้วยการใช้เครื่องผลิตพิเศษ และสารเคมีเข้าช่วย ได้แก่การผลิตอย่างต่อเนื่องด้วยการใช้เครื่องผสมพิเศษ มี 2 กระบวนการที่นิยมใช้ผลิตขนมปังเพื่ออุตสาหกรรมในประเทศสหรัฐอเมริกาและบางประเทศในยุโรป คือกระบวนการโด-เมเกอร์ (Do-Maker process) และกระบวนแอมโฟล (Amflow process)

ทั้งสองกระบวนการนี้มีหลักการผลิตเหมือนกัน คือ ใช้ระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง เริ่มจากทำการหมักส่วนผสมที่เป็นของเหลว ไว้ระยะหนึ่งก่อนประมาณ 2 ชั่วโมง โดยกระบวนการโด-เมกเกอร์ จะเป็นของเหลวที่มีส่วนผสมอื่นแต่ไม่มีแป้ง (ตารางที่ 4) ส่วนกระบวนการแอมโฟล จะใส่แป้งลงไปในของเหลวหมักประมาณ 30 % (ตารางที่ 5) หลังจากนั้นจึงนำของเหลวหมักนี้ มาผสมกับส่วนผสมอื่นที่เหลืออยู่ ให้เข้ากันดี แล้วส่งต่อไปยังเครื่องผสมพิเศษ ซึ่งจะทำการผสมด้วยกำลังความดันและความเร็ว พร้อมกับการอัดอากาศ หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้โดเปลี่ยนสภาพจนมีลักษณะโดคล้ายกับโดที่ผ่านการหมักด้วยวิธีดั้งเดิม แล้วผ่านเครื่องตัด ปั้นเป็นแท่งทรงกระบอก ลงไปในพิมพ์ และเข้าเตาอบตามวิธีธรรมดาต่อไป รวมเวลาทั้งหมดประมาณ 4 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 สูตรการทำขนมปังแบบโด-เมกเกอร์ (ไม่มีแป้งในของเหลวหมัก)

ของเหลวหมัก[1],%		ส่วนผสมของโด	
น้ำ	60.32	แป้งสาลี,%	100
น้ำตาล	7.61	ของเหลวหมัก,%	74
ยีสต์	2.67	ส่วนผสมเนยขาว,%	3
อาหารยีสต์	0.50	น้ำ,%	2
เกลือ	2.10	โพแทสเซียมโบรเมต,ส่วนในล้านส่วน	60
นมผง	0.33	โพแทสเซียมไอโอเดต,ส่วนในล้านส่วน	12
สารยับยั้งเชื้อรา	0.10		

[1] ส่วนผสมอื่นคิดจากน้ำหนักแป้ง 100 ส่วน

ที่มา : Redferm และคณะ,1964

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ตารางที่ 5 สูตรการทำขนมปังแบบแอมโฟล (มีแป้งในของเหลวหมัก)

สูตร[1]		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นโด
100	แป้งสาลี	30	-	70
67	น้ำ	56	4	7
3	ยีสต์	3	-	-
0.5	อาหารยีสต์	0.5	-	-
2	เกลือ	-	2	-
6	น้ำตาล	-	1	5
3	น้ำนม	-	-	3
0.1	โมโนแคลเซียมฟอสเฟต	0.1	-	-
0.1	สารยับยั้งเชื้อรา	-	-	0.1
3	เนยขาว	-	-	3
ไม่แน่นอน	สารออกซิไดส์	-	-	-

[1] ส่วนผสมอื่นคิดจากน้ำหนักแห้งแป้ง 100 ส่วน

ที่มา : Trum, 1964

การผลิตแบบชาร์ลีวูด (Chorleywood bread process) จะทำเป็นระบบการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบต่อเนื่องก็ได้ โดยหลักการสำคัญ คือการผสมด้วยเครื่องผสมพิเศษ เพื่อพัฒนาโดให้มีลักษณะการหมักในขั้นนี้เลย

ตารางที่ 6 สูตรการทำขนมปังแบบชาร์ลีวูด

ส่วนผสม	%
แป้งสาลี	100
น้ำ	61
ยีสต์	1.8-2.0
เกลือ	1.8-2.0
ไขมัน	0.7
กรดแอสคอร์บิก	75 ส่วนในล้านส่วน

[1] ส่วนผสมอื่นคิดจากน้ำแป้ง 100 ส่วน

ที่มา : Pomeranz , 1971

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีการผลิต เริ่มจากการนำส่วนผสมทั้งหมด (ตารางที่ 6) ผสมกันด้วยเครื่องผสมพิเศษที่ใช้กำลังงานสูง (11 วัตต์- ชั่วโมงต่อกิโลกรัม หรือ 40 จูลต่อกรัม) โดยใช้เวลาผสมเพียง 5 นาที สังเกตได้ว่าในสูตรนี้ใช้กรดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นสารเคมีช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นจำนวนมากถึง 75 ส่วนในล้านส่วน เพื่อช่วยให้โดพัฒนาตัวเองได้รวดเร็วในขณะผสม แล้วจึง

นำมารีด ม้วนเป็นแท่งทรงกระบอกใส่ฟิล์ม นำมาพักไว้อีกระยะหนึ่งก่อนเข้าอบตามวิธีปกติ โดยใช้เวลาในการผลิตทั้งหมดเพียง 2 ชั่วโมงเท่านั้น

สรุปกรรมวิธีการผลิตทั้งแบบดั้งเดิม และแบบใหม่ มีขั้นตอนการทำคล้ายคลึงและแตกต่างกันในบางขั้นตอนและใช้เวลาต่างๆกันไป จะเห็นได้ว่าวิธีผสมสองครั้งใช้เวลานานที่สุด แต่ก็ยังเป็นที่นิยมในการผลิตของอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่นเดียวกับวิธีการผสมครั้งเดียว เนื่องจากประหยัดพลังงานและอุปกรณ์ในการผลิตซึ่งเป็นแบบพื้นฐานธรรมดา ส่วนการผลิตแบบใหม่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ต้องการผลผลิตจำนวนมากในเวลาอันสั้น จึงใช้เครื่องมืออุปกรณ์ระบบต่อเนื่องและการผสมที่รวดเร็ว ประหยัดเวลา เช่นวิธีแบบชาร์ลีวูด จะใช้เวลาน้อยที่สุด

นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่น เช่น กระบวนการใช้สารเคมีช่วยเร่งการปรับสภาพโดให้เหมาะสมเร็วขึ้น (Activated dough development process) โดยเติมสารรีดิวซ์ คือ แอล-ซีสทีอีน (L-cysteine) ผสมกับสารออกซิไดส์ คือ โพแทสเซียมโบรเมต หรือส่วนผสมของ โพแทสเซียมโบรเมตกับกรดแอสคอร์บิกลงในส่วนผสม และทำการผสมตามธรรมดาแบบดั้งเดิม แต่สารเคมีรีดิวซ์จะช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลงของกลูเตนให้แตกตัวขึ้น มีกลุ่ม –SH เกิดขึ้นมากต่อมาสารออกซิไดส์จะปรับสภาพโดในส่วนของกลูเตนให้เป็นร่างแห มีกลุ่ม -SS- เหมาะสมที่จะอุ้มก๊าซได้ ช่วยลดระยะเวลาในการหมักลงได้มาก

วิธีการเร่งด่วน (Emergency no-time dough) ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณยีสต์ (2.5 % ของแป้ง) และเร่งอุณหภูมิของโดเป็น 30-32°C (86-89°F) หลังจากผสมเสร็จก็จะตัดแบ่ง ปั้นกลมทิ้งไว้ 15 นาที นำมาม้วนลงพิมพ์ พักไว้อีก 1 ชั่วโมงที่ 43°C (110°F) จึงเข้าอบ ขนมปังที่ได้จะมีคุณภาพไม่ค่อยดีนัก แต่ใช้เวลาในการผลิตสั้นกว่าวิธีธรรมดามาก

