

อิทธิพลของเมล็ดลินินและการแช่เย็นต่อน้ำสัมผัสของแป้งโด

และคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ

EFFECTS OF FLAXSEED AND REFRIGERATION ON TEXTURAL PROPERTIES
OF DOUGH AND QUALITIES OF HEALTHY BREAD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECTS OF FLAXSEED AND REFRIGERATION ON TEXTURAL
PROPERTIES OF DOUGH AND QUALITIES OF HEALTHY BREAD

Miss Nureen Songsiri

Miss Benyapa Hongchutchawal

Mr. Patompong Marutsathian

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อิทธิพลของเมล็ดลินินและการแช่เย็นต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโด
และคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ

EFFECTS OF FLAXSEED AND REFRIGERATION ON TEXTURAL PROPERTIES OF
DOUGH AND QUALITIES OF HEALTHY BREAD

นักศึกษาผู้ทำโครงการ

1. นางสาวนุรีน ทรงศิริ
2. นางสาวเบญญาภา หงส์ชัชวาล
3. นายปฐมพงศ์ มารุตเสถียร

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	อิทธิพลของเมล็ดลินินและการแช่เย็นต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโดและคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ	
นักศึกษา	นางสาวนุรีน	ทรงศิริ
	นางสาวเบญญาภา	หงส์ชัชวาล
	นายปฐมพงศ์	มารุตเสถียร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.เอกสิทธิ์	ศรีธรรม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2556	

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเมล็ดลินิน (Flaxseed) ต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโดและคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ รวมทั้งผลของการแช่เย็นแป้งโดที่อุณหภูมิ 4°C ต่อคุณภาพของขนมปัง ส่วนผสมของขนมปังสูตรควบคุมประกอบด้วย แป้ง 400 g เนยจืด 40 g ยีสต์ 7 g เกลือ 5 g น้ำตาล 13 g และน้ำ 260 g ผสมกับถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วดำ ชนิดละ 10 g ขนมปังอีก 3 สูตรเตรียมโดยใช้ส่วนผสมพื้นฐานเช่นเดียวกับสูตรควบคุมและผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10% 20% และ 30% ของน้ำหนักแป้ง จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแป้งโดโดยเทคนิค Texture Profile Analysis (TPA) พบว่าการผสมเมล็ดลินินไม่มีผลกับค่าความเหนียว (Adhesiveness) แต่มีผลให้แป้งโดมีค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าความเกาะติด (Cohesiveness) ลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 20% ขึ้นไป และจากการวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังพบว่าการผสมเมล็ดลินินมีผลให้ขนมปังมีค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) สูงขึ้น แต่ค่าความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ และความชื้นของขนมปังลดลง โดยที่ความแตกต่างของปริมาณเมล็ดลินินในช่วงที่ทำการศึกษามีผลให้ความแน่นเนื้อของขนมปังต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ และความชื้นของขนมปังมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณมากขึ้น การแช่เย็นแป้งโดที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา

7 วันก่อนอบมีผลให้ความแน่นเนื้อของขนมปังสูงขึ้น แต่ความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ และความชื้นของขนมปังลดลง นอกจากนี้ผลการทดลองการเก็บรักษาขนมปังที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 10 วัน ยังชี้ให้เห็นว่าการผสมเมล็ดลินินสามารถชะลออัตราการ staling ของขนมปังลงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
||
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title EFFECTS OF FLAXSEED AND REFRIGERATION ON TEXTURAL
PROPERTIES OF DOUGH AND QUALITIES OF HEALTHY BREAD

Students Miss Nureen Songsiri
Miss Benyapa Hongchutchawal
Mr. Patompong Marutsathian

Project Advisor Dr.Eakasit Sritham

Degree Bachelor of Engineering

Program Food Engineering

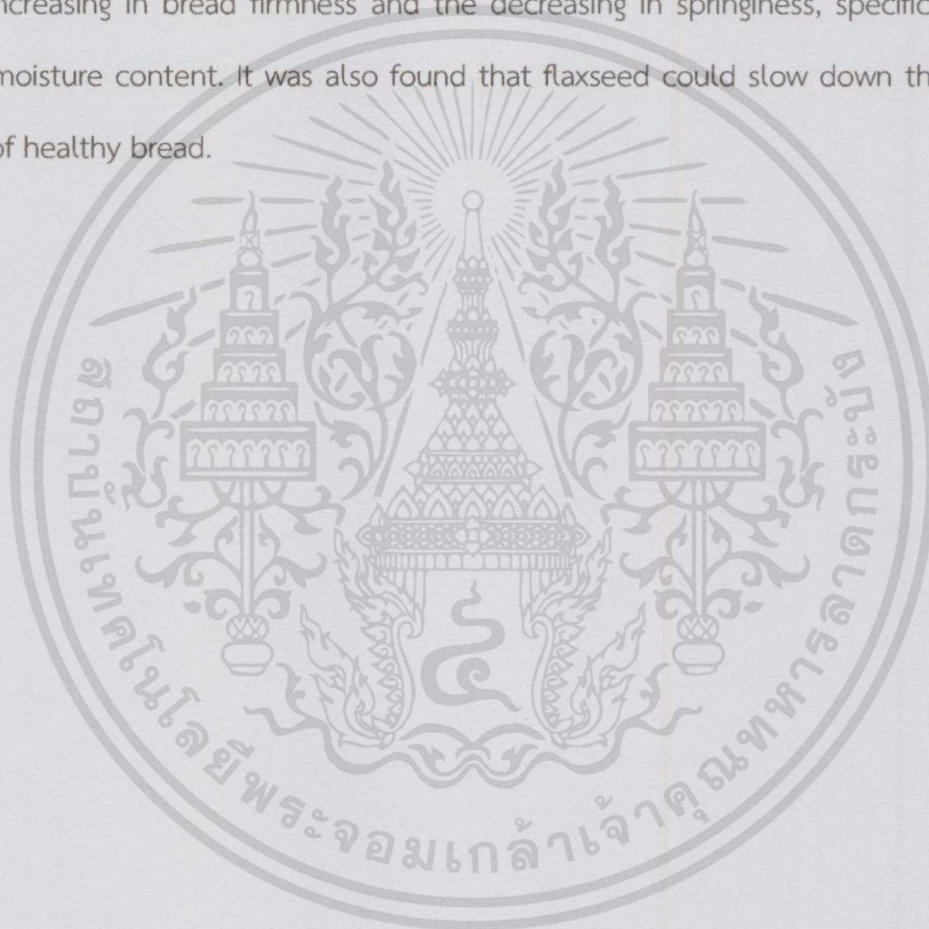
Academic year 2013

ABSTRACT

This project was aimed to study the effects of flaxseed on textural properties of dough and qualities of healthy bread as well as the effects of refrigeration at 4°C on qualities of healthy bread. The controlled treatment of bread samples consisted of flour (400 g), margarine (40 g), yeast (7 g), salt (5 g), sugar (13 g), water (260 g) and mung bean, red bean and black bean (10 g each). The other three treatments were basically prepared with the same formulation as the controlled treatment and mixed with different concentrations of flaxseed (10%, 20%, and 30%wt of flour). From the analysis of dough using the Texture Profile Analysis (TPA) technique, it was found that the inclusion of flaxseed did not affect the adhesiveness of dough. However, flaxseed resulted in the increase of hardness and the decrease of springiness and cohesiveness were decreased. Such changes were clearly observed when the amount of flaxseed was 20% or higher. Results from the analysis of bread qualities

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

indicated that the firmness of samples was increased but the springiness, specific volume and moisture content were decreased upon the addition of flaxseed. However, the difference of flaxseed content within the range of this study did not result in any significant change of bread firmness. The springiness, specific volume and moisture content tended to decrease with the increasing concentration of flaxseed. The process of refrigeration of dough at 4°C for 7 days before baking caused the increasing in bread firmness and the decreasing in springiness, specific volume and moisture content. It was also found that flaxseed could slow down the staling rate of healthy bread.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เอกสิทธิ์ ศิริธรรม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง การเรียบเรียงเนื้อหา และตรวจแก้ไขรายงาน ตลอดจนเื้อื่อสถานที่ในการจัดทำงานวิจัย รวมทั้งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมาจนรายงานฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นวกัทยา หนูนาค และ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ ที่เื้อื่อเพื่อเตาอบไฟฟ้า และคำแนะนำสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ นักวิทยาศาสตร์ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และคอยจัดเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยตลอดมา

ตลอดระยะเวลาในการจัดทำโครงการวิจัยเล่มนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ความรัก ความเมตตา ความหวังเื้อื่อ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษารวมสถาบันและตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุมัติโครงการและสนับสนุนการดำเนินงานจนสำเร็จและได้ผลงานตามความต้องการ จนกระทั่งสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูป	XI
รายการสัญลักษณ์	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สมมติฐาน	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 คุณค่าของธัญพืชประเภทถั่ว	5
2.2 คุณค่าของเมล็ดลินิน	8
2.3 แป้งโด	9
2.3.1 การเกิดแป้งโดและสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด	9
2.3.2 คุณลักษณะทางเคมีของแป้งโด	11
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด	12
2.4 ขนมปัง	13
2.4.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของขนมปัง	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1.1 แป้งสาลี	14
2.4.1.2 น้ำ	15
2.4.1.3 ยีสต์	15
2.4.1.4 ไขมัน	16
2.4.1.5 น้ำตาล	16
2.4.2 กระบวนการผลิตขนมปัง	16
2.4.2.1 การผสมแป้งโด	16
2.4.2.2 การหมักแป้งโด	17
2.4.2.3 การพักตัวของแป้งโดในแม่พิมพ์ก่อนการอบ	18
2.4.2.4 การอบ	18
2.4.3 ลักษณะของขนมปังที่มีคุณภาพ	19
2.4.3.1 ลักษณะภายนอก	19
2.4.3.2 ลักษณะภายใน	19
2.5 การเสื่อมเสียของขนมปัง	20
2.5.1 การเสื่อมเสียที่เกิดจากเชื้อรา	20
2.5.2 การสูญเสียความชื้น	20
2.6 ความไม่สดของขนมปัง (Bread Staling)	21
2.6.1 ลักษณะของขนมปังที่เกิดการ staling	21
2.6.2 การทดสอบการ staling ในขนมปัง	22
2.6.3 กลไกการ staling ในขนมปัง	23
2.6.4 การป้องกันการ staling ในขนมปัง	24
2.6.4.1 การเลือกกระบวนการผลิตและสูตรที่เหมาะสม	24
2.6.4.2 การควบคุมสภาวะในการเก็บรักษา	26

สารบัญ (ต่อ)

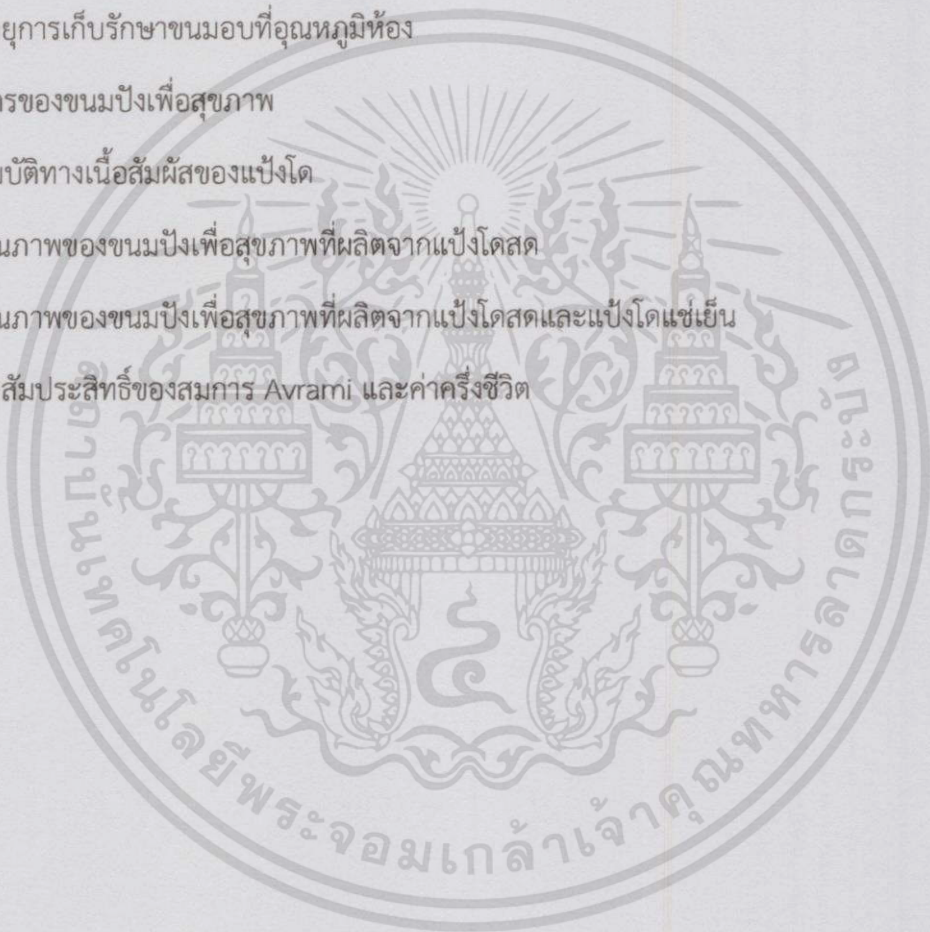
	หน้า
2.6.4.3 การเติมส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อชะลอการเกิด staling และยืดอายุในการเก็บรักษา	28
2.7 เนื้อสัมผัสของอาหารและการวิเคราะห์	31
2.7.1 เนื้อสัมผัส (Texture)	31
2.7.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	31
2.7.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser)	31
2.7.3.1 การทดสอบแรงกด (Compression Test)	32
2.7.3.2 การทดสอบแบบ Texture Profile Analysis (TPA)	33
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	35
3.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่าง	35
3.1.1 วัตถุประสงค์	35
3.1.2 อุปกรณ์	35
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	36
3.3 การทดสอบสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด	38
3.3.1 เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)	38
3.4 การทดสอบคุณภาพของขนมปัง	38
3.4.1 เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)	38
3.4.2 การทดสอบแรงกด (Compression Test)	38
3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง	38
3.4.4 การวิเคราะห์ความชื้นของขนมปัง	38
3.5 การศึกษาคุณภาพด้านความไม่สดของขนมปัง (Staling)	39
3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	41
4.1 อิทธิพลของเมล็ดลินินต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโด	41
4.2 อิทธิพลของเมล็ดลินินต่อคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพที่ผลิตจากแป้งโดสด	47
4.3 อิทธิพลของการแช่เย็นแป้งโดต่อคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ	54
4.4 อิทธิพลของเมล็ดลินินต่ออัตราการ staling ของขนมปังเพื่อสุขภาพ	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุปผลการทดลอง	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก	
วิธีการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแป้งโด และคุณภาพของขนมปัง	73
ภาคผนวก ข	
อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปังเพื่อสุขภาพ	81
ภาคผนวก ค	
ลักษณะของขนมปังเพื่อสุขภาพ	83
ภาคผนวก ง	
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สารอาหารในธัญพืช	3
2.1 พันธะทางเคมีที่สำคัญในแป้งโด	11
2.2 องค์ประกอบของแป้งสาลี	14
2.3 อัตราส่วน CO_2/N_2 ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบ	27
2.4 อายุการเก็บรักษาขนมอบที่อุณหภูมิห้อง	28
3.1 สูตรของขนมปังเพื่อสุขภาพ	36
4.1 สมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด	47
4.2 คุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพที่ผลิตจากแป้งโดสด	54
4.3 คุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น	60
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ Avrami และค่าครึ่งชีวิต	61



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ถั่วเขียว	5
2.2 ถั่วแดง	6
2.3 ถั่วดำ	7
2.4 เมล็ดลีนิน	8
2.5 แป้งโด	9
2.6 ลักษณะการเกิดพันธะของกลูเตน	10
2.7 ขนมปัง	13
2.8 เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	32
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลา จากการทดสอบโดยเทคนิค Texture Profile Analysis	33
3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างขนมปังเพื่อสุขภาพ	37
4.1 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Hardness ของแป้งโด	43
4.2 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Adhesiveness ของแป้งโด	44
4.3 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Springiness ของแป้งโด	45
4.4 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Cohesiveness ของแป้งโด	46
4.5 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Firmness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ	50
4.6 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Springiness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ	51
4.7 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพื่อสุขภาพ	52
4.8 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่าความชื้นของขนมปังเพื่อสุขภาพ	53
4.9 ผลของการแช่เย็นแป้งโดต่อค่า Firmness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ	56
4.10 ผลของการแช่เย็นแป้งโดต่อค่า Springiness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ	57
4.11 ผลของการแช่เย็นแป้งโดต่อค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพื่อสุขภาพ	58
4.12 ผลของการแช่เย็นแป้งโดต่อค่าความชื้นของขนมปังเพื่อสุขภาพ	59

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.13 ผลของเมตัสติลินต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ

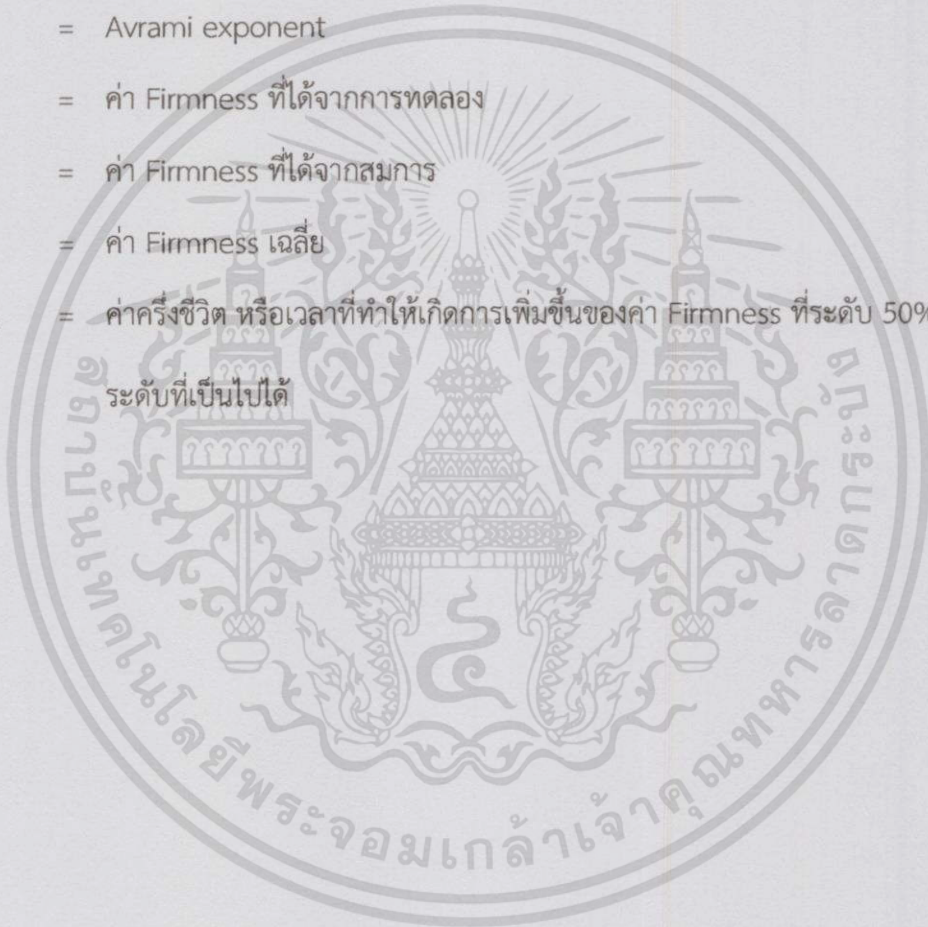
ในระหว่างการเก็บรักษา

62



รายการสัญลักษณ์

- F_{∞} = ค่า Firmness สุดท้ายเมื่อไม่มีกระบวนการตกผลึกของโมเลกุลแบ่งต่อไปอีก
- F_0 = ค่า Firmness เริ่มต้นของขนมปัง
- F_t = ค่า Firmness ที่เวลาใด ๆ
- k = ค่าคงที่ของปฏิกิริยา หรือ อัตราการ staling
- n = Avrami exponent
- y_i = ค่า Firmness ที่ได้จากการทดลอง
- y = ค่า Firmness ที่ได้จากการสมการ
- \bar{y} = ค่า Firmness เฉลี่ย
- $t_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิต หรือเวลาที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า Firmness ที่ระดับ 50% ของระดับที่เป็นไปได้



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคของการแข่งขันดังเช่นปัจจุบัน ผู้บริโภคมีพฤติกรรมเปลี่ยนไปตามภาวะสังคมที่เร่งรีบ ทำให้ไม่ค่อยมีเวลาให้ความสำคัญกับเรื่องความสมดุลของอาหาร เป็นผลให้บริโภคอาหารไม่ครบ 5 หมู่ อีกทั้งค่านิยมการบริโภคอาหารแบบตะวันตก ที่เน้นหนักทางด้านเนื้อสัตว์ ไขมัน นม เนย ทำให้คนไทยมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคอัมพาต ในอัตราที่สูงขึ้น โรคเหล่านี้ล้วนเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของหลอดเลือด ปัจจุบันผู้คนเริ่มตระหนักถึงภัยของการบริโภคอาหารที่ไม่สมดุล มีการรณรงค์ให้ลดการบริโภคเนื้อสัตว์ นม เนย และเพิ่มการบริโภคพืช ผัก และธัญพืช ซึ่งอุดมด้วยเส้นใยจากธรรมชาติ และวิตามิน เพื่อการมีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรง สมบูรณ์ (นิรนาม1, 2556) เมื่อผู้คนตระหนักถึงความสำคัญของอาหาร ผู้ผลิตจึงได้คิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และสะดวกต่อการบริโภคออกมาจำหน่าย สิ่งที่ได้จากตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่เติบโตขึ้นมากกว่า 5% ในทุกปี (พรศรี, 2556)

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ขนมปัง ได้รับการปรับปรุงส่วนผสมหลากหลายรูปแบบ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เช่น ขนมปังโฮลวีท (Whole wheat bread) หรือขนมปังโฮลเกรน (Whole grains bread) มีการเพิ่มธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสี ซึ่งอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร วิตามิน เกลือแร่ และสารแอนติออกซิแดนท์ต่าง ๆ ซึ่งเชื่อว่าจะสามารถช่วยต่อต้านโรคร้ายได้ (นิรนาม2, 2556)

เมล็ดลินิน (Flaxseed) เป็นธัญพืชที่อุดมไปด้วยเส้นใยอาหารทั้งที่สามารถละลายน้ำได้และไม่ได้ รวมทั้งยังเต็มไปด้วยโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ มากมาย โดยคุณค่าและสารอาหารต่าง ๆ ของเมล็ดลินิน แสดงไว้ในตารางที่ 1.1 มีรายงานว่าเมล็ดลินินสามารถป้องกันและต่อต้านมะเร็ง โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคลำไส้อักเสบใหญ่ โรคท้องผูก และยังช่วยปรับระดับฮอร์โมนในร่างกายได้ (Ebad, 2006) ด้วยคุณค่าทางโภชนาการเหล่านี้ เมล็ดลินินจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการเพิ่มคุณค่าทางด้านเส้นใยอาหารให้กับขนมปัง นอกจากนี้พืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่ว

แดง ถั่วดำ ซึ่งมีอยู่เป็นปริมาณมากในประเทศไทยก็นับว่ามีความน่าสนใจในการเพิ่มสารอาหาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านอื่น ๆ (ตารางที่ 1.1) ให้แก่ผลิตภัณฑ์ขนมปัง ซึ่งถือเป็นการแปรรูปธัญพืชให้อยู่ในรูปที่สะดวกต่อการบริโภคอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงส่วนผสมของขนมปัง อาจมีผลต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโด (Dough) เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคภายในเปลี่ยนไป (Saha *et al.*, 2010) ซึ่งย่อมมีผลโดยตรงกับการออกแบบกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปัง นอกจากนี้การปรับปรุงส่วนผสมยังอาจมีผลต่ออัตราการเกิดความไม่สด (staling) ของขนมปังอีกด้วย เนื่องจากสัดส่วนของแป้งที่เปลี่ยนไป (ปริยาพร, 2546) การ staling มีสาเหตุหลักมาจากปรากฏการณ์การคืนตัวของแป้งสูง (Retrogradation) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำสตาร์ช (Starch) ที่ผ่านการเจลาติไนซ์ (Gelatinization) มาแล้ว ปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของอะไมโลส (Amylose) และอะไมโลแพคติน (Amylopectin) ซึ่งเคยรวมตัวกับน้ำแล้วเกิดเป็นเจล จะเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน จากนั้นโมเลกุลน้ำตาล กลูโคสในสายจะมาเชื่อมต่อกันเองใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนและขั้วน้ำที่เคยจับอยู่ออกจากโมเลกุล เนื่องจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลักของขนมปัง (Zoble and Kulp, 1996) ทำให้ขนมปังมีการสูญเสียความชื้น กลิ่นหอม รสชาติ และเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นการเข้าใจถึงอิทธิพลของส่วนผสมต่าง ๆ ในขนมปัง ระหว่างกระบวนการผลิต ย่อมทำให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้นและเป็นระบบ

ในทางอุตสาหกรรมมีการผลิตขนมปังเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการคิดค้นกระบวนการผลิตใหม่ ๆ เพื่อช่วยลดระยะเวลา รวมทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย หนึ่งในนั้น คือ การขึ้นรูปแป้งโดและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ก่อนนำมาอบเป็นขนมปัง ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการหมักแป้งโดลงได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวนี้มีผลให้คุณภาพของขนมปังหลังการอบเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่ก็ยังอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

1.2 สมมติฐาน

1. การผสมเมล็ดลินินในขนมปัง จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสของแป้งโด และคุณภาพของขนมปัง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคและการสร้างพันธะในเนื้อแป้งโดและขนมปังและแตกต่างไปจากเดิม

2. การผสมเมล็ดลิ้นในขนมปัง อาจช่วยชะลออัตราการ staling ของขนมปัง เพราะกากใยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในเมล็ดลิ้น จะเป็นอุปสรรคต่อการตกผลึก (Recrystallization) ของโมเลกุลแป้ง
3. การแช่เย็นแป้งโด จะทำให้คุณภาพของขนมปังลดลง เมื่อเทียบกับขนมปังที่ทำมาจากแป้งโดสด ในแง่ของเนื้อสัมผัสของขนมปังและการสูญเสียความชื้น

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของเมล็ดลิ้นต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโดและคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ
2. เพื่อศึกษาผลของเมล็ดลิ้นต่อคุณภาพในด้านความไม่สด (staling) ของขนมปังเพื่อสุขภาพ
3. เพื่อศึกษาผลของการแช่เย็นแป้งโดต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 1.1 สารอาหารในธัญพืช (100 g)

สารอาหาร	ถั่วเขียว	ถั่วแดง	ถั่วดำ	เมล็ดลิ้น
โปรตีน (g)	23.86	24.37	21.6	18.29
ไขมัน (g)	1.15	0.25	1.42	42.16
คาร์โบไฮเดรต (g)	62.62	59.8	62.36	28.88
เส้นใยอาหาร (g)	16.3	24.9	15.5	27.3
แคลเซียม (mg)	132	195	123	255
โซเดียม (mg)	15	11	5	30
คลอเรสเตอรอล (mg)	0	0	0	0
พลังงาน (kcal)	300	330	341	534

ที่มา: <http://ndb.nal.usda.gov> (2556)

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาอิทธิพลของเมล็ดลินินต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโด และคุณภาพของขนมปัง โดยใช้เมล็ดลินินในปริมาณ 10% 20% และ 30%wt ของปริมาณแป้ง
2. ศึกษาเนื้อสัมผัสของแป้งโดและคุณภาพของขนมปัง ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยเทคนิค Texture Profile Analysis (TPA) และการทดสอบแรงกด (Compression Test)
3. ศึกษาผลของการแช่เย็นแป้งโดที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 7 วัน ต่อคุณภาพของขนมปัง
4. ศึกษาการ staling ในขนมปัง โดยเก็บรักษาขนมปังแผ่นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 10 วัน และวัดอัตราการ staling จากการเปลี่ยนแปลงของค่า Firmness

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถอธิบายอิทธิพลของเมล็ดลินินต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโด และคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพได้
2. สามารถอธิบายอิทธิพลของเมล็ดลินินต่อคุณภาพในด้านความไม่สด (staling) และเปรียบเทียบอัตราการ staling ของขนมปังได้
3. สามารถอธิบายอิทธิพลของการแช่เย็นแป้งโดต่อคุณภาพของขนมปังได้

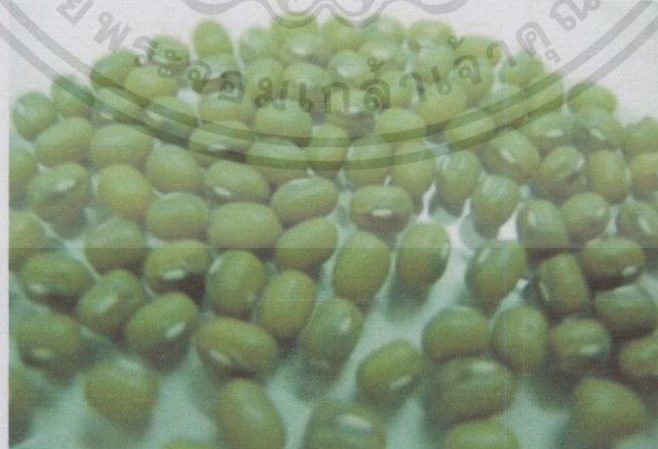
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธัญพืช (Cereal grains) จัดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมจากประชากรทั่วโลก การบริโภค เมล็ดธัญพืชจะแตกต่างกันไปตามภูมิภาค เมล็ดธัญพืชบางชนิดมีเปลือกแข็งจึงต้องผ่านการสีหรือการแปรรูปก่อนนำมาบริโภค บางชนิดสามารถรับประทานได้โดยไม่ต้องผ่านการแปรรูป ชดสี หรือผ่านการขัดสีที่น้อยมาก เช่น ถั่วเมล็ดแห้งซึ่งมีโปรตีนสูง อาทิเช่น ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดงและธัญพืชที่มีกากใยสูง เช่น เมล็ดลินิน เป็นต้น การที่ธัญพืชเหล่านี้ผ่านการขัดสีที่น้อยมากทำให้อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ จึงเหมาะแก่การนำมาบริโภคทั้งโดยตรงหรือเพิ่มคุณค่าให้แก่อาหารประเภทอื่น

2.1 คุณค่าของธัญพืชประเภทถั่ว

ถั่วเขียว (Mung bean) เป็นพืชล้มลุกในตระกูลถั่ว *Leguminosae* ถือเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยเนื่องจากมีอายุสั้น จึงนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายทุกภูมิภาค โดยปลูกหมุนเวียนสลับกับการปลูกพืชไร่อื่น ๆ ส่วนที่นำมาบริโภคคือใบเลี้ยง (Cotyledons) สีเปลือกนอกส่วนใหญ่เป็นสีเขียว ดังรูปที่ 2.1

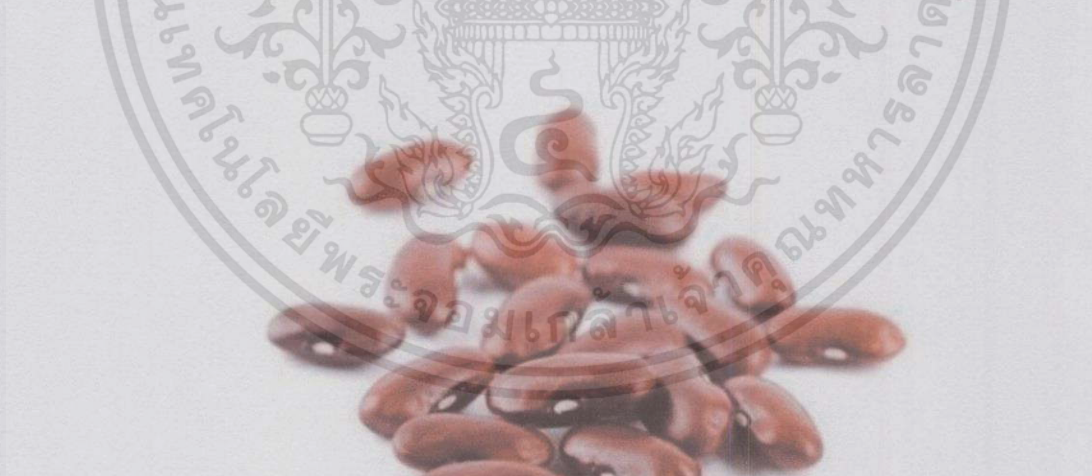


รูปที่ 2.1 ถั่วเขียว (นิรนาม3, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเขียวมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ แป้ง 62.7% โปรตีน 21.7% ความชื้น 10.2% เส้นใย 3.5-4.5% และไขมัน 1.5% นอกจากนี้ยังมี วิตามินบี 1 (Thiamine) วิตามินบี 2 (Riboflavin) วิตามินบี 3 (Niacin) และวิตามินซี (Ascorbic acid) คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเขียวแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 นอกจากนี้ถั่วเขียวยังมีสรรพคุณทางยา คือ ช่วยบำรุงตับ บำรุงสายตา ถอนพิษ ขับของเหลวในร่างกาย ช่วยกระตุ้นระบบประสาทและช่วยลดความดันโลหิต นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยว่าวันเส้นที่ทำจากถั่วเขียวให้ค่าการตอบสนองต่อน้ำตาลในเลือด (Glycemic index) ต่ำ เมื่อเทียบกับอาหารคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า จึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานมากกว่าอาหารจำพวกแป้ง (Starch) เพราะแป้งจะมีผลต่อระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือด โดยคาร์โบไฮเดรตที่บริโภคเข้าไปจะถูกเปลี่ยนเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่ร่างกายมีการสะสมของไกลโคเจนเพียงพอ ซึ่งระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดมีความสัมพันธ์กับโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด (นิรนาม3, 2556)

ถั่วแดง (Red bean) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีปมสำหรับช่วยในการดึงไนโตรเจนจากอากาศมาใช้เป็นอาหาร นิยมปลูกตามพื้นที่สูงทางภาคเหนือซึ่งมีอากาศค่อนข้างเย็น เช่น จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย เป็นต้น ถั่วแดงเป็นพืชที่มีโปรตีนและคุณค่าทางอาหารสูง



รูปที่ 2.2 ถั่วแดง (นาค, 2556)

องค์ประกอบที่สำคัญของถั่วแดง คือ แป้ง 58.16%, โปรตีน 21.97%, เส้นใย 5.40% และไขมัน 0.58% คุณค่าทางโภชนาการแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 ถั่วแดงสามารถใช้เป็นอาหารลดความอ้วน และอาหารสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานได้ดี อีกทั้งยังให้ประโยชน์อีกหลายอย่าง คือ บำรุงประสาท บำบัดอาการเหน็บชา ใจสั่น ปวดประจำเดือนผิดปกติ ช่วยขับปัสสาวะ บรรเทาอาการปวดบวม ปรับสภาพเลือดและทำให้หัวใจทำงานได้ดีขึ้น โดยทั่วไป มักจะรับประทานเป็นของหวาน เช่น ถั่วแดงต้มน้ำตาล ขนมปังเนื้อถั่วแดง หรือไอศกรีมถั่วแดง เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำมาประกอบอาหารคาว เช่น หมูอบถั่วแดง แกงถั่วโอสถและซุปรถั่วแดง เป็นต้น (นาค, 2556)