กระบวนการอัดอากาศ (Aeartion หรือ gas-injection process) เป็นการเร่งให้เกิดก๊าซภายในโดด้วยการผสมเสร็จ จึงไม่ต้องผ่านการหมักทำนองเดียวกับวิธีการแบบต่อเนื่องและชาร์ลีวูด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วารุณี และคณะ (2544) ศึกษาการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดทอด(การผลิตปาท่องโก๋ขั้นขยายผลในทางการค้า) ผลการวิจัยได้ข้อกำหนดคุณสมบัติของแป้งสาลีที่ใช้ในการผลิตปาท่องโก๋ คือ มีปริมาณโปรตีน 12.5±0.5% และ weight gluten 32±1 กรัมและสูตรที่เหมาะสมในการผลิตปาท่องโก๋คือ แป้งสาลี 70 กรัม แป้งข้าวหอมมะลิ 30 กรัม น้ำตาล 4.5 กรัม เกลือ 2.0 กรัม แอมโมเนีย 1.8 กรัม และน้ำ 74 มิลลิลิตร โดยผ่านกรรมวิธีที่เหมาะสมคือ ผสม 10 ถึง 15 นาที ทอดโดยไม่ตีตัวปาท่องโก๋ขณะกำลังขึ้นฟูที่อุณหภูมิ 190 °C น้ำมันปาล์มที่เหมาะสมในการทอดคือ น้ำมันตราพาโมลา การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันขณะทอดโดยการศึกษาค่า PV (Peroxide Value)และ AV (Acid Value) สามารถได้ความสัมพันธ์ใช้ทำนายอายุของน้ำมันที่ใช้ทอดปาท่องโก๋ได้คือ ประมาณ 7 ชั่วโมง 48 นาที หรือทอดได้ประมาณ 1,200 ตัว จึงเติมน้ำมันใหม่ซึ่งเกณฑ์ที่รายงานนี้ผลวิเคราะห์ถือตามเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันและไขมันบริโภคของกระทรวงอุตสาหกรรม ปาท่องโก๋ที่ได้จากสูตรและวิธีการผลิตดังกล่าว สามารถขยายขนาดการผลิตได้ถึง 6 กิโลกรัมโดยผู้บริโภคให้การยอมรับ การใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลี 30% ในผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋จะทำให้ต้นทุนผันแปรในการผลิตลดลงประมาณร้อยละ 7.5 และมีอัตราผลตอบแทนลดลงจากการนำเข้าแป้งสาลีได้ 63 ล้านบาทต่อปี

ปริศนา และคณะ (2544) ศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวในการผลิตขนมปัง ทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในระดับอุตสาหกรรม พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวโดยการผสมแบบ Straight Dough เป็นวิธีที่เหมาะสมและรวดเร็ว การทดแทนแป้งข้าวที่มีอะมิโลสสูงคือ แป้งข้าวเหลือง11 หรือแป้งที่มีอะมิโลสค่อนข้างสูงเป็นแป้งที่เหมาะสมสำหรับการนำมาทดแทนสามารถทดแทนได้ 30% ถึง 50 % การใช้กลูเตนผงเติมลงไปทดแทนกลูเตนที่ขาดหายไปร่วมกับกับสารปรับปรุงคุณภาพแป้งต่างๆ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับมากขึ้น แต่ต้นทุนของแป้งต่อหน่วยผสมยังไม่แตกต่างจากการใช้แป้งสาลีมากนัก ต้นทุนที่ถูกลงได้จากการใช้ CMC ร่วมกับสารปรับปรุงคุณภาพแป้งชนิดต่างๆ โดยสามารถลดต้นทุนต่อหน่วยลงประมาณ 60% แต่จะนำแป้งผสมนี้ไปทดแทนได้เพียง 30%

Hung and Morita (2004) ศึกษาสมบัติของโดและคุณภาพของขนมปังจากแป้งสาลีที่เสริมด้วยสตาร์ชข้าวโพดดัดแปรด้วยครอสลิงค์ เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำแป้งดัดแปรมาทดแทนในอาหารกันมากขึ้น แป้งดัดแปรที่นำมาใช้นี้เป็นแป้งดัดแปรจากข้าวโพด คือ Cross-linked cornstarch ($CLCS_s$) ซึ่งในการทดลองได้ใช้ $CLCS_s$ ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ Cross-linked non-waxy cornstarch ที่มีระดับการพองตัวสูงและต่ำ (H-CNCS , L-CNCS) และ Cross-linked waxy cornstarch ที่มีระดับการพองตัวต่ำ (L-CWCS) ผสมกับ vital gluten 8% ทดแทนในแป้งสาลีปริมาณ 5% , 10% และ 15% จากการทดลองพบว่าการใช้ $CLCS_s$ นี้ จะทำให้โดมีความแข็งแรงและความคงตัวมากกว่า และมีปริมาตรขนมปังใหญ่กว่าเมื่อไม่ได้ใช้ $CLCS_s$ ส่วนอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature)และอุณหภูมิความหนืดสูงสุด (peak temperature) จะต่ำกว่าตัวควบคุม และพบว่าการใช้ $CLCS_s$ ชนิด L-CWCS ทำให้โดมีการยืดตัวมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับ L-CNCS และ H-CNCS แต่ตัวอย่างขนมปังที่แทนที่ด้วย H-CNCS จะมีปริมาตรของขนมปังใหญ่ที่สุด รวมทั้งมีคุณภาพของเนื้อขนมปังดีที่สุด

Morita และคณะ (2002) ศึกษาคุณสมบัติของโดและคุณภาพขนมอบจาก high-amylose wheat flour และ waxy wheat flours ซึ่งตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับแป้งสาลีชนิด CSF (Chinese Spring Flour) จากข้อมูล Farinograph แสดงถึงค่าการดูดซับน้ำของแป้ง พบว่าแป้งชนิด HAWF และ ชนิด WWF มีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งชนิด CSF ซึ่งแสดงถึงคุณภาพที่ต่ำกว่าแป้งชนิด CSF จากข้อมูล DSC แสดงถึงคุณสมบัติทางความร้อนของโด พบว่าแป้งชนิด HAWF เกิดการเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งชนิด WWF และ CSF จากข้อมูล Amylograph แสดงให้เห็นว่าแป้งชนิด WWF เกิดเจลาติไนซ์เร็วกว่าและมีความหนืดสูงกว่าในแป้งชนิด CSF ส่วนลักษณะขนมปังที่ทำมาจาก WWF และ CSF มีปริมาตรขนมปังใหญ่กว่าที่ทำจากแป้งชนิด HAWF อย่างไรก็ตาม ลักษณะปรากฏของขนมปังจาก แป้งชนิด WWF และ HAWF มีลักษณะด้อยกว่าแป้งชนิด CSF ส่วนความนุ่มของขนมปังจากแป้งชนิด WWF ให้ความนุ่มมากกว่าขนมปังจากแป้งชนิด CSF และหลังจากการเก็บรักษาเมื่อนำมาให้ความร้อนใหม่พบว่าขนมปังจากแป้งชนิด WWF มีประสิทธิภาพในการคืนความสด มากกว่าขนมปังจากแป้งชนิด CSF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

- วัสดุที่ใช้ในการผลิตขนมปังสูตรควบคุมและขนมปังที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวย แป้งข้าวญี่ปุ่นในแป้งสาลี
  1. แป้งสาลี
  2. แป้งข้าวหอมเสวย จังหวัดอุตรดิตถ์
  3. แป้งข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ Akitakomochi
  4. แป้งข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ Koshihikari
  5. เนยขาว
  6. น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล
  7. เกลือ ตราปรุงทิพย์
  8. ยีสต์แห้ง ตราFermipan
  9. น้ำ

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปังสูตรควบคุมและขนมปังที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวย แป้งข้าวญี่ปุ่นในแป้งสาลี
  1. เครื่องผสมไฟฟ้า
  2. ตู้บ่ม
  3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Analytical balance
  4. เตาอบชนิดแก๊ส ผลิตโดย หจก. โปรแกรสอิเล็กทรอนิค กรุงเทพมหานคร
  5. อ่างผสมสแตนเลส
  6. พิมพ์ขนมปังขนาด
  7. ที่ร่อนแป้ง
  8. ภาชนะอลูมิเนียม

- สารเคมีในการวิเคราะห์ทางกายภาพ
  1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 95
  2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 32
  3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.3 และ 1.7
  4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมธิลลีนบลูอินดิเคเตอร์
6. โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 N
7. ไทมอลบลูอินดิเคเตอร์

- อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

- ทางกายภาพ

1. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น Hot air oven (ยี่ห้อ Memmert 854, Germany รุ่น U16)
2. เครื่อง Brabender Amylograph
3. เครื่อง Texturometer (รุ่น TA-XT2)
4. เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA-XT2)
5. เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (Mettler รุ่น DSC 822°/400DSCM)
6. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน Buchi-B425
7. เครื่อง Spectrophotometer
8. เครื่องบดข้าว
9. กระบอกตวง 1000 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร

- ทางประสาทสัมผัส

1. อุปกรณ์สำหรับชิม
2. แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหอมเสวย

ศึกษาคุณสมบัติของข้าวหอมเสวยได้โดยนำข้าวหอมเสวยมาผ่านการโม่ให้เป็นแป้งแล้วนำไปตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณความชื้นจากวิธีของ AACC 32.1.03 (1995) โดยใช้ Hot air oven
- วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากวิธีของ AACC 46-12 (1995) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โปรตีนรุ่น Buchi-B425
- วิเคราะห์หาค่า Alkali digestibility จากวิธีของ Little, Hilder and Dawson (1958)
- วิเคราะห์หาค่า Gel consistency จากวิธีของ Cagampang , Perez and Juliano (1973)
- วิเคราะห์หาปริมาณ Amylose จากวิธีของ Juliano , Perez and Webb (1981)
- วิเคราะห์แผนภูมิความหนืด โดยใช้เครื่อง Brabender Amylograph(Approved AACC method 22-12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้ง โด และขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

3.2.2.1 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งได้โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 สูตร ในแต่ละสูตรจะมีปริมาณสัดส่วนของแป้งแตกต่างกัน ประกอบด้วย สูตรที่ 1 เป็นสูตรพื้นฐาน ส่วนสูตรที่ 2-5 เป็นสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมเสวย 5%, 10% 20%และ 30% ตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างแป้งไปตรวจสอบทางกายภาพดังนี้

- วิเคราะห์แผนภูมิความหนืด โดยใช้เครื่อง Brabender Amylograph (Approved AACC method 22-12)

3.2.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของโดได้โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 สูตร ในแต่ละสูตรจะมีปริมาณสัดส่วนของแป้งแตกต่างกัน ประกอบด้วย สูตรที่ 1 เป็นสูตรพื้นฐาน ส่วนสูตรที่ 2-5 เป็นสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมเสวย 5%, 10% 20%และ 30% ตามลำดับ โดยใช้วิธีการทำแบบ Straight Dough แล้วนำตัวอย่างโดทั้ง 5 สูตร ไปตรวจสอบทางกายภาพดังนี้

- ศึกษาค่าแรงดึงยืด (Extensible Force) และระยะการยืดตัวของโด (Distance) โดยใช้เครื่อง Texturometer
- ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของโดโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

3.2.2.3 ศึกษาคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลี

ศึกษาคุณภาพของขนมปังโดยการทำขนมปังในแต่ละสูตร ประกอบด้วย สูตรที่ 1 เป็นสูตรพื้นฐาน ส่วนสูตรที่ 2-5 เป็นสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมเสวย 5%, 10% 20%และ 30% ตามลำดับ โดยใช้วิธีการทำขนมปังแบบขั้นตอนเดียว แล้วนำขนมปังที่ได้ตรวจสอบดังนี้

- น้ำหนักของขนมปังโดยวิธีการชั่งน้ำหนัก
- ปริมาตรโดยวิธี การแทนที่ ด้วยเมล็ดงาดำ
- ค่า Hardness ของเนื้อในขนมปัง โดยใช้ Texture Analyzer
- Oven spring
- ดูความละเอียดของเนื้อในขนมปัง

ศึกษาคุณภาพของขนมปังที่เก็บไว้นาน5วัน แล้วตรวจสอบดังนี้

- ค่าHardness ของเนื้อในขนมปัง โดยใช้ Texture Analyzer
- ดูความละเอียดของเนื้อในขนมปัง

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติและประเมินผลหาความแตกต่างโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) คุณสมบัติทางกายภาพของแป้ง โด และขนมปัง วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Randommized Design (CRD) ซึ่งมีปัจจัยตัวแปล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ปริมาณการแทนที่แป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลีในระดับต่างๆ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Test (DMRT)

3.2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโดและขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมเสวยและแป้งข้าวญี่ปุ่น 2 พันธุ์ในอัตราส่วน 20%

- หาสมบัติของแป้ง โด และขนมปังเหมือนข้อ 3.2.2

- ศึกษาจากการนำผลิตภัณฑ์มาประเมินค่าโดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสแบบ 9-point Hedonic Scaling(1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด) ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100คน (เพ็ญขวัญ,2536) โดยประเมินค่าความละเอียด ความนุ่ม ความเหนียว กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของขนมปัง

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติและประเมินผลหาความแตกต่างโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) ส่วนข้อมูลทางประสาทสัมผัสใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหอมเสวยและข้าวญี่ปุ่น 2 พันธุ์

ตารางที่ 4.1 สมบัติของทางเคมีกายภาพของข้าวชนิดต่าง ๆ

ชนิดข้าว	ปริมาณความชื้น (%)	Protein (% น้ำหนักแห้ง)	Amylose (% น้ำหนักเปียก)	Gel Consistency (mm)	Alkali Digestibility KOH 1.3 %	Alkali Digestibility KOH 1.7%
หอมเสวย	10.66	6.95	18.93	90.33	3.70	6.85
A	12.61	9.14	22.09	89.67	4.55	6.25
K	10.58	6.85	12.34	78.33	5.25	6.25

หมายเหตุ A คือ Akitakomochi K คือ Koshihikari
จำนวนตัวอย่างที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านเคมีกายภาพของข้าวทั้ง 3 ชนิด จากตารางที่ 4.1ผลดังต่อไปนี้

4.1.1 ปริมาณความชื้น(%) พบว่า ข้าวญี่ปุ่นชนิด A มีปริมาณความชื้นมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.61 ส่วนข้าวหอมเสวยมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 10.66 และข้าวญี่ปุ่นชนิด K มีปริมาณความชื้นท่ากับ 10.58 ซึ่งทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.2 โปรตีน (% น้ำหนักแห้ง) พบว่า ข้าวญี่ปุ่นชนิด A มีปริมาณโปรตีนมากที่สุดซึ่งเท่ากับ 9.14 ส่วนข้าวหอมเสวยมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 6.95 และข้าวญี่ปุ่นชนิด K มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 6.85