ถั่วดำ (Black bean) จัดเป็นพืชล้มลุก เปลือกหุ้มเมล็ดเป็นสีดำ ดังรูปที่ 2.3 มีสารพวแกนนโทไซยานิน ไข่แดงสีขม โดยต้มเคี่ยวกับน้ำหรือบดผสมกับแป้ง ซึ่งนับเป็นตัวล้างพิษชั้นดี ถั่วดำสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด เช่น น้ำถั่วดำ ข้าวเหนียวถั่วดำและโดรายากิ เป็นต้น โดยคุณค่าทางโภชนาการของถั่วดำแสดงได้ไว้ในตารางที่ 1.1 ในทางสมุนไพรถั่วดำมีรสหวาน ช่วยบำรุงเลือด ขับของเหลวในร่างกาย ขับลม ขจัดพิษ บำรุงไต ขับเหงื่อ แก้อ่อนในและบำรุงสายตา เหมาะสำหรับผู้ที่มีการบวมหน้า เหน็บชา ตีข่าน ไตเสื่อม ปวดเอว อีกทั้งถั่วดำยังมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคลโรทีน โนอะซิน วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และสารที่ช่วยบรรเทาอาการปวดลำไส้เล็ก จากงานวิจัยพบว่าผู้ที่บริโภคถั่วดำ 3 ถ้วยต่อวัน มีโอกาสเป็นโรคหัวใจน้อยกว่าผู้ที่ไม่บริโภค (นิรนาม 4, 2556)



รูปที่ 2.3 ถั่วดำ (นิรนาม4, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณค่าของเมล็ดลิ้น

เมล็ดลิ้นมีลักษณะคล้ายงา แต่ผิวนอกเป็นสีน้ำตาลและมีลักษณะมันเงา ดังรูปที่ 2.4 ประกอบด้วยวิตามิน A B B2 C D และ E รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ มากมาย ในเมล็ดลิ้นมีน้ำมันมากถึง 35 - 45% และมีโปรตีนเกือบครบทุกชนิดที่ร่างกายต้องการ สารลิแกนจะช่วยต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านเชื้อรา ต้านไวรัสและยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดลิ้นแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 มหาวิทยาลัยดุก (Duke University) พบว่าเมล็ดลิ้นให้ผลดีสำหรับการดูแลผู้ป่วยมะเร็งเต้านมและมะเร็งต่อมลูกหมาก (Breast and prostate cancers) โดยแนะนำว่าเมล็ดลิ้นมีผลในการหยุดยั้งการเติบโตของมะเร็งต่อมลูกหมาก ลดความรุนแรงของเบาหวาน ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดคงที่ นอกจากนี้ยังมีผลงานวิจัยซึ่งพบว่าเมล็ดลิ้นสามารถเป็นยาระบายท้องผูก (Constipation) หรือลดอาการโรคที่เกี่ยวข้องกับลำไส้ เช่น โรคโครห์นส์ (Crohn's disease) โรคถุงผนังลำไส้ใหญ่อักเสบ (Diverticulitis) เป็นต้น ไฟเบอร์ในเมล็ดลิ้นเป็นตัวช่วยทำให้ขับของเสียออกเร็ว ไม่มีการหมักหมม จนเป็นพิษที่อาจกลายเป็นจุดเริ่มต้นของการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ (Ebadi, 2556)



รูปที่ 2.4 เมล็ดลิ้น (ประกอบ, 2556)

เมล็ดลินินสามารถนำมาสกัดน้ำมัน เช่น โอเมก้า 3 โอเมก้า 6 ซึ่งจำเป็นต่อร่างกาย แต่ร่างกายไม่สามารถผลิตเองได้ โอเมก้าทั้งสองตัวนี้มีส่วนช่วยให้ฮอร์โมนโพรสตาแกลนดิน (Prostaglandins) และเอโคซานอยด์ (Eicosanoids) ไปเลี้ยงสมอง ระบบประสาท ผิวหนังและระบบสืบพันธุ์ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยป้องกันเลือดชั้นและจับกันเป็นก้อน นั่นคือช่วยควบคุมความดันในเลือด ในแถบยุโรปเมล็ดลินินถือเป็นอาหารที่ใช้ในการบำรุงกำลัง มีการนำเมล็ดลินินมาใช้เป็นส่วนผสมของขนมปัง ซึ่งน้ำมันในเมล็ดลินินจะทำให้ขนมปังมีความชุ่มฉ่ำและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น (Ebadi, 2556)

2.3 แป้งโด

แป้งโด คือส่วนผสมของแป้งสาลีกับน้ำซึ่งถูกนวดให้เข้ากัน มีลักษณะ เหนียว นุ่ม ยืดหยุ่น สามารถดึงเป็นแผ่นบางได้โดยไม่ขาดง่าย (รูปที่ 2.5) อาจมีการผสมไขมัน เช่น เนยขาว (Shortening), เนย (Butter) หรือ เนยเทียม (Margarine)

2.3.1 การเกิดแป้งโดและสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด

เมื่อทำการผสมแป้งสาลีกับน้ำจะทำให้อนุภาคสตาร์ช (Starch granule) ขัดสีกันเองจนแตกออกเป็นอนุภาคที่เล็กลง น้ำสามารถแพร่เข้าไปในอนุภาคแป้งได้อย่างช้า ๆ จับกับโปรตีนและสตาร์ช ทำให้โปรตีนหลัก คือ กลูเตนินและไกลอะดีน เกิดโครงสร้างกลูเตนขึ้นโดยมีอนุภาคของสตาร์ชเกาะอยู่ตามร่างแหของกลูเตน เกิดลักษณะที่ยืดหยุ่น (Viscoelasticity) และสามารถยืดออกเป็นแผ่นได้



รูปที่ 2.5 แป้งโด (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงการอาหาร แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะของโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลี มีผลต่อการดูดซับน้ำของโมเลกุลแป้ง การเกิดเจลและความหนืด (สวริทซ์, 2551)

2.3.2 คุณลักษณะทางเคมีของแป้งโด

กลูเตนเกิดจากการรวมตัวของไกลอะดินและกลูเตนินในปริมาณใกล้เคียงกัน ลักษณะของพันธะต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พันธะทางเคมีที่สำคัญในแป้งโด

ชนิดของพันธะ	ลักษณะการเกิด	พลังงาน (kcal/mol)
โควาเลนต์	พันธะระหว่างอะตอมด้วยคู่อิเล็กตรอน	30-100
ไอออนิก	พันธะระหว่างประจุตรงข้าม	10-100
ไฮโดรเจน	พันธะในลักษณะอิเล็กโตรเนกาทิฟของอะตอมระหว่างไฮโดรเจน (กับออกซิเจน)	2-5
แวนเดอร์วาลส์	พันธะที่เกิดระหว่างกลุ่มที่ไม่มีประจุ	มากกว่า 0.5

ที่มา: Pyle, 1973

พันธะโควาเลนต์ในโครงสร้างกลูเตน คือพันธะเพปไทด์ซึ่งเชื่อมระหว่างกรดอะมิโนทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลด้วยการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างสองอะตอมทำให้มีพลังงานสูง พันธะระหว่างซัลเฟอร์ เรียกว่าไดซัลไฟด์ (Disulfide linkage) ของกรดอะมิโนซิสทีน (Cystine) ซึ่งมีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นของกลูเตนเป็นอย่างมาก พันธะไอออนิกหรือพันธะเกลือ เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างกลุ่มที่มีประจุตรงข้ามกัน มีจำนวนน้อยในโครงสร้างกลูเตน ส่วนพันธะไฮโดรเจนเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างไฮโดรเจนของโปรตีนกับอะตอมของไนโตรเจนหรือออกซิเจน สำหรับพันธะแวนเดอร์วาลส์ เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุกับกรดไขมันหรือระหว่างสตาร์ชกับกลีเซอไรด์ พันธะนี้มีพลังงานต่ำที่สุดแต่มีผลต่อลักษณะของกลูเตน โดยก่อให้เกิดลักษณะการไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic bonds) ระหว่างกลุ่มของโปรตีนที่ไม่มีประจุ (Nonpolar groups)

แม้ว่าพันธะไฮโดรเจนจะมีแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำแต่ก็มีเป็นจำนวนมากถึง 42% จึงมีความสำคัญต่อลักษณะของโครงสร้างกลูเตนมากกว่าพันธะอื่น ๆ มักเกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนกลูตามิกในรูปกลูตามีน ส่วนกรดอะมิโนโปรลีนซึ่งมีประมาณ 14% จะทำให้เกิดการหักหรือเป็นเกลียวของพอลิเพปไทด์ พันธะที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุมีอยู่จำนวน 7% ส่วนพันธะที่เกิดระหว่างประจุบวกหรือประจุลบจะมีจำนวนน้อย พันธะที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อโครงสร้างของกลูเตนคือพันธะไดซัลไฟด์เนื่องจากอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งโดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี วิธีทางกายภาพคือการผสม การนวดจนเกิดแป้งโดทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพันธะ (Brownian motion) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เป็นผลให้โครงสร้างกลูเตนมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนวิธีทางเคมี คือการเติมสารเคมีที่มีผลทำให้ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นหรือลดลง สารประกอบออกซิไดซ์ เช่น สารที่มีโอโอดีตและโบรเมตเป็นองค์ประกอบจะทำให้พันธะไดซัลไฟด์ในกลูเตนเพิ่มขึ้น

โมเลกุลไกลอะดินและกลูเตนินมีพันธะไดซัลไฟด์ทั้งคู่ แต่พันธะของไกลอะดินจะเป็นในลักษณะของการเชื่อมภายในโมเลกุล (Intramolecular bonding) ส่วนกลูเตนินเป็นการเชื่อมระหว่างโมเลกุล (Intermolecular bonding) ลักษณะดังกล่าวเกิดจากองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่แตกต่างกันในสายพอลิเพปไทด์ จึงมีผลทำให้ลักษณะของไกลอะดินและกลูเตนินต่างกันทางกายภาพ ไกลอะดินมีคุณสมบัติในการไหลได้ดีกว่ากลูเตนินที่มีลักษณะเหนียวคล้ายยาง แต่เมื่อรวมตัวกันเป็นกลูเตนจะได้ลักษณะที่เหมาะสม มีความยืดหยุ่นพอดี (ขวัญฤดี และวชิระ, 2543)

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด

คุณสมบัติของแป้งโด ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ องค์ประกอบของแป้ง (ปริมาณโปรตีนสูงหรือต่ำ) สภาพของการผสม (เวลาการผสม รูปแบบการผสมและอุณหภูมิ) และส่วนผสมต่าง ๆ (น้ำ เกลือ ยีสต์ เนยและอิมัลซิไฟเออร์)

Saha และคณะ (2010) พบว่าแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้แป้งโดมีคุณภาพดีกว่าแป้งที่มีโปรตีนต่ำ นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถขยายตัวได้มากกว่าเป็นผลให้มีปริมาตรที่มากกว่า การผสมเป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตกลูเตน สภาพะในการผสมซึ่งหมายถึงรวมถึง ความรุนแรงในการนวด (ความเร็วของการผสม (Mixer speed) และแรงที่ใช้) อุณหภูมิและเวลาในการนวด จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เมื่อเพิ่มความเร็วของเครื่องผสมเวลาในการนวดผสมจะ

ลดลง อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเร็วของเครื่องผสมหรือใช้เครื่องนวดผสมที่มีแรงเฉือนสูงเกินไปจะ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ร่างแหกลูเตนถูกทำลาย แป้งที่มีโปรตีนมาก จะมีความหนาแน่นของอนุภาคมาก ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ช้า ดังนั้นจึงใช้เวลาในการผสมมากกว่า การที่น้ำซึมผ่านอนุภาคของโปรตีนจะทำให้เกิดปฏิกิริยายึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ อัตราส่วนของน้ำที่มากเกินไปจะทำให้แป้งกลายเป็นสารละลาย แต่ถ้าหากน้อยไปก็จะทำให้แป้งมีความเหนียวที่ไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอัตราส่วนของน้ำที่เหมาะสมเพื่อให้แป้งเกิดความเหนียว ความยืดหยุ่นและความหนืดที่เหมาะสม รวมทั้งช่วยให้โครงสร้างของกลูเตนมีความแข็งแรง อัตราส่วนของน้ำจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแป้ง กล่าวคือแป้งที่มีโปรตีนสูงจะใช้ปริมาณน้ำที่มากกว่าเพราะมีการจัดเรียงตัวของอนุภาคโปรตีนที่หนาแน่น การเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือที่รู้จักกันว่าเกลือมีผลต่อความแข็งแรงของกลูเตน ในการเติมเกลือมักจะทำการเติมในช่วงต้นของการผสม ช่วยเร่งการเกิดโครงสร้างกลูเตน ช่วยในเรื่องเนื้อสัมผัสของแป้งโดและช่วยเพิ่มเวลาในการผสม เกลือใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นกรดต่าง (pH) ของแป้งโด ซึ่งค่า pH มีผลต่อเวลาในการผสม หาก pH มีค่าต่ำจะใช้เวลาการผสมน้อย เกลือมีผลต่อการละลายของโปรตีน นอกจากนี้เกลือยังทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Elastic modulus) ลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการจับกันของโปรตีนน้อยลง (Zaidel *et al.*, 2006)

2.4 ขนมปัง

ขนมปัง เป็นอาหารที่ทำจากแป้งสาลีผสมกับน้ำและยีสต์ หรือ ผงฟู นอกจากนี้ยังมีการใช้ส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อแต่งสี รสชาติและกลิ่น แตกต่างกันไปตามประเภทของขนมปัง เมื่อนำส่วนผสมมานวดให้เข้ากันและนำไปอบ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นก้อน ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน ดังรูปที่ 2.7 ขนมปังมีหลายประเภท เช่น ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังหวาน ขนมปังโรน เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของขนมปัง

2.4.1.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ กลูเตนินและไกลอะดิน เมื่อทำการผสมแป้งกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้เกิดกลูเตนที่มีลักษณะยืดหยุ่น กลูเตนเป็นตัวกักเก็บก๊าซ ที่ทำให้เกิดลักษณะที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์และเป็นโครงสร้างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ แป้งสาลีที่ได้จากการโม่โดยแยกส่วนของแป้งเอนโดสเปอร์มออก มีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแป้งสาลี

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	79.01
โปรตีน	8.39
น้ำตาล	1
ความชื้น	7.07
แร่ธาตุ	3.08
ไขมัน	0.43
อื่น ๆ	2.02

ที่มา: จิตธนา และอรอนงค์, 2537

กลูเตนประกอบด้วยกลูเตนินและไกลอะดินในอัตราส่วนเท่า ๆ กัน กลูเตนินจะทำให้ก้อนแป้งโดสามารถเก็บกักก๊าซที่ขึ้นฟูไว้ได้ จะให้ความแข็งแรงกับกลูเตนซึ่งเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ส่วนไกลอะดินเป็นสารที่อ่อนและเหนียวจะเป็นตัวเชื่อม โดยคุณลักษณะของแป้งสาลีที่ดี สีของแป้งควรมีสีขาว ถ้าหากมีสีอื่นปน เช่น สีเหลืองอ่อนของแซนโทฟิลล์ หรือสีครีม จะทำให้ขนมปังมีเนื้อใน (Crumb) ที่มีสีไม่ติดกัน แป้งที่โม่ออกมาจึงควรผ่านการฟอกสีก่อน แป้งโดต้องสามารถอุ้มก๊าซ (Strength) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักและทนต่อสภาพการผสมต่าง ๆ (Tolerance) ได้ดีโดยที่

กลูเตนไม่ฉีกขาด ความทนต่อสภาพต่าง ๆ นี้ สัมพันธ์กับกลูเตนโดยตรง แป้งสาลีที่มีคุณภาพ จะมีเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความทนต่อสภาพต่าง ๆ สูง จะสามารถหมักได้นาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการขึ้นฟูและมีปริมาตรที่ดี นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้ง (Water absorption) ควรมีค่าที่สูง เนื่องจากแป้งที่มีคุณลักษณะในการดูดซึมน้ำได้มากพอ จะทำให้คุณภาพของแป้งยังคงสภาพที่อยู่ ผลของการที่แป้งดูดซึมน้ำได้มาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรมากขึ้น เนื้อในไม่แห้ง ทำให้สามารถเก็บรักษาได้ดี และการนวดผสม ควรมีความสม่ำเสมอเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของแป้ง (Uniformity) หากแป้งขาดความสม่ำเสมอแล้ว จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่มีมาตรฐาน จึงต้องทำการตรวจสอบในทุกกระบวนการผลิต

2.4.1.2 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบหลักที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากน้ำมีหน้าที่รวมตัวกับโปรตีนในแป้งทำให้เกิดกลูเตน น้ำที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่อาจเป็นน้ำทั่วไป น้ำที่อยู่ในน้ำนม หรือน้ำผลไม้ก็ได้ โดยหน้าที่ของน้ำ ได้แก่ ช่วยควบคุมความหนืดของแป้งโด ช่วยละลายส่วนผสมอื่น ๆ เช่น น้ำตาล เกลือ ทำให้สตาร์ทเกิดการพองตัวและยังช่วยการกระจายยีสต์ในการหมักแป้งโด