4.1.3 ปริมาณอะไมโลส (% น้ำหนักเปียก) พบว่า ข้าวญี่ปุ่นชนิด A มีปริมาณอะไมโลสมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.09 และข้าวญี่ปุ่นชนิด K มีปริมาณอะไมโลสน้อยที่สุดเท่ากับ 12.34 แสดงให้เห็นว่าขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวญี่ปุ่นชนิด A จะมีความแข็งมากกว่าข้าวชนิดอื่นๆ

4.1.4 Gel Consistency (mm) พบว่า ข้างทั้ง 3 ชนิด มีระยะทางที่สารเคลื่อนที่อยู่ในช่วง 61 – 100 มม. ซึ่งหมายถึงแป้งมีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน ซึ่งค่าความคงตัวของแป้งสุก เป็นค่าที่สามารถตรวจสอบคุณภาพของข้าวสารที่มีปริมาณอะไมโลส เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาผ่านการหุงสุกอาจมีลักษณะเนื้อสัมผัส (ความแข็ง)แตกต่างกัน ดังนั้นพบว่าข้าวหอมเสวยและข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ A มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน ขนมปังที่ได้อาจมีความแข็งต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 Alkali Digestibility พบว่าค่าคะแนนเฉลี่ยของทุกตัวอย่างที่ KOH ความเข้มข้น 1.7 % มีค่าคะแนนเฉลี่ยมากกว่า KOH ความเข้มข้น 1.3 % พบว่าข้าวญี่ปุ่นชนิด K มีค่าคะแนนเฉลี่ยของทุกตัวอย่างที่ KOH ความเข้มข้น 1.3 % มากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.25 ส่วนข้าวหอมเสวยมีค่าน้อยที่สุด แต่ข้าวหอมเสวยมีค่าคะแนนเฉลี่ยของทุกตัวอย่างที่ KOH ความเข้มข้น 1.7 % มากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.85

ค่าการสลายเมล็ดในด่างเป็นค่าที่แสดงถึงว่าข้าวชนิดนั้นใช้อุณหภูมิในการทำให้แป้งสุกสูงหรือต่ำ ถ้าระดับคะแนนอยู่ในช่วง 1-3 อุณหภูมิในการทำให้แป้งสุกจะสูงซึ่งสูงกว่า 74 ° ซ ถ้าระดับคะแนนอยู่ในช่วง 4-5 อุณหภูมิในการทำให้แป้งสุกปานกลาง ประมาณ 70 – 74 ° ซ และถ้าระดับคะแนนอยู่ในช่วง 6 – 7 อุณหภูมิในการทำให้แป้งสุกจะต่ำซึ่งต่ำกว่า 69 ° ซ ดังนั้นการที่จะให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพดีควรจะมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

4.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้ง โค และขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

4.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

- วิเคราะห์แผนภูมิความหนืดของแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลี โดยใช้เครื่อง Brabender Amylograph

ตารางที่ 4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ ด้วยเครื่อง BrabenderAmylograph

ปริมาณแป้งข้าวหอมเสวย (%)	อุณหภูมิแป้งสุก (°c)	ความหนืด					
		สูงสุด (BU)	ที่95 °c สุดท้าย (BU)	ที่ 50 °c (BU)	Setback* (BU)	Breakdown** (BU)	Consistency*** (BU)
0	91.50^{b} ±0.00	360.00^{b} ±14.14	265.00^{b} ±7.07	540.00^{b} ±14.14	210.0^{b} ± 35.4	100.00^{b} ±14.14	236.00^{b} ±0.00
5	91.50^{b} ±0.00	350.00^{b} ±0.00	262.52^{b} ±3.54	500.00^{b} ±42.43	235.0^{b} ± 0	100.00^{b} ±0.00	22.50^{b} ±45.96
10	87.00^{b} ±0.00	377.50^{b} ±10.61	287.50^{b} ±31.82	595.00^{b} ±35.36	262.0^{b} ± 38.9	97.50^{b} ±17.68	37.50^{b} ±10.61
20	93.50^{b} ±0.00	375.00^{b} ±21.21	297.50^{b} ±17.68	465.00^{b} ±35.36	200.0^{b} ± 56.6	80.00^{b} ±7.01	97.50^{b} ±17.68
30	95.00^{a} ±0.00	1045.00^{a} ±7.07	567.50^{a} ±10.61	957.50^{a} ±10.61	370 .0^{a} ± 0	490.00^{a} ±0.00	-47.50^{a} ±3.54

หมายเหตุ ถ้ามีตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ (P≤ 0.05)
แต่ละซ้ำจำนวนตัวอย่างที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2

Setback* = ความหนืดที่ 50°c - ความหนืดที่จุดสุดท้าย

Breakdown** = ความหนืดที่ P - ความหนืดที่ 95°c

Consistency*** =ความหนืดที่ 50°c - ความหนืดที่ 95°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลในตารางพบว่าแป้งข้าวทั้ง 5 ระดับ มีอุณหภูมิแป้งสุกในช่วง 87-95 °Cถือว่าเป็นแป้งที่มีอุณหภูมิสุกค่อนข้างสูง ในส่วนของความหนืดสูงสุดซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงระดับการพองตัวเต็มที่หรือค่าความหนืดของเม็ดแป้งที่แตกตัว พบว่าที่ปริมาณการทดแทน 30 % มีค่าสูงที่สุดและแตกต่างจากปริมาณการทดแทนที่ระดับอื่นซึ่งอยู่แค่ในช่วง 350- 380 (B.U.)เป็นอย่างมาก ส่วนค่า Breakdown เป็นค่าที่แสดงถึงระดับการแตกสลายของเม็ดแป้งโดยถ้ามีค่า Breakdown ต่ำ บ่งบอกถึงว่าเม็ดแป้งนั้นมีความต้านทานต่อความร้อนและแรงกวนได้มาก จากตารางพบว่าที่ปริมาณการทดแทนที่ 0%, 5%, 10% และ 20% มีลักษณะของแป้งที่ดี คงตัวได้มากกว่าที่ 30% เนื่องจากความต้านทานต่อความร้อนและแรงกวนได้มาก และค่า Setback เป็นค่าที่แสดงถึงการเกิดรีโทรกราเดชันหรือการคืนตัวของแป้ง โดยถ้ามีค่าเป็นลบจะเกิดน้อย แต่ถ้ามีค่าเป็นบวกเกิดได้มาก พบว่าที่ปริมาณการทดแทนที่ 0%, 5%, 10% เกิดรีโทรกราเดชันได้น้อยกว่าที่ 30 % ซึ่งเกิดได้สูงที่สุด และที่20% เกิดรีโทรกราเดชันได้น้อยที่สุด ซึ่งค่าผลวิเคราะห์ต่างๆนี้จะมีผลทำให้คุณสมบัติและคุณภาพของขนมปังแตกต่างกันออกไป

4.2.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของโดจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

4.2.2.1 ศึกษาค่าแรงดึงยืด (Extensible Force) และระยะการยืดตัวของโด (Distance) โดยใช้เครื่อง Texturometer

ตารางที่4.2.2.1 คุณสมบัติของแรงดึงยืดและระยะยืดตัวของโดจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

ปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี(%)	สมบัติทางกายภาพ		
	Force(g)	Distance (mm)	F/D
0	61.29 ± 1.34b	34.88 ± 1.99c	1.76 ± 0.07b
5	87.18 ± 6.31a	35.48 ±0.70c	2.46 ± 0.23c
10	43.03 ± 1.09c	31.22 ± 1.28b	1.38 ± 0.02ab
20	42.26 ± 3.06c	28.61 ±1.04ab	1.47 ± 0.05ab
30	34.97 ± 1.33c	27.79 ± 0.12a	1.26 ± 0.05a