2.4.1.3 ยีสต์

ยีสต์ช่วยทำให้แป้งโดเบาตัว มีความยืดหยุ่นและมีรูอากาศ เมื่อนำไปอบ ยีสต์ทำหน้าที่ตั้งแต่การผสม การนวด จนกระทั่งนำแป้งโดไปอบและจะหยุดทำหน้าที่เมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ ยีสต์ที่ใช้ในการทำเบเกอรี่มี 3 ชนิด คือ (1) ยีสต์สด เป็นยีสต์ที่ผลิตขึ้นและเลี้ยงโดยการอัดรวมกันกับอาหารของยีสต์ที่เปียกชื้นเป็นก้อนแข็ง ห่อด้วยกระดาษตะกั่วหรือพลาสติกที่กันน้ำได้ ยีสต์สดจะมีความชื้นอยู่ประมาณ 70% การทำงานของยีสต์จะช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำ ดังนั้นยีสต์สดจึงควรเก็บไว้ในตู้เย็น การนำมาใช้ควรทำให้ยีสต์สดแตกและละลายในน้ำก่อนที่จะผสมลงในแป้ง หลังจากนั้นจึงตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที ยีสต์สดมีราคาถูกและให้กลิ่นของยีสต์ที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ (2) ยีสต์แห้งชนิดเม็ด เป็นยีสต์สดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิ 95°F ถึง 104°F ความชื้นลดลงเหลือ 8% มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ ยีสต์แห้งเป็นยีสต์ที่อยู่ในสภาพที่เหมาะสม ควรเก็บในสภาวะที่แห้งและเย็น และ (3) ยีสต์แห้งชนิดผง มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีความสามารถในการหมักสูง ไม่ต้องละลายน้ำก่อนนำไปใช้ สามารถผสมกับแป้งโดยตรงก่อนที่จะนำไปผสมกับส่วนอื่น ๆ หรือจะเติมลงไปหลังจากทำการผสมแป้งกับส่วนผสมอื่น ๆ แล้ว 1 นาที โดยยีสต์ทั้งสามชนิดมีกำลังในการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน คือยีสต์สดจะมีกำลังในการหมักต่ำสุดและยีสต์ผงจะมีกำลังในการหมักสูง

ที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.4 ไขมัน

ไขมันและน้ำมันที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ได้มาจากทั้งพืชและสัตว์ สำหรับไขมันที่ได้จากสัตว์ เช่น เนยสด ส่วนไขมันที่ได้จากพืช เช่น เมล็ดฝ้าย ถั่วลิสม ถั่วเหลือง ข้าว งา มะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น ไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ไขมันจะช่วยในการกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น โดยทำให้กลูเตนมีความแน่นจนอากาศไม่สามารถเข้าได้ ซึ่งทำให้ปริมาตรและเปลือกนอกของขนมปังดีขึ้นและช่วยหล่อลื่นกลูเตนให้สามารถยืดหดได้ โดยช่วยการขยายตัวของผนังเซลล์และจัดโครงสร้างของกลูเตน ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มปริมาตรของขนมปัง

2.4.1.5 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายได้ดีในน้ำและมีรสหวาน จัดอยู่ในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยมักใช้น้ำตาลทรายละเอียด เพื่อทำให้เกิดการกระจายกับส่วนผสมของแป้งสาลี น้ำตาลทรายละเอียดจะละลายง่าย ช่วยให้แป้งมีความคงตัวดีขึ้น โดยน้ำตาลจะช่วยให้แป้งมีความคงตัวและขึ้นฟู เนื้อขนมและเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะที่ดี ให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่ได้นาน (จันทนา และพรพรรณ, 2543)

2.4.2 กระบวนการผลิตขนมปัง

2.4.2.1 การผสมแป้งโด

เครื่องผสมจะค่อย ๆ ผสมส่วนผสมต่าง ๆ ให้เข้ากัน ส่วนผสมเปียกจะซึมเข้าส่วนที่แห้ง ทำให้แป้งมีลักษณะที่เปียก บางส่วนเกาะกันเป็นก้อน บางส่วนจะมีลักษณะหยาบแฉะ เมื่อตั้งขึ้นมาจะเหนียวติดมือ ต่อมาส่วนผสมจะรวมกันเป็นก้อนที่มีความยืดหยุ่นน้อย ก่อนที่แป้งจะเรียบขึ้นและเริ่มแห้ง เมื่อทำการผสมต่อไปแป้งจะรวมกันเป็นก้อนที่มีลักษณะเรียบเนียน แห้ง ไม่ติดกับอ่างผสมและตะขอ ทำให้ได้ก้อนแป้งที่มีความนุ่ม ความยืดหยุ่นพอเหมาะ เมื่อตั้งขึ้นมาจะไม่เหนียวติดมือและสามารถตั้งเป็นแผ่นบาง ก้อนแป้งที่มีลักษณะนี้เรียกว่า แป้งโด หลังจากการผสมจนได้แป้งโดที่มีลักษณะเหมาะสม ควรหยุดทำการผสม เพราะหากทำการผสมต่อไปจะทำให้แป้งโดเริ่มนิ่มจนเหลวแฉะและร้อน เมื่อตั้งขึ้นมาจะติดมือเป็นสายทำให้แป้งโดขาดได้ง่าย ทั้งนี้เพราะการผสมแป้งโดนานเกินไปจะทำให้กลูเตนในแป้งโดเกิดการฉีกขาด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรต่ำ เนื้อสัมผัสภายในจะร่วน และการผสมที่น้อยเกินไปจะทำให้แป้งมีความยืดหยุ่นน้อย ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ต่ำลง อาจจะแตก

เป็นรอยหยาบและไม่คงตัว เพราะกลูเตนมีโครงสร้างไม่เหมาะสม ทำให้ความสามารถในการกักเก็บก๊าซต่ำ

2.4.2.2 การหมักแป้งโด

เมื่อผสมแป้งกับส่วนผสมอื่น ๆ ตามขั้นตอนการผสมจนได้แป้งโดที่เหมาะสมแล้ว จะต้องหมักแป้งโดทิ้งไว้ระยะหนึ่ง ระยะเวลาการหมักขึ้นอยู่กับวิธีการทำผลิตภัณฑ์ สถานที่หมักแป้งโด ควรเป็นห้องที่สะอาด ปราศจากกลิ่น สำหรับโรงงานที่ทันสมัย อาจมีห้องหมักแยกออกไปโดยเฉพาะ ภายในห้องหมักจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ให้มีอุณหภูมิอยู่ที่ $78-80^{\circ}\text{F}$ และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70-78% มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นมิเพื่อป้องกันไม่ให้ผิวหน้าของแป้งโดเปื่อยหรือแห้งจนเกินไป ซึ่งอาจเป็นผลต่อผลิตภัณฑ์หลังการอบได้ ถ้าไม่มีห้องหมักที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ อาจใช้ผ้าคลุมเพื่อป้องกันน้ำภายในแป้งโดระเหยสู่อากาศภายนอก เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวแป้งโดแห้งเกินไป การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ อาจทำได้โดยใช้หม้อต้มน้ำใส่ไว้ในห้องหมัก หรือหมักโดยมีเทอร์มิสเตอร์ติดไว้ในที่ที่สามารถมองเห็นได้และทำการควบคุมโดยใช้การเปิดปิดตู้เป็นครั้งคราว การหมักแป้งโดถ้าอากาศเย็นมาก ควรเพิ่มปริมาณยีสต์ที่ใช้ในสูตร เพิ่มอุณหภูมิของแป้งโดขึ้นอีก $2-3^{\circ}\text{F}$ และอาจจะต้องยืดระยะเวลาการหมักออกไปเล็กน้อย แต่ถ้าอากาศร้อนมาก ควรลดปริมาณของยีสต์ลง ลดอุณหภูมิของแป้งโดลง $3-4^{\circ}\text{F}$ และใช้เวลาในการหมักให้สั้นลง จะช่วยให้แป้งโดมีลักษณะที่เหมาะสม เนื่องจากในฤดูร้อนความชื้นสัมพัทธ์จะสูงมาก

ในระหว่างที่ทิ้งแป้งโดไว้นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายในแป้งโด โดยยีสต์จะใช้น้ำตาลเป็นอาหารและสตาร์ชบางส่วนจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล จนในที่สุดกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ ก๊าซนี้มีส่วนทำให้แป้งโดขยายตัว เอนไซม์โปรตีเอสที่มีอยู่ในยีสต์จะช่วยให้กลูเตนนุ่มและยืดตัวได้ การหมักแป้งโดจะมีเกิดกรดขึ้นภายในแป้งโด กรดที่เกิดขึ้นนี้มีส่วนช่วยให้แป้งโดยืดตัวได้ หลังจากทิ้งแป้งโดไว้ระยะเวลาหนึ่ง เมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัวจะต้องทำให้แป้งโดมีปริมาตรลดลง โดยการไล่อากาศออก หรือนำไปผสมใหม่กับส่วนผสมที่เหลือจากการทำผลิตภัณฑ์ โดยจุดประสงค์ของการลดปริมาตรของก้อนแป้งโดหมัก เพื่อทำให้ก้อนแป้งโดมีอุณหภูมิเท่ากัน ไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมากเกินไปและนำอากาศบริสุทธิ์เข้าไปแทนที่ ทำให้ยีสต์สามารถทำงานได้ดีขึ้น และช่วยให้กลูเตนที่ขยายตัวเป็นโครงสร้างมีการพักรวม พร้อมทั้งจะขยายใหม่ ทำให้ได้โครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักแป้งโดมีผลต่อผลิตภัณฑ์ จึงควรมีระยะเวลาการหมักและปริมาณยีสต์ที่พอเหมาะ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นหอมของยีสต์น่ารับประทาน มีรสชาติดี มีคุณลักษณะที่เหมาะสมทั้งปริมาณและคุณภาพ สำหรับแป้งโดที่หมักนานเกินไปมักจะแฉะและแห้งเร็ว เป็นผลให้แป้งโดมีเนื้อสัมผัสส่วน ปริมาตรต่ำและรูปร่างไม่สวยงาม เมื่อนำมาปั้นรูป จะต้องใช้แป้งโรยมาก ทำให้ใช้แป้งมากเกินไป เป็นผลให้กลิ่นรสไม่ดี สีเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์จะซีด ส่วนแป้งโดที่หมักเร็วเกินไปจะทำให้ปริมาตรลดลง เพราะแป้งโดยังพองตัวไม่เต็มที่ สีของเปลือกนอกจะเข้ม กลิ่นรสไม่ดี เนื้อในของผลิตภัณฑ์ดูไม่ขาว มีฟองอากาศและร่วน ทำให้มีคุณภาพไม่ดี

2.4.2.3 การพักตัวของแป้งโดในแม่พิมพ์ก่อนการอบ

หลังจากปั้นแป้งโดเป็นรูปใส่พิมพ์แล้ว ควรทิ้งไว้ในห้อง หรือตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 95-98°F และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80-83% การพักแป้งโดครั้งนี้เป็นครั้งสุดท้าย เพื่อให้แป้งโดมีปริมาตรเพิ่มขึ้นหลังจากไล่ก๊าซออกไปในตอนที่ยืดแป้งโดก่อนปั้นใส่รูปพิมพ์ ในขณะที่แป้งโดอยู่ในพิมพ์ ยีสต์ยังคงทำปฏิกิริยาและจะเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการพักตัวครั้งสุดท้ายสูงกว่าครั้งแรก ทำให้กลูเตนมีความเหมาะสมและยึดตัวได้ดีขึ้น

การตรวจสอบแป้งโดก่อนนำเข้าตู้อบ ทำได้โดยการใช้นิ้วมือแตะลงไปเบา ๆ บนแป้งโดที่ฟูขึ้นมา ถ้ามีรอยนิ้วติดอยู่จาง ๆ เมื่อยกนิ้วขึ้น แสดงว่าพักตัวได้ที่แล้ว สามารถนำเข้าอบได้ แต่ถ้ารอยนิ้วหายไปเมื่อยกนิ้วขึ้น หรือแตะแล้วรอยนิ้วจมลงไปลึก ไม่ถูกดันกลับขึ้นมา แสดงว่าพักแป้งโดนานเกินไป ระยะเวลาในการพักตัวของแป้งโดครั้งสุดท้ายใช้เวลาประมาณ 60-65 นาที

2.4.2.4 การอบ

ขั้นตอนสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ คือ การอบแป้งโดในเตาอบ แป้งโดยังคงมีการหมักตัวอยู่และอัตราการหมักจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแป้งโดสามารถขยายตัวได้อย่างเต็มที่ เป็นผลให้ปริมาตรของแป้งโดในตู้อบเพิ่มสูงขึ้น ความร้อนในการอบขึ้นอยู่กับชนิดของตู้อบ เชื้อเพลิงที่ใช้และขนาดของผลิตภัณฑ์ที่อบ ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ต้องใช้อุณหภูมิปกติตามที่บ่งไว้ เพื่อมิให้เปลือกนอกไหม้ก่อนที่เนื้อในผลิตภัณฑ์จะสุก ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กต้องเพิ่มอุณหภูมิในตู้อบให้สูงขึ้น เพื่อให้เปลือกนอกและเนื้อในของผลิตภัณฑ์สุกพร้อมกัน นอกจากนี้ ปริมาณของน้ำตาลที่มีอยู่ในแป้งโดขณะอบ สูตรที่มีน้ำตาลสูง จะต้องลดอุณหภูมิของตู้อบลง เพื่อมิให้

เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์สุกเร็วเกินไป ถ้าหากมีน้ำตาลและไขมันต่ำ จะต้องใช้เวลาในการอบนานขึ้น และต้องการอุณหภูมิสูงขึ้น

ความสามารถในการเก็บความร้อนของตู้อบ ถ้าตู้อบร้อนช้า จะทำให้เนื้อในของผลิตภัณฑ์ขยายตัวมาก แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้เปลือกนอกไหม้เร็วโดยเฉพาะขอบ ส่งผลให้รูปร่างของผลิตภัณฑ์ไม่ได้สัดส่วนและยีสต์จะหยุดการทำงานที่อุณหภูมิ 110°F และตายที่อุณหภูมิ 130°F เม็ดสตา์ชที่มีอยู่ในกลูเตนจึงเหนียวขึ้นและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโดยเอนไซม์อะไมเลส ซึ่งจะทำงานต่อไปจนกลูเตนจะแข็งตัวเต็มที่ที่อุณหภูมิ 165°F เป็นโครงสร้างผลิตภัณฑ์ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเปลือกนอกของแป้งโดจะแห้งและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มันทา เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างภายนอกแข็งตัว ภายในโปร่งเบาและอ่อนนุ่มมารับประทาน (จินทนา และพรพรรณ, 2543)

2.4.3 ลักษณะของขนมปังที่มีคุณภาพ

2.4.3.1 ลักษณะภายนอก

ลักษณะภายนอกของขนมปัง อาจสังเกตได้จากปริมาตรและสี ซึ่งขนมปังที่ดีจะต้องมีปริมาตรไม่ใหญ่เกินไป รูปร่างที่เสมอกันทั้งสองด้าน ไม่เล็กและหนัก ปริมาตรที่ถูกต้องจะได้จากแป้งโดที่มีการปรับสภาพของกลูเตนอย่างถูกต้อง นอกจากนั้นยังมีการพักตัวครั้งสุดท้ายที่เหมาะสมจะทำให้รอยแตกข้าง ๆ สม่าเสมอและเรียบ เมื่อมีอุณหภูมิในการอบ การกระจายความร้อนภายในตู้อบที่ทั่วถึงทุกด้านของผลิตภัณฑ์และมีความชื้นที่ถูกต้อง สีของเปลือกนอกอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น แป้งโดที่หมักไม่ดี นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิปกติ หรือความชื้นที่ไม่เพียงพอในการหมักครั้งสุดท้าย จะทำให้สีของเปลือกนอกขนมปังไม่ดี

2.4.3.2 ลักษณะภายใน

ลักษณะภายในขนมปัง อาจสังเกตได้หลายวิธี เช่น รส กลิ่น หรือ สีภายใน ซึ่งสีของเนื้อขนมปัง ควรเป็นมันเงา ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่นำมาใช้ การหมักและการนวดที่ถูกต้อง การใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ ปริมาณของน้ำ การหมัก เกลือและไขมันที่ทำการผสม มีการพักแป้งโดและการอบที่ถูกต้อง แป้งโดที่ผ่านกระบวนการที่ยาวนานจะมีความชื้นสูงกว่าและสามารถเก็บรักษาความชื้นได้นานกว่าขนมปังที่ใช้เวลาในการผลิตต่ำ จึงทำให้เนื้อขนมปังเป็นเงา ความมันเงาสามารถสังเกตได้โดยทำการตัดผิวหน้าของขนมปังและอยู่ในที่สว่าง ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่าผิวหน้าที่ถูกตัดจะสะท้อนแสงกลับ

เรียกว่าเนื้อขนมปังนั้นมีความมันเงา เป็นผลจากการใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ มีการควบคุมการหมักและการนวดที่ถูกต้อง

รสและกลิ่น เป็นลักษณะที่สำคัญในการทำขนมปัง ส่วนใหญ่ปัจจัยที่มีผลคือวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี ผลจากการหมักรวมกับเกลือและสารที่ให้รสอื่น ๆ ที่ทำการผสมลงไป เช่น ถ้าหมักนานเกินไปจะมีกลิ่นแรงของยีสต์และมีรสเปรี้ยวจากกรดที่เกิดขึ้น เนื่องจากการหมักแป้งโดที่นานเกินไป เป็นต้น ถ้าหากหมักได้เหมาะสมจะทำให้ได้กลิ่นของขนมปังที่ดี เนื้อขนมปังเรียบและมีความยืดหยุ่นที่ดี โดยความยืดหยุ่นนี้เป็นเครื่องวัดกำลังต้านทานการดึงของเนื้อขนมปังเป็นลักษณะที่สำคัญ เพราะการตัดขนมปังและการทานเนยบนแผ่นขนมปังจะขึ้นอยู่กับลักษณะนี้ ซึ่งระยะเวลาการหมักและคุณภาพของวัตถุดิบที่ดีจะมีผลต่อความยืดหยุ่นของเนื้อขนมปัง (เทัญพิชญา และคณะ, 2547)

2.5 การเสื่อมเสียของขนมปัง

2.5.1 การเสื่อมเสียที่เกิดจากเชื้อรา

การเสื่อมเสียเนื่องจากสาเหตุนี้เป็นไปได้้น้อยมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ผ่านการผลิตในหลายขั้นตอนและมีการปรุงให้สุกโดยใช้ความร้อน ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถทนทานได้ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงความสะอาด โดยเฉพาะเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีการสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง เช่น สถานที่เก็บรักษาขนมปังหรือเครื่องหันขนมปัง เป็นต้น โดยสถานที่เก็บรักษาขนมปังควรสะอาด มีการระบายอากาศได้ดีและควรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ เครื่องหันขนมปังควรทำความสะอาดใบมีดบ่อยครั้ง โดยใช้แอลกอฮอล์เช็ดให้สะอาดเพราะมีโอกาสที่สปอร์ของเชื้อราจะสะสมอยู่ เป็นเหตุให้เนื้อภายในของขนมปังมีโอกาสติดเชื้อมากกว่าได้ (นิรนาม5, 2556)

2.5.2 การสูญเสียความชื้น

การสูญเสียความชื้นหรือการแห้งของขนมปัง เกิดจากปฏิกิริยาเคมีภายในก้อนขนมปัง โดยทั่วไปแล้วขนมปังที่อยู่ในสภาพดีจะมีความชื้นประมาณ 30% ขนมปังสามารถดูดซึมน้ำในบรรยากาศได้ ถ้าหากในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เกิน 70% การสูญเสียความชื้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในขณะนั้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูง การสูญเสียความชื้นจะน้อย แต่ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ การสูญเสียความชื้นจะเกิดมากและขนมปังจะสูญเสีย

ความชื้นได้หากบรรยากาศมีความชื้นต่ำกว่า 70% วิธีการป้องกันหรือการยืดอายุของการแห้งนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใส่น้ำให้มากที่สุดในขณะที่ทำการผสมแป้งและควรใช้แป้งที่มีโปรตีนสูง ทั้งนี้เพื่อให้การดูดซับน้ำดำเนินไปด้วยดี แต่การใส่น้ำมากเกินไปอาจทำให้แป้งโดเหนียวได้ ระยะเวลาการอบสามารถส่งผลต่อความชื้น โดยระยะเวลาการอบควรสั้นเพื่อให้แป้งภายในก้อนขนมปังเกิดการสุก ควรรักษาความชื้นภายในเตาอบให้สูงเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นภายในขนมปัง โดยปกติแล้ว จะใช้เวลาในการอบประมาณ 24 นาที และทำให้ขนมปังเย็นอย่างถูกวิธี ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นหรือการแห้งของขนมปัง ควรมีห้องพิเศษสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง ซึ่งจะมีอากาศหมุนเวียนอย่างสม่ำเสมอ ปกติแล้วห้องที่ทำให้ขนมปังเย็นจะมีอุณหภูมิ 70°F และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80% (นิรนาม5, 2556)

2.6 ความไม่สดของขนมปัง (Bread Staling)

ขนมปังที่มีคุณภาพดี คือ ขนมปังที่เพิ่งออกจากเตาอบใหม่ ๆ มีลักษณะภายนอกที่ดี ผิวนอกขนมปัง (Crust) เป็นสีน้ำตาล เนื้อขนมปังนุ่ม มีความยืดหยุ่นตัวดี มีกลิ่นหอมและรสชาติดี (อรอนงค์, 2532) ขนมปังที่ออกจากเตาเมื่อถูกทิ้งไว้จะค่อย ๆ เย็นตัวและเกิดการคืนตัวของแป้ง ซึ่งหลังจากนั้นจะทำให้เกิดการไม่สดของขนมปัง (Staling)

2.6.1 ลักษณะของขนมปังที่เกิดการ staling

การ staling ในขนมปัง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นในขนมปัง หลังจากการอบ โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่รวมถึงการเปลี่ยนแปลงหรือการเสื่อมสภาพอันมีสาเหตุจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ขนมปังเกิดการเปลี่ยนแปลงใน 2 ส่วน คือ ทางรสชาติ คือ ขนมปังสูญเสียรสชาติและกลิ่นหอมหวานไป เกิดกลิ่นที่มีลักษณะเกือบจะเป็นกลิ่นเปรี้ยวขึ้นแทน มีรสชาติเป็นแป้ง (Starchy) มากขึ้น (Setser, 1996) และทางเนื้อสัมผัส คือ เนื้อขนมปังมีลักษณะแห้ง แข็ง มีความหยาบกระด้าง (Harshness) และความร่วน (Crumbliness) มากขึ้น เนื้อมีสีขาวขุ่นทึบ (Opaque) กว่าขนมปังสด (Zobel and Kulp, 1996) และเปลือกขนมปังสูญเสียความกรอบ (Setser, 1996) เปลี่ยนเป็นมีลักษณะเหนียวคล้ายหนังหรือยาง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการแพร์ความชื้นจากส่วนเนื้อขนมปังออกสู่ส่วนเปลือก (ปริยาพร, 2546)

2.6.2 การทดสอบการ staling ของขนมปัง

การทดสอบการ staling ของขนมปังสามารถทำได้หลายวิธี โดยการสังเกตเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ผู้บริโภคสามารถใช้เพื่อประกอบการเลือกซื้อ การสังเกตด้วยตาเปล่าและทดสอบความนุ่มของขนมปัง อาจทำได้โดยการสัมผัส เนื่องจากขนมปังที่เกิดการ staling จะมีสีขาวย่นและมีความแข็ง (Firmness) มากกว่าขนมปังสดใหม่ (Watson and Boyle, 1996) หรือการใช้เครื่องมือในการทดสอบการ staling อาจทำได้โดย

การวัดความแข็งด้วยเครื่องมือ เป็นวิธีที่สามารถบอกการ staling ของขนมปังได้คร่าว ๆ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป เครื่องมือจะวิเคราะห์ปริมาณของแรงที่ใช้กดลงไปบนเนื้อขนมปังให้ยุบตัว โดยถ้าใช้แรงกดมากแสดงว่าขนมปังนั้นมีความแข็งมากหรือเกิดการ staling มาก (Ghiasi *et al.*, 1984)

การทดสอบทางประสาทสัมผัส เป็นวิธีที่ดีที่สามารถบอกการ staling ในขนมปัง โดยผู้ทดสอบจะต้องเป็นผู้ที่มีความชำนาญ การทดสอบทางประสาทสัมผัสนี้จะช่วยยืนยันผลการทดสอบด้วยวิธีอื่น ๆ เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถบอกได้ถึงกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไปของขนมปังด้วย (Watson and Boyle, 1996)

การใช้เอนไซม์ เป็นวิธีทดสอบการคืนตัวของแป้ง โดยถ้าค่า Degree of Gelatinization (DG) ของแป้งขนมปังสูงจะหมายถึงมีความสามารถในการเกิดเป็นเจลได้ง่ายกว่า ดังนั้น จึงเกิดการคืนตัวน้อยกว่าแป้งที่มี DG ต่ำ (Hibi, 2001) วิธีทางเอนไซม์ที่ใช้ทดสอบการคืนตัวของแป้ง เช่น วิธี Beta-Amylase-Pullulanase (BAP) เป็นต้น (Matsunaga and Kainuma, 1986)

การวิเคราะห์สมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) เนื่องจากแป้งเป็นส่วนประกอบหลักของขนมปัง เมื่อขนมปังถูกเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งแป้งจะเกิดการคืนตัวของแป้งทำให้ส่วนอสัณฐานของอะไมโลเพกตินเข้ามารวมกันเกิดเป็นผลึกใหม่ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการ staling ของขนมปัง อะไมโลเพกตินที่เกิดการคืนตัวของแป้งนี้จะกลับมาละลายได้ใหม่ในช่วงอุณหภูมิ 50-60°C (Zobel and Kulp, 1996) ณ ช่วงอุณหภูมินี้จะมีการดูดพลังงานเข้าไปเพื่อช่วยสลายพันธะของส่วนผลึกของแป้งจึงได้มีการนำเครื่อง DSC มาใช้วิเคราะห์ค่าเอนทัลปีที่ใช้ในการละลายส่วนผลึกของแป้งที่เกิดการคืนตัวของแป้ง โดยพบว่าค่าเอนทัลปีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC จะมีความสัมพันธ์กับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Munzing and Brack, 1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 กลไกการ staling ของขนมปัง

การ staling ของขนมปังทำให้เนื้อขนมปังมีสีเทาขุ่น แข็งขึ้นและแห้งลง การที่เนื้อขนมปังมีสีเทาขุ่นไม่ได้เกิดจากการที่เนื้อขนมปังสูญเสียความชื้นไป แต่เป็นผลมาจากปรากฏการณ์การคืนตัวของแป้ง (ปริยาพร, 2546) แสดงว่าการคืนตัวของแป้งซึ่งเกี่ยวข้องกับบทบาทของแป้ง อะไมโลสและอะไมโลเพกตินในแป้งเป็นส่วนสำคัญของการ staling ของขนมปัง (Zobel and Kulp, 1996; Morgan *et al.*, 1997)

แป้งเป็นส่วนประกอบหลักของขนมปัง คือมีประมาณ 80% ของน้ำหนักแห้ง จึงมีบทบาทสำคัญต่อการ staling ของขนมปังเป็นอย่างมาก ความร้อนในการอบและน้ำจะทำให้เม็ดแป้ง (Starch granule) ซึ่งถูกล้อมรอบด้วยชั้นบาง ๆ ของโปรตีนกลูเตนและอยู่ในรูปอสัณฐาน เกิดการพองตัวและเจลาติไนซ์อะไมโลสในเม็ดแป้งละลายออกมา (Leach out) อยู่ในส่วนของน้ำที่ล้อมรอบเม็ดแป้งโดยมีโปรตีนกลูเตนทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (Binder) เม็ดแป้งที่สุกเอาไว้ สายของอะไมโลเพกตินคลายตัวเคลื่อนออกมาอยู่บริเวณผิวของเม็ดแป้ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แป้งเปียก (Starch paste) ที่เจลาติไนซ์และยังร้อนประกอบไปด้วยเม็ดแป้งที่พองตัวแขวนลอยอยู่ และมีโมเลกุลอะไมโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดแป้งรวมตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของขนมปัง เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึง 55-60°C โมเลกุลของอะไมโลเพกตินจะเคลื่อนเข้ามาเกาะกันเองบางส่วน และโมเลกุลของอะไมโลสเคลื่อนที่เข้ามาเกาะกับส่วนกิ่ง (Branch) ของโมเลกุลอะไมโลเพกตินบนผิวของเม็ดแป้ง เกิดปรากฏการณ์ที่เม็ดแป้งเข้ามาจัดเรียงตัวกันใหม่ (Reorder) ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดร่างแหสามมิติโดยโครงสร้างใหม่ของเม็ดแป้งที่สามารถอุ้มน้ำได้และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาในโมเลกุลอีก เรียกว่า การเกิดการคืนตัวของแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543)

บทบาทของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินต่อการ staling ของขนมปังการคืนตัวของอะไมโลสจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการอบขนมปัง ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของขนมปัง การคืนตัวของอะไมโลสนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องภายใน 24 ชั่วโมงหลังการอบ จากนั้นอะไมโลเพกตินจะเกิดการคืนตัวอย่างช้า ๆ (Zobel and Kulp, 1996) พบว่าในการทำให้อะไมโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100-160°C ในขณะที่อะไมโลเพกตินที่คืนตัวจะกลับมาละลายได้ในช่วงอุณหภูมิ 50-60°C ดังนั้นการนำขนมปังที่เกิด staling มาให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่งที่อุณหภูมิต่ำ

กว่า 100°C ซึ่งส่งผลให้ขนมปังนุ่มขึ้นและผู้บริโภคยอมรับได้ บ่งชี้ได้ว่าสาเหตุหลักของการ staling เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของขนมปังเกิดจากการคืบตัวของอะไมโลเพกตินนั่นเอง (Zobel and Kulp, 1996) การเพิ่มขนาดของผลึกอะไมโลเพกตินทำให้ refractive index ของเนื้อขนมปังเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้เนื้อขนมปังมีความชุ่มเพิ่มขึ้น (Hoseney, 1994)

2.6.4 การป้องกันการ staling ของขนมปัง

วิธีการที่จะชะลอการ staling ของขนมปังนั้นสามารถแบ่งได้เป็นวิธีการใหญ่ ๆ ดังนี้ การเลือกกระบวนการผลิตและสูตรที่เหมาะสม การควบคุมสภาวะในการเก็บรักษา และการเติมส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อจุดประสงค์ในการชะลอการ staling และยืดอายุในการเก็บรักษา

2.6.4.1 การเลือกกระบวนการผลิตและสูตรที่เหมาะสม

Kulp (1979) ได้ทดลองกับขนมปังที่ผลิตเพื่อขายทางการค้าและสรุปให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วการ staling เป็น 3 ประการใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการผลิต สูตรขนมปังและวิธีการผลิตขนมปัง โดยความพยายามที่จะชะลอการ staling ของขนมปังและยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังทำให้มีการศึกษาถึงสาเหตุของการ staling และทำการแก้ไขขั้นตอนต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการผลิต สูตรขนมปังและวิธีการผลิตขนมปัง โดยขั้นตอนต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการผลิต โดย Matz (1960) พบว่าการหมักแป้งโดขนมปังในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่มีความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมสามารถทำให้ได้ขนมปังคุณภาพดีและคงความสดไว้ได้นาน และ Kulp (1979) พบว่าขั้นตอนต่าง ๆ ระหว่างกระบวนการผลิต เช่น การผสมแป้ง ระยะเวลาการหมักหรืออัตราเร็วของการอบ ล้วนแล้วแต่มีผลต่อการ staling ของขนมปัง การใช้เวลาผสมแป้งนานเกินไปหรือสั้นเกินไปจะทำให้อายุความสดของขนมปังสั้นลง ส่วนระยะเวลาการหมักที่สั้นเกินไปจะทำให้ขนมปังสดอยู่ได้ไม่นาน แต่หากหมักนานเกินไปส่วนของเนื้อขนมปังจะสดอยู่ได้นานแต่เปลือกขนมปังจะเกิด staling เร็ว และยังพบว่าอัตราเร็วในการอบมีผลต่อความสดของขนมปังเช่นเดียวกัน โดยการอบที่ช่วงเวลาสั้นจะช่วยยืดระยะเวลาความสดของขนมปังไว้ได้นานกว่า นอกจากนั้น Kent (1983) พบว่าระหว่างการพักขนมปังที่อบเสร็จให้เย็นตัวลงในกระบวนการผลิตขนมปังทางการค้า หากมีการผ่านกระแสลมอุณหภูมิ 21°C ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 80% สวนทาง (Counter current) กับขนมปังจะทำให้ขนมปังเย็นตัวลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในเนื้อและเปลือกขนมปังมากนัก ส่งผลให้ขนมปังเกิด staling ช้าลงทางด้านสูตรขนมปัง ส่วนประกอบ ต่าง ๆ ในสูตรขนมปังมีส่วนสำคัญต่ออัตราเร็วในการ staling

ของขนมปังเช่นกัน โดยที่ Meisner และ Bechtel (1954) พบว่าหลังจากการเก็บขนมปังเป็นเวลา 6
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน ผู้บริโภคยังคงยอมรับสูตรที่ทำให้เนื้อขนมปังมีปริมาณความชื้นมากขึ้น 2% ของปริมาณความชื้นเดิมในสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากนั้น Kulp (1979) พบว่าปริมาณโปรตีนในแป้งปริมาณน้ำตาลในสูตร ปริมาณเดกซ์ทรินและโอลิโกซัคคาไรด์ (Oligosaccharide) ที่เติมลงไปและปริมาณน้ำที่เหมาะสม เป็นส่วนประกอบที่ส่งผลในทางบวกต่อการยืดอายุความสดทั้งส่วนเนื้อและส่วนเปลือกของขนมปัง ส่วนไขมันทำให้ความสดของเปลือกขนมปังสั้นลงแต่ยืดอายุความสดของเนื้อขนมปังให้นานขึ้น ในทางตรงข้ามนมจะช่วยคงความสดของส่วนเปลือกแต่ทำให้อายุความสดของเนื้อขนมปังสั้นลงและพบว่าเกลือไม่มีผลต่อคุณภาพทางด้านความสดของขนมปังนอกจากนี้ คุณสมบัติของแป้งก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับความสดของขนมปังกล่าวคือ แป้งที่มีปริมาณโปรตีนพอเหมาะที่จะทำให้แป้งโดมีความอ่อนนุ่มและยืดตัวได้ดี จะมีความแข็งแรงในการกักเก็บก๊าซในเนื้อแป้งโดได้ดีเมื่อเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหมัก และแป้งที่มีปริมาณเมีดแป้งที่แตกเสียหายจากการไม่พอเหมาะจะทำให้เอนไซม์อะไมเลสเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายทำให้มีการย่อยโมเลกุลแป้งแตกตัวเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยว ยีสต์ก็จะสามารถใช้น้ำตาลในการหมักได้ดี ส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก นอกจากนั้นแป้งที่มีปริมาณเอนไซม์ β -amylase และ α -amylase พอเหมาะจะทำให้การหมักเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ สมบัติเหล่านี้ช่วยให้ขนมปังมีคุณภาพดีและคงความสดไว้ได้นานขึ้น (Kent, 1983) และวิธีการผลิตขนมปัง จากงานวิจัยของ Kulp (1979) สรุปว่าวิธีการทำขนมปังที่ต่างกันมีผลต่อความสดของขนมปัง โดยเมื่อเปรียบเทียบวิธีต่าง ๆ กัน พบว่ากรรมวิธีผลิตแบบ Continuous mixing จะทำให้ขนมปังนุ่มอยู่ได้นานที่สุด ในขณะที่การหมักแบบ No-time dough ส่งผลให้เนื้อและเปลือกขนมปังแข็งที่สุดและจากงานวิจัยของ Kent (1983) รายงานว่าวิธีการผลิตขนมปังแบบ Notime dough ทำให้ได้ขนมปังที่มีเนื้อหยาบร่วน มีผนังเซลล์หนาและเกิดการ staling รวดเร็วนอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่ได้พยายามศึกษาเปรียบเทียบข้อได้เปรียบของการหมักขนมปังแบบที่ใช้เชื้อแบคทีเรียร่วมกับยีสต์ หรือที่เรียกว่า Sourdough โดยเปรียบเทียบกับกรหมักขนมปังโดยใช้ยีสต์เพียงอย่างเดียว Corsetti และคณะ (1998) ศึกษาผลของการใช้ *Lactic Acid Bacteria* (LAB) หลายชนิดร่วมกับยีสต์ในการหมักขนมปังเปรียบเทียบกับกรหมักขนมปังโดยการใช้ยีสต์เพียงอย่างเดียว โดยเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ *Lactobacillus sanfrancisco* CB1, *Lactobacillus fructivorans* DD10, *Lactobacillus plantarum* DC400 และ *Lactobacillus farciminis* A80