หมายเหตุ ถ้ามีตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) แต่ละซ้ำจำนวนตัวอย่างที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1.1 ค่า Force(g) พบว่าปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี (%)ในแต่ละสูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้ ปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี 0 % มีค่า Force(g) เท่ากับ 61.29 ± 1.34, ที่ 5 % มีค่าเท่ากับ 87.18 ± 6.31, ที่ 10 % มีค่าเท่ากับ43.03 ± 1.09, ที่ 20 % มีค่าเท่ากับ 42.26 ± 3.06 และที่ 30 % มีค่าเท่ากับ 34.97 ± 1.33 จะเห็นได้ว่าข้าวหอมเสวยเมื่อปริมาณเปอร์เซ็นต์ของข้าวหอมเสวยเพิ่มขึ้นค่าแรงที่ได้จะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าการใช้ข้าวหอมเสวยเปอร์เซ็นต์มากขึ้นความหนืดของโดจะน้อยลง

4.2.2.1.2 ค่า Distance (mm) พบว่าปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี (%)ในแต่ละสูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนี้ ปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี 0 % มีค่า -34.88 ± 1.99,ที่ 5 % มีค่าเท่ากับ -35.48 ±0.70, ที่ 10 % มีค่าเท่ากับ -31.22 ± 1.28, ที่ 20 % มีค่าเท่ากับ -28.61 ±1.04 และที่ 30 % มีค่าเท่ากับ -27.79 ± 0.12 จะเห็นได้ว่าค่าระยะทางจะมีค่าลดลง ส่วนเครื่องหมายลบแสดงถึงทิศทางของระยะทาง

4.2.2.1.3 ค่า F/D พบว่าปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี (%)ในแต่ละสูตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้ ปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี 0 % มีค่า F/D เท่ากับ -1.76 ± 0.07, ที่ 5 % มีค่าเท่ากับ -2.46 ± 0.23, ที่ 10 % มีค่าเท่ากับ -1.38 ± 0.02, ที่ 20 % มีค่าเท่ากับ -1.47 ± 0.05 และที่ 30 % มีค่าเท่ากับ -1.26 ± 0.05 ค่า F/D เป็นค่าแรงต่อระยะทางซึ่งแสดงถึงว่าระยะทางหนึ่งหน่วยใช้แรงไปเท่าไร

4.2.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของโดโดยใช้เครื่องDifferential scanning calorimetry (DSC)

ตารางที่ 4.2.2.2 คุณสมบัติทางความร้อนของโดจากเครื่อง Differential Scanning Colorimetry (DSC)

ปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี (%)	สมบัติทางกายภาพ			
	Onset^{ns} Temp. (°C)	Peak^{ns} Temp. (°C)	Endset^{ns} Temp. (°C)	Enthalpy^{ns} (Jg-1)
0	83.0± 2.4	90.1± 1.4	99.0± 1.4	0.3± 0.04
5	78.0± 1.9	87.2± 2.7	95.9± 2.8	0.4± 0.08
10	78.5± 2.6	89.1± 0.4	98.5± 0.3	0.8± 0.3
20	84.0± 3.4	92.0± 2.3	100.5± 1.4	0.3± 0.08
30	81.8± 6.3	90.6± 3.9	98.8± 3.0	0.4± 0.2

หมายเหตุ ns (non significant) คือ ข้อมูลไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ (P> 0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของโดของแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ พบว่า ผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05) แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถแยกคุณสมบัติทางความร้อนของโดจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆด้วยวิธีนี้ได้

4.2.2.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

ตารางที่ 4.2.2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ

ปริมาณที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลี (%)	สมบัติทางกายภาพ				
	ปริมาตร (ml)	ปริมาตรจำเพาะ (ml/g)	Oven spring (%)	Hardness 0 วัน (g)	Hardness 5 วัน (g)
0	1177.5 ±21.0a	5.20± 0.09a	231.2± 8.9a	429.7± 25.8b	1371.2 ±162.4d
5	1127.5 ±15.6b	4.94± 0.05b	141.5 ±14.7b	403.6± 59.0	1673.9±140.0c
10	1090.0± 28.0c	4.74± 0.09c	114.6 ±7.0c	442.3± 27.9b	1760.0±207.0bc
20	1010.0± 17.8d	4.50± 0.05d	111.6±8.1cd	416.7 ±17.3b	1854.5±130.0b
30	962.5 ±9.6e	4.20± 0.05e	97.1 ±9.3d	652.1 ±41.4a	2371.4±252.7a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณสมบัติที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

4.2.2.3.1 ปริมาตร (ml) พบว่าขนมปังทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้ สูตรแป้งสาลี 100% เท่ากับ 1177.5 ±21.0 สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 5% เท่ากับ 1127.5 ±15.6 สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 10% เท่ากับ 1090.0± 28.0สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 20% เท่ากับ 1010.0± 17.8 และสูตรแป้งข้าวหอมเสวย 30% เท่ากับ 962.5 ±9.6ซึ่งสูตรที่แทนแป้งข้าวหอมเสวย 5% มีปริมาตรใหญ่ที่สุดให้ผลไม่แตกต่างจากข้าวสาลี 100% มากนัก และสูตรที่แทนแป้งข้าวหอมเสวย 30% มีปริมาตรเล็กที่สุดแสดงให้เห็นว่าการแทนแป้งข้าวหอมเสวยในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนมปังมีปริมาตรเล็กลงเนื่องจากมีปริมาณกลูเตนในแป้งลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3.2 ปริมาตรจำเพาะ (ml/g) พบว่า ขนมปังทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้ สูตรแป้งสาลี 100% เท่ากับ 5.20± 0.09 สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 5% เท่ากับ 4.94± 0.05สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 10% เท่ากับ 4.74± 0.09 สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 20% เท่ากับ 4.50± 0.05และสูตรแป้งข้าวหอมเสวย 30% เท่ากับ 4.20± 0.05 ซึ่งผลที่ได้มีแนวโน้มเดียวกับปริมาตรคือเมื่อปริมาณข้าวหอมเสวยเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาตรจำเพาะมีค่าน้อยลง

4.2.2.3.3 Oven spring (%) พบว่า ขนมปังทั้ง 5 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้สูตรแป้งสาลี 100% เท่ากับ 231.2± 8.9สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 5% เท่ากับ 141.5 ±14.7สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 10% เท่ากับ 114.6 ±7.0สูตรแป้งข้าวหอมเสวย 20% เท่ากับ 111.6±8.1และสูตรแป้งข้าวหอมเสวย 30% เท่ากับ 97.1 ±9.3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแป้งข้าวหอมเสวยที่เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ขนมปังขึ้นฟูลดลง ส่งผลให้เนื้อในขนมปังแน่น เซลล์ไม่ละเอียด

4.2.2.3.4 Hardness (g) พบว่าขนมปังทั้ง 5 สูตรที่อบเสร็จใหม่และเก็บไว้ 5 วันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้ ขนมปังที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลีหลังจากอบเสร็จใหม่ในสูตร 0 , 5, 10 และ 20% ให้ผลไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่ที่ 30% ขนมปังจะแข็งมากที่สุด แสดงว่าการทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในปริมาณมากจะทำให้ขนมปังแข็งมากขึ้น และผลจากการเก็บขนมปังไว้ 5 วันพบว่าขนมปังที่ทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้แป้งมีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น ส่งผลให้ขนมปังเกิด staling ขนมปังจึงแข็งมากกว่าที่ทดแทนในปริมาณน้อย โดยเฉพาะที่ 30% มีค่าhardness มากที่สุด