เชื้อยีสต์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* 141, *Saccharomyces exiguus*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M14 และ baker's yeast ที่ใช้ทางการค้าทั่วไปผลที่ได้ พบว่า *L. sanfrancisco* CB1 มีผลต่อการย่อยพันธะในระดับโมเลกุลและส่งผลในการชะลอการ staling แต่ในขณะเดียวกันกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นส่งผลลบต่อค่าความนุ่มของเนื้อขนมปังและยังพบว่าการใช้ LAB สายพันธุ์ *L. plantarum* DC 400 ร่วมกับการใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* 141 ในการหมักขนมปังช่วยยืดระยะเวลาการ staling ออกไปและช่วยชะลอการแข็งของเนื้อขนมปังลงได้ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของขนมปังไม่มีผลต่อการ staling ของขนมปัง

2.6.4.2 การควบคุมสภาวะในการเก็บรักษา

การควบคุมสภาวะในการเก็บรักษาอาจทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิ ปริมาณก๊าซออกซิเจน และปริมาณความชื้น Zobel และ Kulp (1996) ได้สรุปว่าผลของอุณหภูมิในการเก็บต่อการ staling ในขนมปัง พบว่าการเกิดเป็นผลึกใหม่ของแป้งในเนื้อขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 30-43°C เกิดขึ้นน้อยกว่าขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 4-21°C ส่งผลให้เนื้อขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 30-43°C มีค่าความแข็งน้อยกว่าขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 4-21°C สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kent (1983) ซึ่งพบว่าการเก็บขนมปังที่อุณหภูมิสูงกว่า 55°C จะช่วยลดการ staling แต่จะทำให้เปลือกขนมปังสูญเสียความกรอบและอาจทำให้ขนมปังเสื่อมเสียจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น และ Knightly (1996) พบว่าขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 60°C ใช้เวลาในการ staling นานกว่าขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิ 17°C

วิธีที่นิยมใช้ในการเก็บขนมปังคือการเก็บที่อุณหภูมิ -20°C วิธีนี้สามารถเก็บรักษาขนมปังไว้ได้เป็นเวลานานโดยเมื่อนำขนมปังที่แช่แข็งออกมาทิ้งให้น้ำแข็งละลาย (Thawing) จะได้ขนมปังที่มีลักษณะเหมือนขนมปังใหม่ (Kent, 1983) ซึ่งอีกวิธีหนึ่งที่ได้ผลดีในการช่วยชะลอการ staling ของขนมปังระหว่างการเก็บคือการเก็บขนมปังภายใต้บรรยากาศของก๊าซอื่น หรือที่เรียกว่า Modified Atmosphere Packaging (MAP) Avital และคณะ (1990) ได้ศึกษาผลของการเก็บขนมปังขาวของอิสราเอลภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการ staling และพบว่าการเก็บขนมปังภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีส่วนช่วยชะลอการ staling ของขนมปัง โดยอาจเกิดจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปขวางกั้น water-binding sites บนสายของอะไมโลเพกติน ทำให้จำนวนพันธะไฮโดรเจนที่จะเกิดขึ้นระหว่างสายของอะไมโลเพกตินลดลง จึงทำให้ขนมปังเกิด staling ได้น้อยลง นอกจากนี้ Avital และคณะ (1990) ยังพบว่าขนมปังที่บรรจุภายใต้อากาศมีรา

เจริญขึ้นหลังจากเก็บได้ 10 วัน ในขณะที่ขนมปังที่บรรจุภายใต้บรรยากาศของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์ภายในระยะเวลาเท่ากันไม่มีการเจริญของราเกิดขึ้น ดังนั้นการเก็บขนมปังภายใต้บรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังช่วยลดการเสื่อมสภาพของขนมปังจากการเจริญเติบโตของเชื้อรา Smith และ Simpson (1996) พบว่าการใช้ก๊าซใน MAP สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบสามารถใช้ก๊าซชนิดเดียวหรือใช้เป็นก๊าซผสม ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยได้สรุปอัตราส่วนของก๊าซที่เหมาะสมระหว่างก๊าซ CO₂/N₂ สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบแต่ละชนิดไว้ดังตารางที่ 2.3 นอกจากนี้การเก็บผลิตภัณฑ์ขนมอบภายใต้บรรยากาศของก๊าซที่เหมาะสมจะสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยจะสังเกตว่าขนมปังที่บรรจุในบรรยากาศของก๊าซที่เหมาะสมจะสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ถึง 6 สัปดาห์

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วน CO₂/N₂ ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ผลิตภัณฑ์	CO ₂	N ₂
ขนมปังแผ่น (Sliced bread)	100	-
ขนมปังข้าวไรย์ (Rye bread)	100	-
ครัวซอง (Croissants)	100	-
ขนมปังก้อน (Buns)	100	-
มาดีราเค้ก (Madeira cakes)	80	20
ทีเค้ก (Teacakes)	50	50
เดนิชเพสตรี (Danish pastries)	80	20
อิงลิชมัฟฟิน (English muffins)	60	40
ครัมเปต (Crumpets)	60	40
เครป (Crepes)	80	20
ขนมปังไส้กรอก (Sausage rolls)	80	20
ขนมปังพิตา (Pita bread)	99	1
พิซซ่า (Pizza)	90	10

ที่มา: Smith และ Simpson, 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 อายุการเก็บรักษาขนมอบที่อุณหภูมิห้อง

ผลิตภัณฑ์	อายุการเก็บรักษา
ขนมปัง (Breads)	1-6 สัปดาห์
เค้ก (Cakes)	3-9 เดือน
ครัวซอง (Croissants)	15-25 วัน
โดนัท (Doughnuts)	อยู่ได้ถึง 25 วัน
อิงลิชมัฟฟิน (English muffins)	อยู่ได้ถึง 3 สัปดาห์
เพสตรี (Pastries)	อยู่ได้ถึง 45 วัน
แป้งพิซซ่า (Pizza crusts)	1-2 เดือน

ที่มา: Smith และ Simpson, 1996

2.6.4.3 การเติมส่วนผสมอื่นเพื่อชะลอการ staling และยืดอายุในการเก็บรักษา

ส่วนผสมอื่น ๆ เช่น ไขมัน สารประเภทเซอร์แฟคแทนท์ (Surfactants) เอนไซม์ แป้งธรรมชาติ (Native starch) หรือแป้งดัดแปร (Modified starch) สามารถลดการ staling ในขนมปังได้ นอกจากนี้ยังพบว่าขนมปังที่มีการเติมไขมันเข้าไปในสูตรจะทำให้ขนมปังนั้นคงความนุ่มไว้ได้นานกว่าขนมปังที่ไม่มีไขมันเป็นส่วนประกอบเลย เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสที่ละลายออกมาภายนอกเมื่อดัดแปรจะจับกับไขมันทำให้ไม่สามารถจับกับโมเลกุลของอะไมโลเพกตินได้ในขณะเกิดการคืนตัวของแป้ง จึงลดอัตราการจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลส-อะไมโลเพกตินลง ส่วนเซอร์แฟคแทนท์เป็นโมเลกุลที่มีขั้ว สามารถจับกับโมเลกุลของอะไมโลสได้คล้ายกับโมเลกุลกรดไขมันธรรมชาติ ตัวอย่างของเซอร์แฟคแทนท์ที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมขนมปังได้แก่ α -monoglycerides, Sodium Stearoyl-2-Lactylate (SSL), Calcium Stearoyl-2-Lactylate (CSL), Ethoxylated Monoglycerides (EMG), Diacetyl Tartaric Acid Esters of Mono - and Diglycerides (DATEM) (Knightly, 1996) Ghiasi และคณะ (1984) ได้ศึกษาผลของการใช้ไขมันร่วมกับเซอร์แฟคแทนท์ต่อความแข็งของเนื้อขนมปัง เมื่อเก็บขนมปังไว้ระยะเวลาหนึ่งเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม พบว่าขนมปังสูตรควบคุมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เติมขนมไขมันมีความแข็งมากกว่าสูตรที่เติมไขมันและสูตรที่เติมไขมันร่วมกับเซอร์แฟคแทนท์ทำให้ขนมปังมีความแข็งน้อยที่สุด

การทำขนมปังในสมัยก่อนนิยมเติมมอลท์ข้าวสาลีหรือมอลท์ข้าวบาเลย์ลงในขนมปังเพื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์แทน แต่ปัจจุบันนิยมใช้เอนไซม์ α -amylase แทน ซึ่งเอนไซม์ที่ได้ผลิตจากเชื้อราหรือแบคทีเรีย Moran และคณะ (1997) ได้ศึกษาผลของ α -amylase จากเชื้อแบคทีเรียต่อสมบัติด้านการป้องกันการ staling ของขนมปัง จากการวัดการคิ่นตัวของเนื้อขนมปังที่เก็บไว้ตั้งแต่วันที่ 1-6 ด้วยเทคนิค ^{13}C NMR (Nuclear Magnetic Resonance) พบว่าขนมปังสูตรที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ α -amylase เกิดการคิ่นตัวอย่างมากในวันสุดท้ายของการเก็บเมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกของการเก็บ โดยการคิ่นตัวของแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1-4 ของการเก็บ ส่วนขนมปังที่เติมเอนไซม์ α -amylase พบว่าแป้งเกิดการคิ่นตัวต่ำมาก แต่จากการติดตามผลการเกิดการคิ่นตัวของแป้งหลังจากการอบ พบว่าขนมปังที่เติมเอนไซม์จะแสดงผลว่ามีการคิ่นตัวสูงกว่าขนมปังสูตรวันที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเอนไซม์จะไปทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อยลงทำให้ส่วนผลึกของอะไมโลเพกตินละลายได้น้อยลงและจากการที่มีส่วนผลึกเหลืออยู่มากนี้ทำให้ตรวจจับได้เหมือนกับว่าขนมปังที่เติมเอนไซม์มีการคิ่นตัวของแป้งสูงกว่าสูตรที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ แต่ในขณะเดียวกันเนื่องจากส่วนผลึกของโมเลกุลอะไมโลเพกตินในขนมปังที่เติมเอนไซม์ละลายได้น้อยลง ทำให้หลังจากเก็บขนมปังไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง โมเลกุลอะไมโลเพกตินจะเข้ามาจัดเรียงตัวกันใหม่ได้น้อยลงเช่นกันทำให้ขนมปังที่เติมเอนไซม์เกิดการคิ่นตัวได้น้อยกว่าขนมปังสูตรที่ไม่มีการเติมเอนไซม์นอกจากนั้นผลที่สอดคล้องกับผลการวัดการเกิดการคิ่นตัวของแป้ง คือขนมปังสูตรที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ α -amylase มีความแข็งเพิ่มขึ้นมากหลังจากเก็บขนมปังเป็นเวลา 6 วันเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรที่เติมเอนไซม์ โดยค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเก็บ 1-4 วันแรก เช่นเดียวกับผลการติดตามการเกิดการคิ่นตัวของแป้งขนมปังสูตรที่ไม่ได้เติมเอนไซม์ α -amylase มีการคิ่นตัวของแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1-4 ของการเก็บ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเติมเอนไซม์ α -amylase ในขนมปังช่วยลดการ staling ลงได้

Ortega-Ojeda และ Eliasson (2001) ให้เหตุผลว่าในปัจจุบันกระแสความตื่นตัวด้านสุขภาพและแนวโน้มความนิยมของผู้บริโภคผลักดันให้ผู้ผลิตอาหารหันมาใช้ส่วนผสมที่เป็นธรรมชาติ

มากที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับสารเคมี จากการศึกษาผลของการผสมแป้งธรรมชาติหลายชนิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าด้วยกันต่อการเกิดเป็นเจลและการคืนตัวของแป้งผสม พบว่าการเกิดการคืนตัวของแป้งสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งสูงขึ้นและเก็บไว้เป็นเวลานานขึ้น โดยที่สภาวะเดียวกัน น้ำแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวผสมแป้งข้าวบาร์เลย์ในอัตราส่วน 25:75 ความเข้มข้นของน้ำแป้ง 20% มีค่าเอนทัลปีของการคืนตัว (Retrogradation enthalpy) ต่ำสุด รองลงมาคือส่วนผสมของน้ำแป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวบาร์เลย์ในอัตราส่วน 50:50 ความเข้มข้นของน้ำแป้ง 50% การผสมแป้งธรรมชาติเข้าด้วยกันเป็นการช่วยปรับอัตราส่วนของปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเกิดการคืนตัวของแป้ง จากหลักการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดการ staling ได้อีกทางหนึ่งนอกจากนี้การเติมแป้งดัดแปรลงในสูตร จัดเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ยิยมใช้กันมาก ในอุตสาหกรรมขนมอบเพื่อปรับปรุงคุณภาพและอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ Karaoglu และคณะ (2001) ได้ศึกษาผลของแป้งดัดแปรชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพของเค้ก โดยแป้งที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ แป้งข้าวโพดดิบและแป้งข้าวโพดดัดแปรชนิดต่าง ๆ ได้แก่ pregelatinized modified starch, modified starch thinned with acid, cross-linked modified starch และ dextrinized modified starch พบว่าการเติมแป้งข้าวโพดดัดแปรชนิด pregelatinized modified starch ในปริมาณ 10% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด นอกจากจะช่วยเพิ่มคุณภาพของลักษณะสัมผัสของเนื้อเค้กแล้วยังช่วยลดการแข็งของเนื้อเค้กหลังจากการเก็บลงได้อีกด้วย Hibi (2001) ศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวต่อการ staling ของขนมปัง พบว่าขนมปังที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวทำให้เกิดการคืนตัวเป็นเวลา 7 วัน ได้คะแนนด้านความชุ่มชื้น (Moistness) ความแข็ง (Firmness) และรสชาติสูงกว่าขนมปังสูตรที่ทำจากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียวหรือสูตรควบคุม และสูตรที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวดิบอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งมีค่าการยอมรับโดยรวมสูงที่สุดด้วย และยังพบว่าขนมปังที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวดิบและแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวมีค่า degree of gelatinization สูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าขนมปังสูตรควบคุมมีค่าความแข็งต่ำที่สุดในวันแรกของการเก็บแต่กลับสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ของการเก็บ และมีค่าความแข็งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับขนมปังสูตรที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวดิบและสูตรที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวในวันสุดท้ายของการเก็บ โดยค่าความแข็งของขนมปังสูตรที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวเกือบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเลยระหว่างวันที่ 2 และ 3 นอกจากนี้ยังพบว่าใน

วันสุดท้ายของการเก็บค่าความแข็งของขนมปังที่เติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวจะมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นการเติมแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวคืนตัวจึงมีส่วนช่วยชะลอการ staling ของขนมปังได้เช่นกัน

2.7 เนื้อสัมผัสของอาหารและการวิเคราะห์

2.7.1 เนื้อสัมผัส (Texture)

เนื้อสัมผัส หมายถึง ลักษณะที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัส ผู้บริโภครับรู้เนื้อสัมผัสของอาหาร ได้ด้วยการสัมผัสด้วยมือ การสัมผัสด้วยฟัน เพดานปาก ลิ้นและอาจรับรู้ด้วยการฟังเสียง เนื้อสัมผัสเป็นสมบัติเชิงรีโอโลยีของวัสดุ สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของอาหารมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของอาหารโดยตรงและเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค อาหารหลายชนิดผู้บริโภคใช้เนื้อสัมผัสเป็นเกณฑ์หลักเพื่อพิจารณาตัดสินการยอมรับและมีผลอย่างยิ่งกับระดับความชอบ

2.7.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

วิธีการประเมินคุณสมบัติของอาหารแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การวิเคราะห์โดยใช้ประสาทสัมผัส (Sensory method of analysis) ในวิธีนี้การประเมินเนื้อสัมผัสอาหารกระทำโดยการเคี้ยว การดมกลิ่น ชิม ฟังและสัมผัส การประเมินเนื้อสัมผัสอาหารโดยประสาทสัมผัสแน่นอนย่อมมีความผันแปรสูง เนื่องจากขึ้นอยู่กับความรู้สึกรสชอบส่วนบุคคลและการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ คือการใช้เครื่องมือแสดงคุณสมบัติหรือคุณภาพของอาหารแทนผลจากการทดสอบโดยวิธีใช้ประสาทสัมผัส วิธีการประเมินโดยใช้เครื่องมือมี 3 แนวทาง ได้แก่