จากผลการทดลองที่ 4.2 พบว่าการทดแทนปริมาณแป้งข้าวหอมเสวยในปริมาณที่สูงมากจะทำให้โดมีความยืดหยุ่นลดลงใช้แรงในการดึงยืดลดลง มีค่าความหนืด Setback และBreakdownสูง ทำให้เม็ดแป้งทนต่อค่าความร้อนและแรงกวนได้น้อย และพบว่าการทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในแป้งสาลีที่ระดับ 0,5,10,20% ให้ผลใกล้เคียงกันในเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นจึงเลือกปริมาณที่ทดแทนได้มากที่สุดมาทำการทดลองเปรียบเทียบกับข้าวญี่ปุ่นแท้ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของโดและขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมเสวยและแป้งข้าว ญี่ปุ่น 2 พันธุ์ในอัตราส่วน 20%

ตารางที่ 4.3.1 การเปรียบเทียบสมบัติของแรงดึงยืดและระยะทางของโดระหว่างแป้งข้าวหอมเสวยกับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20%

ชนิดข้าว	สมบัติทางกายภาพ		
	Force(g)	Distance (mm)	F/D
หอมเสวย	42.26 ± 3.06b	28.61 ± 1.04b	1.48 ±0.05a
A	38.63 ± 0.10b	22.45 ± 1.13a	1.72 ± 0.08a
K	51.43 ± 1.29a	21..88 ±0.51a	2.35 ±0.11b

หมายเหตุ A คือ Akitakomochi K คือ Koshihikari
ค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณสมบัติที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

4.3.1.1 ค่า Force(g) พบว่าข้าวแต่ละชนิด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้ ข้าวหอมเสวยมีค่า Force เท่ากับ 42.26 ± 3.06 ข้าวญี่ปุ่นชนิด A มีค่า Force เท่ากับ 38.63 ± 0.10 และข้าวญี่ปุ่นชนิด K มีค่า Force เท่ากับ 51.43 ± 1.29 ซึ่งมีค่ามากที่สุด แสดงถึงว่าข้าวญี่ปุ่นชนิด K มีความเหนียวมากที่สุด

4.3.1.2 ค่า Distance (mm) พบว่าข้าวแต่ละชนิด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนี้ ข้าวหอมเสวยมีค่า Distance เท่ากับ -28.61 ± 1.04 ข้าวญี่ปุ่นชนิด A มีค่า Distance เท่ากับ -22.45 ± 1.13 และข้าวญี่ปุ่นชนิด K มีค่า Distance เท่ากับ -21..88 ±0.51 ซึ่งข้าวหอมเสวยมีค่า Distance มากที่สุด

4.3.1.3 ค่า F/D พบว่าข้าวแต่ละชนิด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้ ข้าวหอมเสวยมีค่า F/D เท่ากับ -1.48 ±0.05 ข้าวญี่ปุ่นชนิด A มีค่า F/D เท่ากับ -1.72 ± 0.08 และข้าวญี่ปุ่นชนิด K มีค่า F/D เท่ากับ -2.35 ±0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3.2 การเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของโดระหว่างแป้งข้าวหอมเสวย กับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20%

ชนิดข้าว	สมบัติทางกายภาพ			
	Onset^{ns} Temp. (°C)	Peak^{ns} Temp. (°C)	Endset^{ns} Temp. (°C)	Enthalpy^{ns} (Jg-1)
หอมเสวย	84.0± 3.4	92.0± 2.3	100.5± 1.4	0.3± 0.08
A	79.6± 4.1	89.6± 2.5	98.3± 2.7	0.5± 0.08
K	79.6± 4.1	89.6± 2.5	98.3± 2.7	0.5± 0.08

หมายเหตุ A คือ Akitakomochi K คือ Koshihikari

ns (non significant) คือ ข้อมูลไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ (P> 0.05)

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของโดระหว่างแป้งข้าวหอมเสวยกับ แป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20% พบว่า ข้าวทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05) แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถแยกคุณสมบัติทางความร้อนของโดของข้าวทั้ง 3 ชนิดด้วยวิธีนี้ได้

ตารางที่ 4.3.3 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของขนมปังระหว่างแป้งข้าวหอม เสวย กับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 20%

ชนิดข้าว	สมบัติทางกายภาพ				
	ปริมาตร (ml)	ปริมาตรจำเพาะ^{ns} (ml/g)	Oven spring^{ns} (%)	Hardness 0 วัน (g)	Hardness 5 วัน (g)
หอมเสวย	1010.0± 17.8a	4.5± 0.05	111.6±8.1	416.7 ±17.3b	1854.5±130.0b
A	1003.8±18.0ab	4.5± 0.1	112.6± 5.3	498.7 ±16.7a	2071.7±136.9a
K	980.0± 16.3b	4.4± 0.08	106.2± 11.0	407.1 ±16.5b	1877.4±106.6b

หมายเหตุ A คือ Akitakomochi K คือ Koshihikari

ค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณสมบัติที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ns (non significant) คือ ข้อมูลไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ (P> 0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.1 ปริมาตร (ml) พบว่าขนมปังจากข้าว 3 ชนิดที่อัตราส่วนเท่ากันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ดังนี้ข้าวหอมเสวย เท่ากับ 1010.0± 17.8 ข้าวญี่ปุ่นA เท่ากับ 1003.8±18.0 และข้าวญี่ปุ่นK เท่ากับ980.0± 16.3 ซึ่งข้าวหอมเสวยมีปริมาตรมากที่สุด และข้าวญี่ปุ่นK มีปริมาตรน้อยที่สุด

4.3.3.2 ปริมาตรจำเพาะ (ml/g) พบว่า ขนมปังจากข้าว 3 ชนิดที่อัตราส่วนเท่ากันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p > 0.05$)

4.3.3.3 Oven spring (%) พบว่า ขนมปังจากข้าว 3 ชนิดที่อัตราส่วนเท่ากันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p > 0.05$)

4.3.3.4 Hardness (g) พบว่า ขนมปังจากข้าว 3 ชนิดที่อัตราส่วนเท่ากันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) ทั้งที่อบเสร็จใหม่และเก็บไว้ 5 วัน ซึ่งขนมปังจากข้าวญี่ปุ่นA มีความแข็งมากกว่าข้าวอีก 2 ชนิด เนื่องมาจากข้าวญี่ปุ่นA มีปริมาณอะไมโลสมากที่สุด

ตารางที่4.3. ผลของการนำแป้งข้าวหอมเสวยและข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลี 20%ต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคแบบ Hedonic Scale

ชนิดข้าว	ค่าความละเอียด^{ns}	ความนุ่ม^{ns}	ความเหนียว^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	ความชอบโดยรวม
หอมเสวย	6.51± 1.48	6.71 ±1.44	6.42± 1.37	6.07 ±1.89	6.75±1.35a
A	6.31± 1.52	6.52± 1.18	6.27 ±1.35	5.73 ±1.74	6.44± 1.22b
K	6.29± 1.40	6.54± 1.35	6.37 ±1.25	5.75 ±1.78	6.37± 1.28b

หมายเหตุ A คือ Akitakomochi K คือ Koshihikari

ค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณสมบัติที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ns (non significant) คือ ข้อมูลไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบการประเมินทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scale ของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมเสวยและข้าวญี่ปุ่น 2 พันธุ์ที่ 20 % ได้ผลดังนี้

4.3.4.1 ความชอบด้านความละเอียด ขนมปังทั้ง 3 ชนิดนี้มีคะแนนความชอบทางด้านความละเอียดมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ไม่มีความแตกต่างในด้านความละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$)

4.3.4.2 ความชอบด้านความนุ่ม ขนมปังทั้ง 3 ชนิดนี้มีคะแนนความชอบทางด้านความนุ่มมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ไม่มีความแตกต่างในด้านความละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$)

4.3.4.3 ความชอบด้านความเหนียว ขนมปังทั้ง 3 ชนิดนี้มีคะแนนความชอบทางด้านความเหนียวมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ไม่มีความแตกต่างในด้านความละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$)

4.3.4.4 ความชอบด้านกลิ่นรส ขนมปังทั้ง 3 ชนิดนี้มีคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ไม่มีความแตกต่างในด้านความละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$)

4.3.4.5 ความชอบโดยรวม ขนมปังทั้ง 3 ชนิดนี้มีคะแนนความชอบโดยรวมของขนมปังแป้งข้าวญี่ปุ่นA 20%และแป้งข้าวญี่ปุ่นK 20% มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) คือ 6.44 ± 1.22 และ 6.37 ± 1.28 ตามลำดับ ส่วนขนมปังแป้งข้าวหอมเสวย 20% มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด รองลงมาคือขนมปังแป้งข้าวญี่ปุ่นA 20% และขนมปังแป้งข้าวญี่ปุ่นK 20% มีคะแนนความชอบโดยรวมน้อยที่สุดและมีความแตกต่างในด้านความชอบโดยรวมแตกต่างจากชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยเรื่องการศึกษาคุณสมบัติของโดและคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีมีลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน คือ ทำการทดลองปรับปรุงสูตรขนมปังพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับการทดแทนแป้งสาลีในสูตรและเพื่อหาปริมาณการทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในสูตรที่เหมาะสมที่สุด วิเคราะห์ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมีและเคมีฟิสิกส์ของวัตถุดิบ โดยวิเคราะห์หาค่าปริมาณความชื้น, โปรตีน, Alkali digestibility, Gelconsistency, ปริมาณ, Amylose และความหนืด ในส่วนของโดค่าแรงดึงยืด คุณสมบัติทางความร้อน จากนั้นศึกษาคุณภาพของขนมปัง และศึกษาผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมเสวยในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเทียบกับขนมปังที่แทนด้วยแป้งข้าวญี่ปุ่นในอัตราส่วนเดียวกัน ผลการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สูตรขนมปังพื้นฐานประกอบด้วย ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมีและเคมีฟิสิกส์ของแป้งพบว่า มี ค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 360.0 ± 14.1 B.U. ค่า Setback เท่ากับ 210.0 ± 35.4 B.U. ค่า Breakdown เท่ากับ 100.0± 14.1 B.U. และส่วนของโดพบว่าแรงดึงยืดและระยะยืดตัวของโดมีค่าเท่ากับ 61.29 ± 1.34 g และ -34.88 ± 1.99 mm. และผลการศึกษาคุณภาพของขนมปังพบว่ามีปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 5.20± 0.09 ml/g %Oven spring เท่ากับ 231.2± 8.9ความนุ่มเนื้อที่ 0 วัน เท่ากับ 429.7± 25.8 g และความนุ่มเนื้อที่ 5 วันเท่ากับ 1371.2 ±162.4 g

2. หาปริมาณการทดแทนแป้งข้าวหอมเสวยในสูตรที่เหมาะสม คือที่ 20% ประกอบด้วย พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมปังมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน และมีระดับปริมาณการทดแทนที่มากที่สุด ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมีและเคมีฟิสิกส์ของแป้งพบว่า มี %ความชื้นเท่ากับ 10.66 %โปรตีน (น้ำหนักแห้ง)เท่ากับ 6.95 %อะไมโลสเท่ากับ 18.93 ค่า Gel Consistency เท่ากับ 90.33 mm ค่า Alkali Digestibility ที่ 1.7% KOH เท่ากับ 6.85 ค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 375.0 ± 21.2 B.U. ค่า Setback เท่ากับ 200.0 ± 56.6 B.U. ค่า Breakdown เท่ากับ 77.5 ± 3.5 B.U. และส่วนของโดพบว่าแรงดึงยืดและระยะยืดตัวของโดมีค่าเท่ากับ 42.26 ± 3.06 g และ -28.61 ±1.04 mm. และผลการศึกษาคุณภาพของขนมปังพบว่ามีปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 4.50 ± 0.05 ml/g %Oven spring เท่ากับ 111.6±8.1 ความนุ่มเนื้อที่ 0 วัน เท่ากับ 416.7 ±17.3 g และความนุ่มเนื้อที่ 5 วันเท่ากับ 1854.5 ±130.0 g คุณสมบัติของขนมปังพบว่ามีลักษณะปรากฏที่ดี มีปริมาตรลดลง ความนุ่ม ความแน่นเนื้อและความเหนียว (แรงดึงยืด) เพิ่มมากขึ้น มีกลิ่นและรสของข้าวที่อยู่ในระดับที่ดี เป็นผลทำให้ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คนโดยให้คะแนนความชอบแบบ Hedonic Scale มีความยอมรับในผลิตภัณฑ์มากที่สุดเมื่อเทียบกับขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวญี่ปุ่น 2 พันธุ์ คือ Akitakomochi และ Koshihikariในอัตราส่วนเดียวกัน ที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสแบบ Hedonic Scale

ผลิตภัณฑ์ ขนมปังจืด

วันที่ ..... **ชุดที่ .....**

ข้อปฏิบัติในการทดลอง

1. **ชิมตัวอย่างตามลำดับ โดยอย่าวางตัวอย่างสลับกันในการชิมตัวอย่างแต่ละชุด**
2. **ทดสอบคุณลักษณะของตัวอย่างเปรียบเทียบกับทั้งหมด และพิจารณาว่าคุณลักษณะของตัวอย่างที่ต้องการ เมื่อชิมแล้วให้คะแนนอย่างไร**
3. **การพิจารณาคะแนนและการยอมรับ แบ่งคะแนนเป็น**

   1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

   4 = ไม่ชอบน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบน้อย

   7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด
4. **ในระหว่างการชิมรสแต่ละตัวอย่าง ใช้น้ำล้างปากเพื่อป้องกันการสับสนระหว่างตัวอย่าง**
5. **คุณลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ คือ เนื้อสัมผัส**

ตัวอย่าง			
ความละเอียดของเนื้อ	___	___	___
ความนุ่ม	___	___	___
ความเหนียว	___	___	___
กลิ่นรส	___	___	___
ความชอบโดยรวม	___	___	___

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

หมายเหตุ ถ้ามีผลิตภัณฑ์นี้จำหน่ายในท้องตลาดจะซื้อหรือไม่ซื้อ

___ซื้อ **___ไม่ซื้อ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของค่าแรงดึงยืดของโดจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	3547.355	886.839	82.177	0.00
Error	5	53.959	10.792		
Total	9	3601.314			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของค่าระยะทางของโดจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	98.771	24.693	17.196	.004
Error	5	7.180	1.436		
Total	9	105.951			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของค่าแรงต่อระยะทางของโดจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	1.691	.423	21.553	.002
Error	5	.098	.020		
Total	9	1.789			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของค่าแรงของโดจาก แป้งข้าวหอมเสวยกับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีในระดับที่ 20%

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	174.191	87.096	23.721	.015
Error	3	11.015	3.672		
Total	5	185.206			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของค่าระยะทางของโดจาก แป้งข้าวหอมเสวยกับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีในระดับที่ 20%