- 1) วิธีการวัดพื้นฐาน (Fundamental method) อาศัยการวัดคุณสมบัติกายภาพ
- 2) วิธีใช้การเลียนแบบ (Imitative method) เป็นการจำลองการเคี้ยวอาหารโดยใช้อุปกรณ์กล
- 3) วิธีที่มีการทดลอง (Empirical method) คือการใช้เครื่องมือที่สามารถวัดค่าเฉพาะทาง

2.7.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser)

เครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร (รูปที่ 2.8) แทนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมนุษย์ ดังรูปที่ 2.8 เป็นเครื่องมือที่สร้างเลียนแบบลักษณะการเคี้ยวของมนุษย์ มีมอเตอร์ทำC หน้าที่ให้กำลังแก่ชุดทดสอบ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ โดยมีหัววัดแบบต่าง ๆ เพื่อวัดแรงต้านที่

เกิดขึ้น ผลการที่ได้จะออกมาในรูปของกราฟแรง-เวลา (รูปที่ 2.9) โดยสามารถทดสอบได้หลายลักษณะ

2.7.3.1 การทดสอบแรงกด (Compression Test)

การทดสอบแรงกด เป็นการทดสอบการตอบสนองของวัสดุเมื่อมีแรงกด (Compression force) มากกระทำ เป็นวิธีที่ใช้การที่ใช้วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารโดยการใช้แรงกดหรือแรงอัดในแนวตรง ทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) มีความสูงหรือความยาวหดสั้นเข้าตามทิศทางของแรงที่กระทำ

นิยมใช้ทดสอบกับอาหารได้หลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เนยแข็ง เนื้อสัตว์ ไส้กรอก โดยใช้หัววัดทรงกระบอก หรือหัววัดที่มีลักษณะเป็นจานแบนกดลงบนตัวอย่าง หัววัดที่ใช้ในการทดสอบควรมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่าง โดยวางขึ้นทดสอบให้อยู่กึ่งกลางของหัววัด จะใช้หลักการเพิ่มแรง (Force, N) หรือความเค้น กดอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ แล้ววัดค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation, mm) วัสดุที่นำมาทดสอบ หากเป็นวัสดุที่มีความเหนียวจะโป่งพองออกด้านข้าง วัสดุที่มีความอ่อนจะถูกอัดแบนโดยไม่แตกหัก แต่หากวัสดุมีความเปราะจะแตกหัก กราฟที่ได้จะบอกลักษณะเนื้อสัมผัส (Textural properties) โดยปกติบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) พร้อมแรงต้าน (Force, N) ของตัวอย่างของอาหาร ซึ่งค่าตัวแปรสำคัญที่ได้จากกราฟ ได้แก่



รูปที่ 2.8 เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (นिरนาม6, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงกดสูงสุด (Maximum Force, N) แสดงความแข็ง (Hardness) ของวัสดุ
- ความชัน (N/mm) บอกราค่าความแน่น (Firmness)
- พื้นที่ใต้กราฟ คือ การดูดซับพลังงาน (Energy Absorption) ที่ทำให้วัสดุแตก บอกรความเหนียว (Toughness) ของวัสดุ (Sánchez-Alonso *et al.*, 2010)

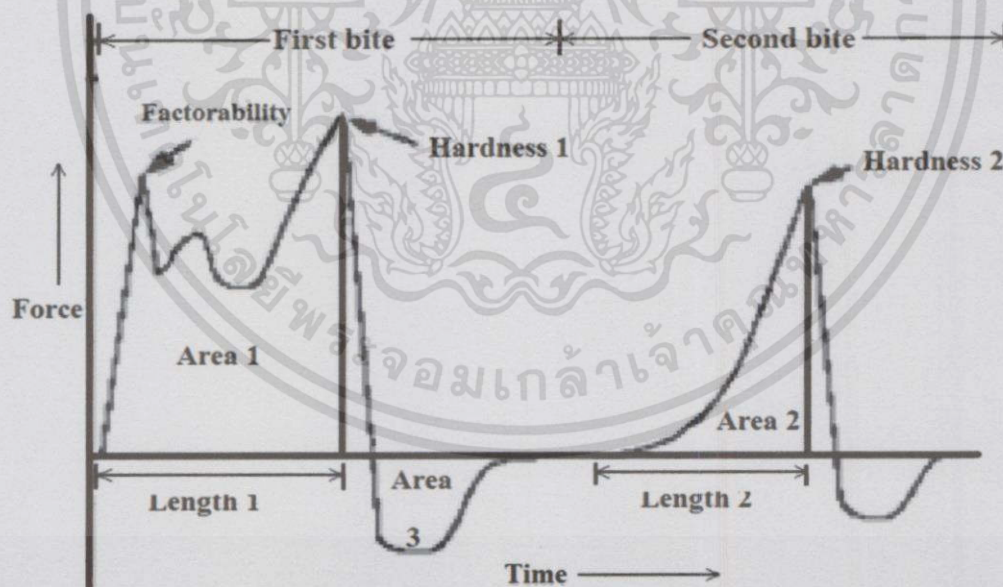
2.7.3.2 การทดสอบแบบ Texture Profile Analysis (TPA)

ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์และอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสได้ 7 ลักษณะ ได้แก่ Factorability, Hardness, Cohesiveness, Adhesiveness, Springiness, Gumminess และ Chewiness

2.1 Factorability คือ สภาพที่วัตถุจะแตกออกง่ายเพียงใด หาได้จากแรงจุดแรกที่ทำให้โครงสร้างภายในอาหารเสียหาย แต่ไม่แตกออกจากกัน

2.2 Hardness คือ แรงที่มีค่ามากที่สุดในช่วงการกดครั้งแรก

2.3 Cohesiveness คือ ความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหาร หาได้จากอัตราส่วนพื้นที่ของแรงที่เป็นบวกในการกดครั้งที่สองต่อครั้งที่หนึ่ง (A_2/A_1)



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง (Force) กับเวลา จากการทดสอบโดยเทคนิค Texture Profile Analysis (สวรัักษ์, 2551)

2.4 Adhesiveness คือ พลังงานที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างอาหารกับพื้นผิวไขมันที่สัมผัสอยู่ หาได้จากพื้นที่ของแรงที่เป็นลบในการกดครั้งแรก (A_3)

2.5 Springiness คือ ความสามารถของชิ้นอาหารที่กลับสู่สภาวะเดิม (L_2/L_1)

2.6 Gumminess คือ พลังงานที่ใช้ในการทำให้อาหารกึ่งของแข็งแยกตัวออกจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้ หาได้จากผลคูณของ Hardness กับ Cohesiveness

2.7 Chewiness คือ พลังงานที่ต้องใช้เคี้ยวอาหารแข็งเพื่อให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนลงคอ หาได้จากผลคูณของ Hardness Cohesiveness และ Springiness (Sánchez-Alonso *et al.*, 2010)

Saha และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษามวลของส่วนผสมของข้าวฟ่างต่อสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด และคุณภาพของบิสกิต โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสในวิเคราะห์สมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด ใช้ตัวอย่างแป้งโดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm เจือไนซ์สำหรับ Texture profile analysis (TPA) คือ ใช้หัววัด (Probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm Load cell 50 kg, Pre-test speed 1 mm/s, Test speed 2 mm/s และตั้งค่าตัวอย่างให้มีระยะห่าง 5 mm และ acquisition rate 200 pps จากการวิเคราะห์จะได้ว่า Hardness จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งสาลีสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณกลูเตนที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความเหนียว ดังนั้น Hardness ของแป้งโดในอัตราส่วนของ เมล็ดข้าวฟ่าง:แป้ง เท่ากับ 60:40 มีค่าสูงกว่า 70:30

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 วัสดุ

1. แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง ตรา หงส์ขาว
2. เกลือป่น ตรา ปรุฑทิพย์
3. น้ำตาลทรายขาว ตรา มิตรผล
4. เนยสด ชนิดจืด ตรา ออร์คิดส์
5. ยีสต์ผง ตรา เพอร์เฟค
6. ถั่วเขียวเมล็ดแห้ง ตรา ท็อปส์
7. ถั่วแดงเมล็ดแห้ง ตรา ท็อปส์
8. ถั่วดำเมล็ดแห้ง ตรา ท็อปส์
9. เมล็ดลินินสีน้ำตาล จัดจำหน่ายโดย บริษัท เนเชอรัล ฟาร์มาซูติคอล (ประเทศไทย) จำกัด
10. น้ำสะอาด

3.1.2 อุปกรณ์

1. เตารีดไฟฟ้า Zanussi
2. เครื่องปั่นผสม Kitchen Aid รุ่น 5KSM150PSE และหัวปั่นรูปตะขอ
3. เครื่องปั่นเปือก Panasonic รุ่น MX-J210GN
4. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Shimadzu รุ่น UX3200G
5. ตู้อบ Memmert รุ่น UM500
6. เทอร์โมมิเตอร์แบบแท่งแก้ว
7. กระจกบอทวง ขนาด 250 ml
8. หม้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. อ่างผสมแป้ง
10. พิมพ์ขนมปัง เบอร์ 9 (ปากขนาด 25.5 cm x 10.5 cm ฐานขนาด 22.5 cm x 7.5 cm สูง 7.5 cm)
11. ถาดสแตนเลส
12. ตะแกรงพัก
13. มีดแบบฟันเลื่อย
14. ถุงพลาสติก Polyethylene (PE) ขนาด 40 cm x 15 cm
15. ตู้แช่เย็น

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

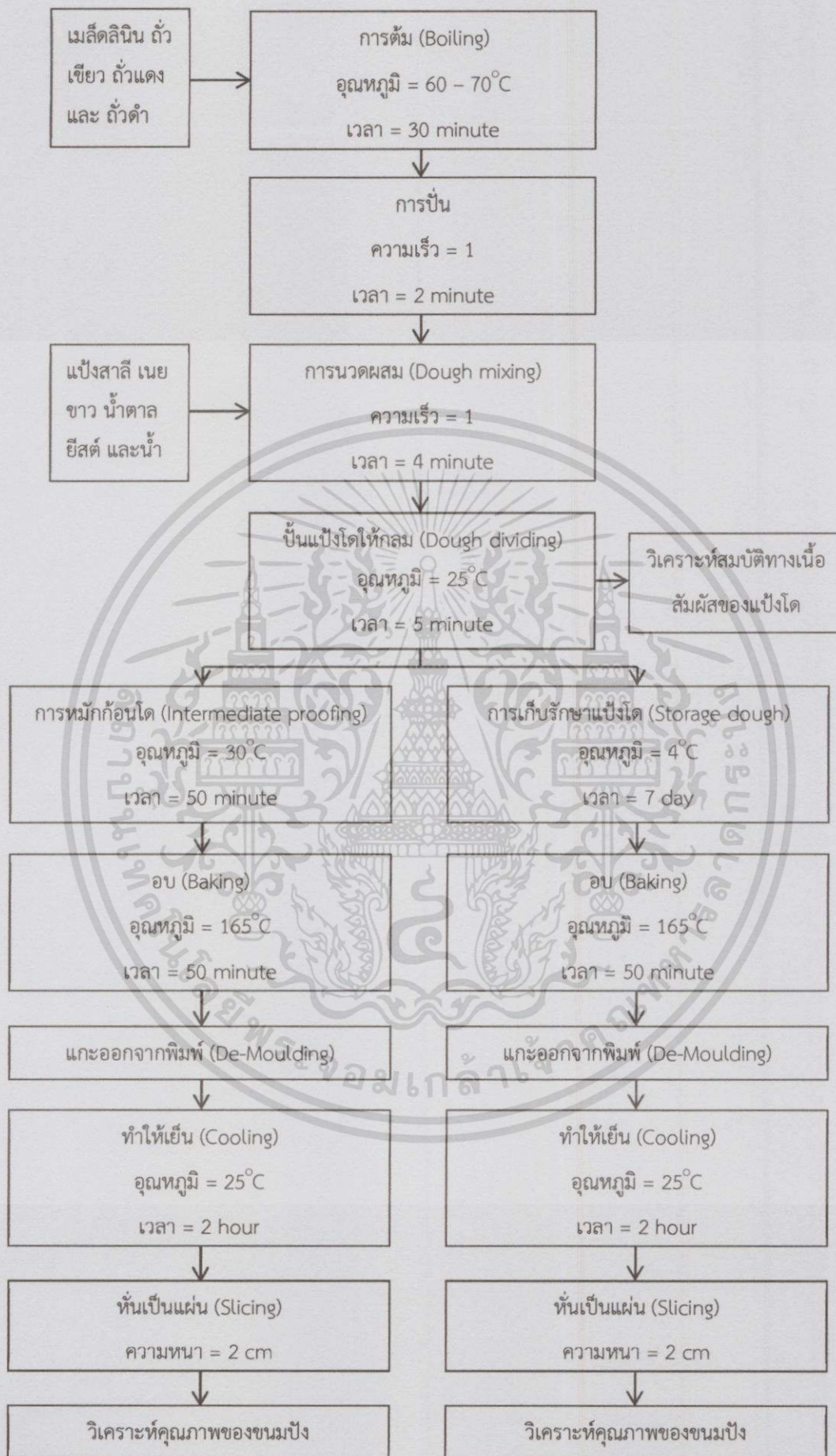
ส่วนผสมขนมปังสูตรควบคุม ประกอบด้วย แป้งสาลี 400 g เนยจืด 40 g ยีสต์ 7 g เกลือ 5 g น้ำตาล 13 g ถั่วเขียว ถั่วแดง ถั่วดำ ชนิดละ 10 g และน้ำ 260 g ขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินเตรียมจากสูตรพื้นฐานเช่นเดียวกับสูตรควบคุม แต่ผสมเมล็ดลินินในปริมาณต่าง ๆ กัน 3 ระดับ และปรับปริมาณน้ำตามเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดลินินเพื่อให้ปริมาณน้ำสุดท้ายเท่ากับสูตรควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรของขนมปังเพื่อสุขภาพ

สูตร	ปริมาณเมล็ดลินิน	ปริมาณน้ำ
	(%wt of flour)	(%wt of flour)
BCT 00	0	65
BFS 10	10	50
BFS 20	20	30
BFS 30	30	12

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างขนมปังเพื่อสุขภาพแสดงไว้ในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างขนมปังเพื่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะที่อาคารสิริคุณพูนั่งไปสู่อุทยานวังหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด

3.3.1 เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)

เตรียมตัวอย่างแป้งโดตัวอย่างละ 30 g จำนวน 10 ก้อน คลึงให้เป็นก้อนกลม แล้วตั้งพักไว้ประมาณ 5 นาที ก่อนทำการทดสอบ ทำการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA.XTplus Texture Analyser, Stable Micro System) โดยใช้หัวกดแบบกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm รายละเอียดการตั้งค่าเครื่องแสดงไว้ในภาคผนวก ก.1 ผลการทดสอบจะอยู่ในรูปของกราฟแรงและเวลา นำกราฟที่ได้ มาวิเคราะห์หาค่า Hardness, Adhesiveness, Springiness และ Cohesiveness ของแป้งโด (บทที่ 2 หัวข้อ 2.8)

3.4 การทดสอบคุณภาพของขนมปัง

3.4.1 เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)

เตรียมตัวอย่างโดยหั่นขนมปังเป็นแผ่น ความหนาแผ่นละ 2 cm การวิเคราะห์สมบัติทางเนื้อสัมผัสของขนมปัง โดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ใช้หัวกดแบบกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าเครื่องตามภาคผนวก ก.2 ผลการทดสอบจะอยู่ในรูปของกราฟแรงและเวลา นำกราฟที่ได้ มาวิเคราะห์หาค่า Springiness ของขนมปัง (บทที่ 2 หัวข้อ 2.8)

3.4.2 การทดสอบแบบแรงกด (Compression Test)

เตรียมตัวอย่างโดยหั่นขนมปังเป็นแผ่น ความหนาแผ่นละ 2 cm การทดสอบแรงกด ใช้เพื่อวิเคราะห์ค่า Firmness ของขนมปัง โดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ใช้หัวกดแบบกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าเครื่องตามภาคผนวก ก.3 ผลการทดสอบจะอยู่ในรูปของกราฟแรงและเวลา นำกราฟที่ได้ มาวิเคราะห์หาค่า Firmness ของขนมปัง (บทที่ 2 หัวข้อ 2.8)

3.4.3 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

ปริมาตรจำเพาะของขนมปังหาโดยเทคนิคการแทนที่เมล็ดถั่วเขียว ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ตามภาคผนวก ก.4

3.4.4 การวิเคราะห์ความชื้นของขนมปัง

หั่นขนมปังเป็นชิ้นเล็ก ๆ น้ำหนักรวมประมาณ 3 - 4 g แล้วอบหาความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C

เวลา 24 hour ตามภาคผนวก ก.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การศึกษาคุณภาพด้านความไม่สดของขนมปัง (Staling)

การเปลี่ยนแปลง Firmness ของขนมปังมีสาเหตุหลักมาจากปรากฏการณ์การคืนตัวของแป้ง เนื่องจากการตกผลึกของโมเลกุลแป้งซึ่งเป็นกลไกที่ทำให้เกิดการ staling ดังนั้นอัตราการ staling ของขนมปังจึงสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการวัดการเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ดังเช่นงานวิจัยที่ผ่านมา (Chinachoti and Vodovotz, 2001; Zobel and Kulp, 1996)