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	55.653	27.827	31.751	.010
Error	3	2.629	.876		
Total	5	58.282			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางกายภาพของค่าแรงต่อระยะทางของโด จากแป้งข้าวหอมเสวยกับแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีในระดับที่ 20%

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	.816	.408	54.382	.004
Error	3	.023	.008		
Total	5	.838			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของอุณหภูมิแป้งสุกของแป้งข้าวหอมเสวยที่ทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	72.600	18.150	-	-
Error	5	.000	.000		
Total	9	72.600			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดสูงสุด ของแป้งข้าวหอมเสวยที่ทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	739490.000	184872.500	1137.677 *	.000
Error	5	812.500	162.500		
Total	9	740302.5			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสสุดท้ายของแป้งข้าวหอมเสวยที่ทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	135740.000	33935.000	113.117 *	.000
Error	5	1500.000	300.000		
Total	9	137240.000			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ของแป้งข้าวหอมเสวยที่ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณแตกต่างกัน

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	317990.000	79497.500	86.176 *	.000
Error	5	4612.500	922.500		
Total	9	32260.500			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่า Breakdown ของแป้งข้าวหอมเสวยที่ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณแตกต่างกัน

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	250990.000	62747.501	557.756 *	.000
Error	5	562.500	112.500		
Total	9	251552.5			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่า Setback ของแป้งข้าวหอมเสวยที่ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณแตกต่างกัน

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	115135.000	28783.750	56.717 *	.000
Error	5	2537.500	507.500		
Total	9	117672.5			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่า Consistency ของแป้งข้าวหอมเสวยที่ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณแตกต่างกัน

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	150810.000	37702.500	73.926 *	.000
Error	5	2550.000	510.000		
Total	9	153360.000			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางผนวกที่ 14 ผลการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสทางด้านความละเอียดของขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวหอมเสวยและแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 20 %

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	2.960	1.480	1.081 ns	.341
Error	198	271.040	1.369		
Total	300	12815.000			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางผนวกที่ 15 ผลการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่นรสของขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวหอมเสวยและแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 20 %

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	7.280	3.640	2.656 ns	.073
Error	198	271.387	1.371		
Total	300	11243.000			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 16 ผลการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสทางด้านความนุ่มของขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวหอมเสวยและแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 20 %

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	2.180	1.090	0.800^{ns}	.451
Error	198	269.820	1.363		
Total	300	13555.000			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 17 ผลการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสทางด้านความเหนียวของขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวหอมเสวยและแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 20 %

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	1.167	0.583	0.557^{ns}	.574
Error	198	207.500	1.048		
Total	300	12632.000			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 18 ผลการประเมินคุณค่าทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบโดยรวมของขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวหอมเสวยและแป้งข้าวญี่ปุ่นทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 20 %

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	8.180	4.090	3.999*	.020
Error	198	202.487	1.023		
Total	300	13252.000			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่าปริมาตรของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	121430.05	30357.50	80.953	0.00
Error	15	5625.00	375.00		
Total	19	127055.00			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	2.403	.601	118.018	0.00
Error	15	.076	.005		
Total	19	2.479			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่า Oven spring ของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	46428.23	11607.059	117.223	0.00
Error	15	1485.258	99.017		
Total	19	47913.79			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่า Hardness (0 วัน) ของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	342368.9	85592.24	61.675	0.00
Error	35	48572.57	1387.788		
Total	39	390941.5			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่า Hardness (5 วัน) ของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	4	4329940	1082484.985	31.916	0.00
Error	35	1187085	33916.724		
Total	39	5517025			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่าปริมาตรของขนมปังจากการเปรียบเทียบของแป้งข้าวหอมเสวยกับแป้งข้าวญี่ปุ่นที่ระดับ 20%

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	2004.167	1002.083	3.317	0.83
Error	9	2718.750	302.083		
Total	11	4722.917			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปัง จากการเปรียบเทียบของแป้งข้าวหอมเสวยกับแป้งข้าวญี่ปุ่นที่ระดับ 20%

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	.026	.013	2.075	.182
Error	9	.056	.006		
Total	11	.082			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่า Oven spring ของขนมปังจากการเปรียบเทียบของแป้งข้าวหอมเสวยกับแป้งข้าวญี่ปุ่นที่ระดับ 20%

	df	SS	MS	F	Sig.
ชนิดของข้าว	2	93.830	46.917	.655	.542
Error	9	644.528	71.614		
Total	11	738.358			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางผนวกที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่า Hardness (0 วัน) ของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	2	40585.54	20292.768	71.703	0.00
Error	21	5943.223	283.011		
Total	23	46528.76			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการศึกษาสมบัติทางกายภาพของค่า Hardness (5 วัน) ของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลีในระดับต่างๆ

	df	SS	MS	F	Sig.
ระดับของแป้งข้าวหอมเสวยที่แทนแป้งสาลี	2	227873.5	113936.732	7.273	0.004
Error	21	328983.9	15665.899		
Total	23	556857.4			

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2539. เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น.พิมพ์ครั้งที่ 4 . กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปริศนา, เนื้อทอง, ธงชัย, วาณี และ วราภา. การพัฒนาคุณภาพและการรักษาขนมปังแป้งข้าว. 2544. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนวิจัย มก.ประจำปี 2544.คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันค้นคว้าพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา.2536. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส.พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วารุณี, ชมดาว, กล้าณรงค์, ฤดี, ศรีเวียง, วิลาวัณ และ เฟื่องฟ้า. ศึกษาการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดทอด (การผลิตปาท่องโก๋ขั้นขยายผลในทางการค้า). 2544.รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนวิจัย มก.ประจำปี 2544.คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันค้นคว้าพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. ข้าวสาลี. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Cagampang,G.B., Perez,C.B. and Juliano. 1973. A Gel Consistency Test for Eating Quality of Rice. J. *Sci.Food Agr.*24:1589-1594.

Dimler R.J. 1965. Exoliring the structure of proteins in wheat gluten.Baker's Digest. 39(5) : 35-38, 40-42.

Hung P.V. and Morita N. 2004. Dough properties and bread quality of flours supplemented with cross-linked cornstarches. *Food Research International* 37(5): 461-467

Juliano,B.O., Perez,C.M., Blakenny,A.B., Castillo,T., Kongseree,N., Laignelet,B., Lapis,E.T., Murty,V.V.S., Paule,C.M. and Webb,B.D. 1981 .International Cooperative Testing on the Amylose Content of milled Rice. Starch/Starke 33(5): 157-162.

Krull L.H. and G.E. Inglett. 1971. Industrial uses of gluten. *Cereal Science* 16 :232.

Morita N., Maeda T., Miyazaki M., Yamamori M., Miura H. and Ohtsuka I. 2002. Dough and baking properties of high-amylose and waxy wheat flours. *Cereal Chemistry* 79(4): 491-495.

Pomeranz Y. and Shellenberger J.A. 1971. Bread science and technology. The AVI Pubblishing Company. Inc., Westport. Connect.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pyler E.J. 1973. Baking science and technology. 2nd ed. Chicago : Siebel publishing Company.

Redfern S., Brachfeld B.A., and Maselli J.A. 1964. Continuous mix temperatures. *Cereal Science* 9 :190.

Shuey W.C. and Tipples K.H.1980. The Amylograph handbook. Minnesota : The American Association of Cereal Chemists. Lnc.

Trum G.W. 1964. The AMF continuous bread pilot plant. *Cereal Science* 9 :248.

Wall J.S., Friedman M., Krull L.H., Cavins J.F. and Backwith A. 1968. Chemical modification of wheat gluten proteins and related model systems. *J. Polymer Science* 24:147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้