ตัวอย่างสำหรับทดสอบเตรียมโดยหั่นขนมปังเป็นแผ่น ความหนาแผ่นละ 2 cm บรรจุขนมปังที่หั่นเป็นแผ่นแล้วทั้งก้อนในถุง PE ปิดปากถุงให้สนิท เก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 10 วัน สุ่มตัวอย่างทุกวันที่ 1 2 3 4 7 และ 10 เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์ Firmness ของขนมปัง โดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (ภาคผนวก ก.2) จำนวน 2 แผ่น ผลการทดสอบจะอยู่ในรูปของกราฟแรงกับเวลา จากกราฟที่ได้ นำมาประเมินค่า Firmness ของขนมปังได้จาก แรงสูงสุดที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์อัตราการ staling โดยใช้สมการของ Avrami (1940) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นสำหรับอธิบายความสัมพันธ์ของเอนทัลปีของการหลอมละลายกับเวลาของการตกผลึก ต่อมา Armero และ Collar (1998) ได้นำมาประยุกต์ใช้สำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลง Firmness ของก้อนขนมปัง ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\frac{F_{\infty}-F_t}{F_{\infty}-F_0} = e^{-kt^n} \quad (3.1)$$

โดยที่ F_{∞} คือ ค่า Firmness สุดท้ายเมื่อไม่มีกระบวนการตกผลึกของโมเลกุลแป้งต่อไปอีก

F_0 คือ ค่า Firmness เริ่มต้น

F_t คือ ค่า Firmness ที่เวลาใด ๆ

k คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยา

n คือ Avrami exponent

โดยหาค่าคงที่ต่าง ๆ ของสมการหาโดยเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R^2 สามารถคำนวณได้จาก

$$R^2 = \frac{\sum(y_i - y)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3.2)$$

โดยที่ y_i คือ ค่า Firmness ที่ได้จากการทดลอง

y คือ ค่า Firmness ที่ได้จากสมการ

\bar{y} คือ ค่า Firmness เฉลี่ย

Jouppila และคณะ (1998) ได้เสนอเทอม $t_{1/2}$ หรือค่าครึ่งชีวิต (Half-life) สำหรับการเปรียบเทียบอัตราเร็วในการแข็งตัวของขนมปัง ซึ่งมีการนำทั้งค่า k และ n มาพิจารณาร่วมกัน โดยค่าครึ่งชีวิต คือ เวลาที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า Firmness ที่ระดับ 50% ของระดับที่เป็นไปได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.1 โดยกำหนดให้เทอมด้านซ้ายมือของสมการมีค่าเท่ากับ 0.5 ซึ่งทำให้ได้ความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 3.3

$$t_{1/2} = \left(-\frac{\ln 0.5}{k}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.3)$$

3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองในโครงการนี้ เลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) เนื่องจากเป็นแผนการทดลองที่มีค่าองศาความเป็นอิสระ (degree of freedom, df) สูงสุด หลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) หากพบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ก็ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 20)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลของเมล็ดลินินต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโด

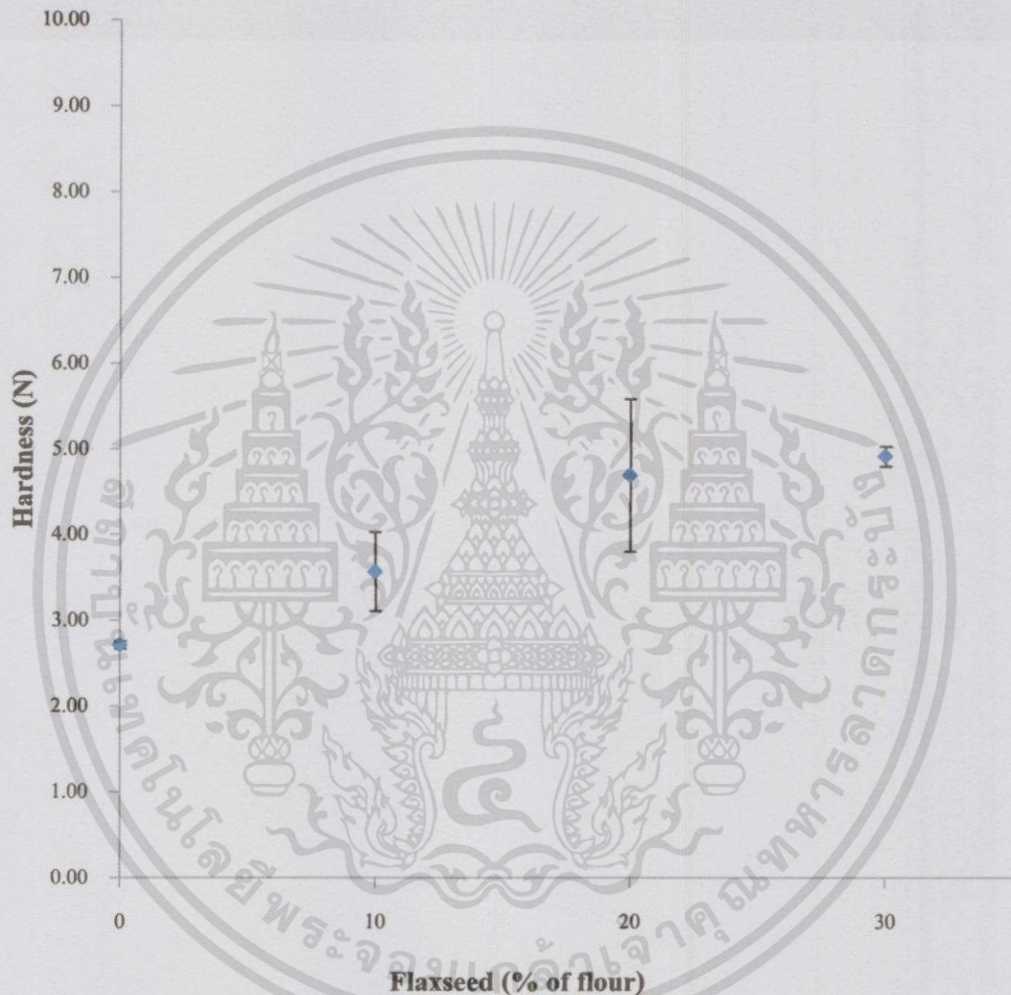
ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแป้งโดที่มีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10 20 และ 30% ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA) แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 – 4.4

เห็นได้ว่าค่า Hardness ของแป้งโด ในสูตร BCT00 มีค่าต่ำสุด และค่านี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเมล็ดลินินที่เติมลงไป (รูปที่ 4.1) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) พบว่า ค่า Hardness ของแป้งโดที่ผสมเมล็ดลินิน 10% (BFS10) ไม่มีความแตกต่างจากสูตรที่ไม่มีเมล็ดลินินหรือสูตรควบคุม (BCT00) ค่า Hardness จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณการผสมเมล็ดลินินเพิ่มเป็น 20% (BFS20) อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณเมล็ดลินินเป็น 30% (BFS30) ไม่มีผลให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้นสูงขึ้นจากสูตรที่ผสม 20% (BFS20)

จากรูปที่ 4.2 - 4.4 จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปค่า Adhesiveness Springiness และ Cohesiveness ของแป้งโดสูตร BCT00 สูงที่สุดและดูเหมือนว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่าการผสมเมล็ดลินินไม่มีผลต่อค่า Adhesiveness อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าข้อมูลค่า Adhesiveness ของแป้งโดสูตร BCT00 ที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง (รูปที่ 4.2) ซึ่งย่อมมีผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล ค่า Springiness ของแป้งโดสูตร BFS10 BFS20 และ BFS30 แตกต่างจากแป้งโดสูตรควบคุม BCT00 อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ การผสมเมล็ดลินินในปริมาณเพียงแค่ว่า 10% ก็สามารถส่งผลให้ค่า Springiness ลดลง แต่การเพิ่มปริมาณเมล็ดลินินจาก 10% เป็น 20% และ 30% ก็ไม่ได้มีผลให้ค่านี้สูงขึ้น ในส่วนของค่า Cohesiveness นั้นพบว่าแป้งโดสูตรควบคุม BCT00 ไม่มีความแตกต่างกับแป้งโดสูตร BFS10 อย่างมีนัยสำคัญ แต่แตกต่างจากสูตร BFS20 กับ BFS30 นั่นคือเมล็ดลินินจะมีผลต่อค่า Cohesiveness ของแป้งโด ก็ต่อเมื่อมีการผสมในปริมาณตั้งแต่ 20% ขึ้นไป โดยรวมจะเห็นได้ว่าการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10% - 30% นั้นไม่ได้มีผลให้ค่า Adhesiveness Springiness และ Cohesiveness ของแป้งโดเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ

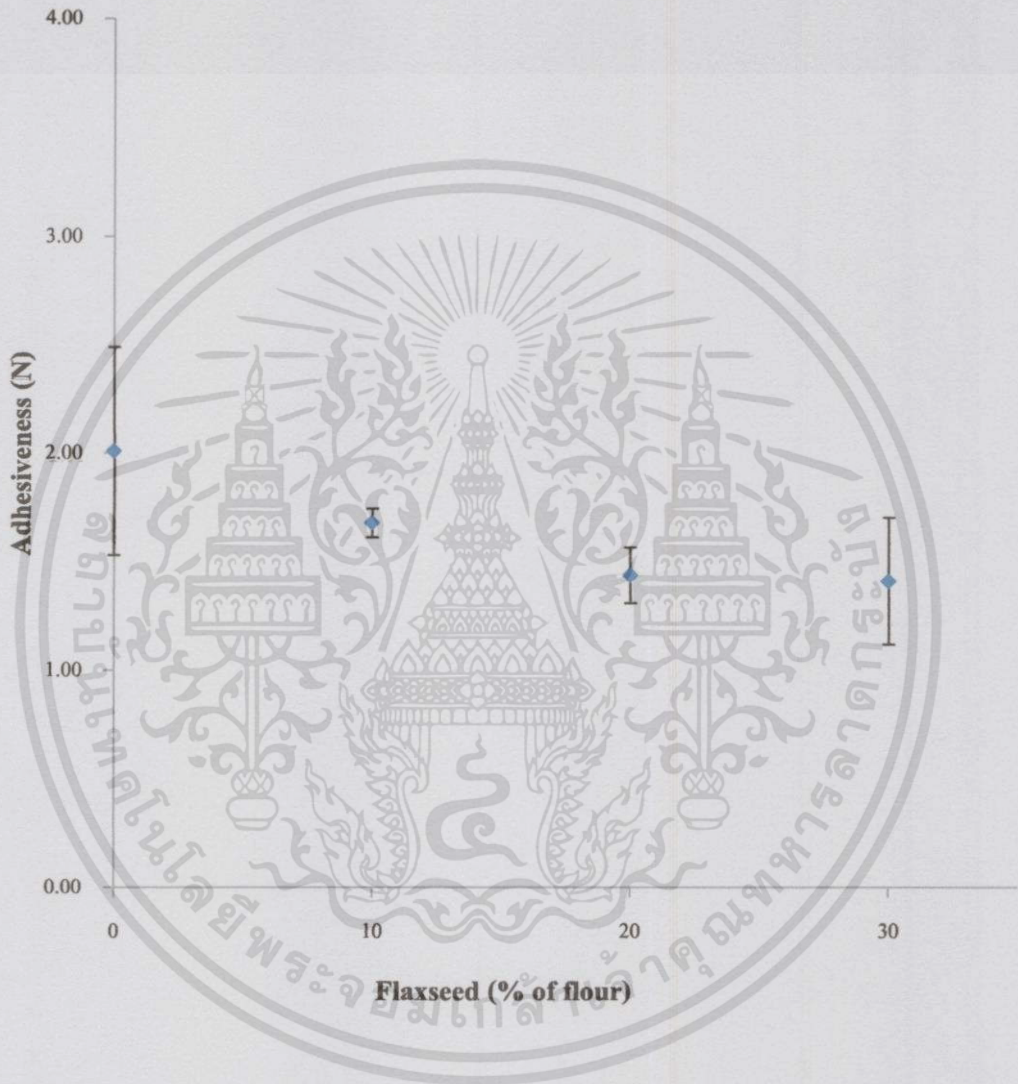
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งสาลีประกอบด้วยโมเลกุลไกลอะดินและกลูเตนินในสัดส่วนที่เท่า ๆ กัน ซึ่งมีพันธะ
 ไคซัลไฟด์ทั้งคู่ แต่พันธะของไกลอะดินจะเป็นในลักษณะของการเชื่อมภายในโมเลกุล
 (Intramolecular bonding) ส่วนกลูเตนินเป็นการเชื่อมระหว่างโมเลกุล (Intermolecular
 bonding) ลักษณะที่แตกต่างกันนี้เกิดจาก เนื่องจากองค์ประกอบของกรดอะมิโนในสายพอลิเพปไทด์
 แตกต่างกัน จึงทำให้ไกลอะดินและกลูเตนินมีลักษณะต่างกันในทางกายภาพ ไกลอะดินมีคุณสมบัติใน
 การไหลได้ดีกว่ากลูเตนินที่มีลักษณะเหนียวคล้ายยาง เมื่อผสมแป้งสาลี กับน้ำ และส่วนผสมอื่นๆ จะ
 ทำให้กลูเตนิน และไกลอะดินเกิดการรวมตัวกันเป็นกลูเตนซึ่งมีลักษณะที่เหนียว และมีความยืดหยุ่น
 พอดี สามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์ ทำให้รักษารูปร่างของผลิตภัณฑ์ เมื่อ
 มีการผสมเมล็ดลีนลงในขนมปัง เมล็ดลีนินจะแทรกตัวเข้าไปอยู่ในโครงร่างของขนมปัง ดังนั้นการ
 รวมตัวกันของไกลอะดินและกลูเตนินเพื่อเกิดเป็นโครงสร้างของกลูเตนอาจเกิดขึ้นได้น้อย (จรรยา และ
 คณะ, 2554) ทำให้ค่า Springiness Adhesiveness และ Cohesiveness ลดลง และการลดลงของ
 ความสามารถในการกักเก็บก๊าซ และความชื้นก็ย่อมส่งผลให้ค่า Hardness ของแป้งโดเพิ่มขึ้น
 นอกจากนี้เมล็ดลีนินยังมีโครงสร้างที่แข็ง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเมล็ดลีนินในขนมปังอาจเป็นอีก
 สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่า Hardness ของแป้งโดเพิ่มขึ้น



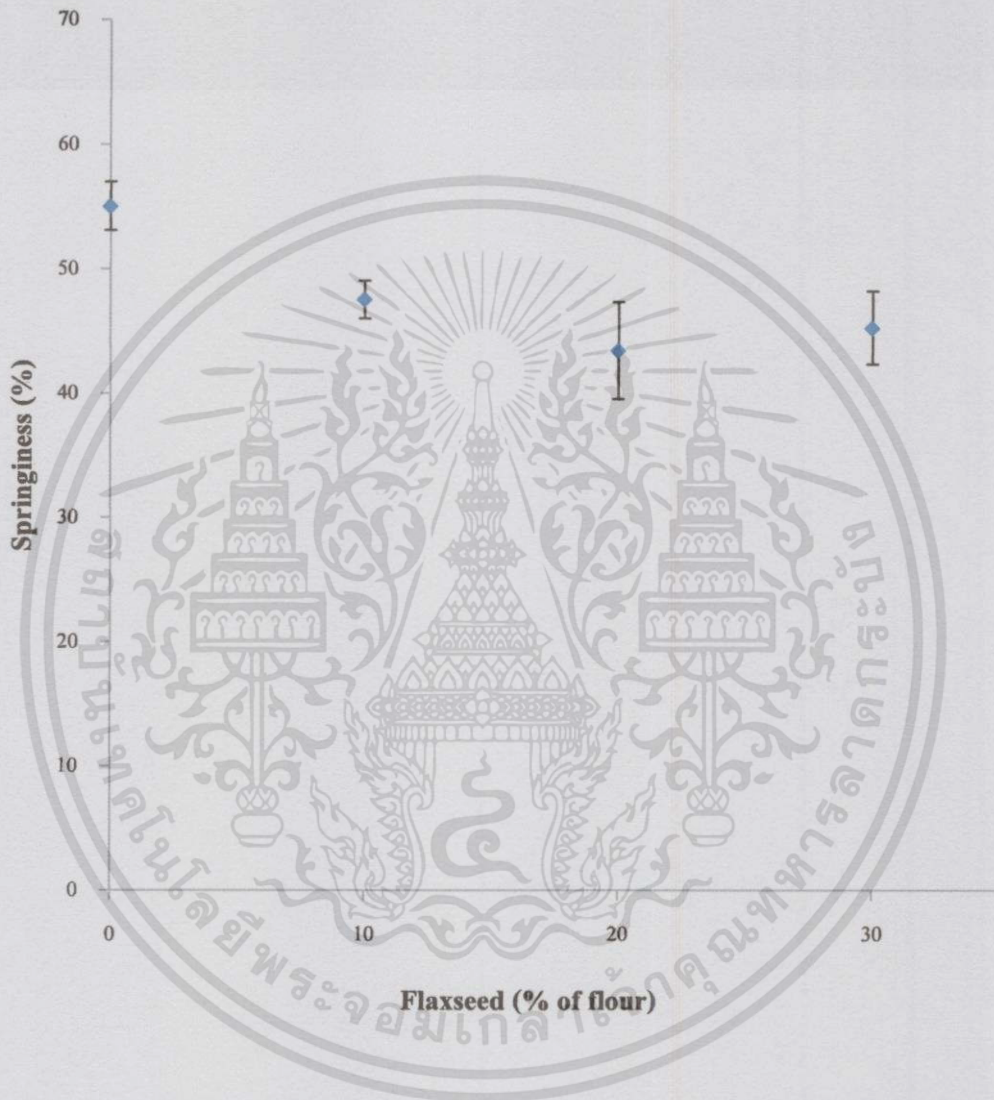
รูปที่ 4.1 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Hardness ของแป้งโด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.2 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Adhesiveness ของแป้งโด

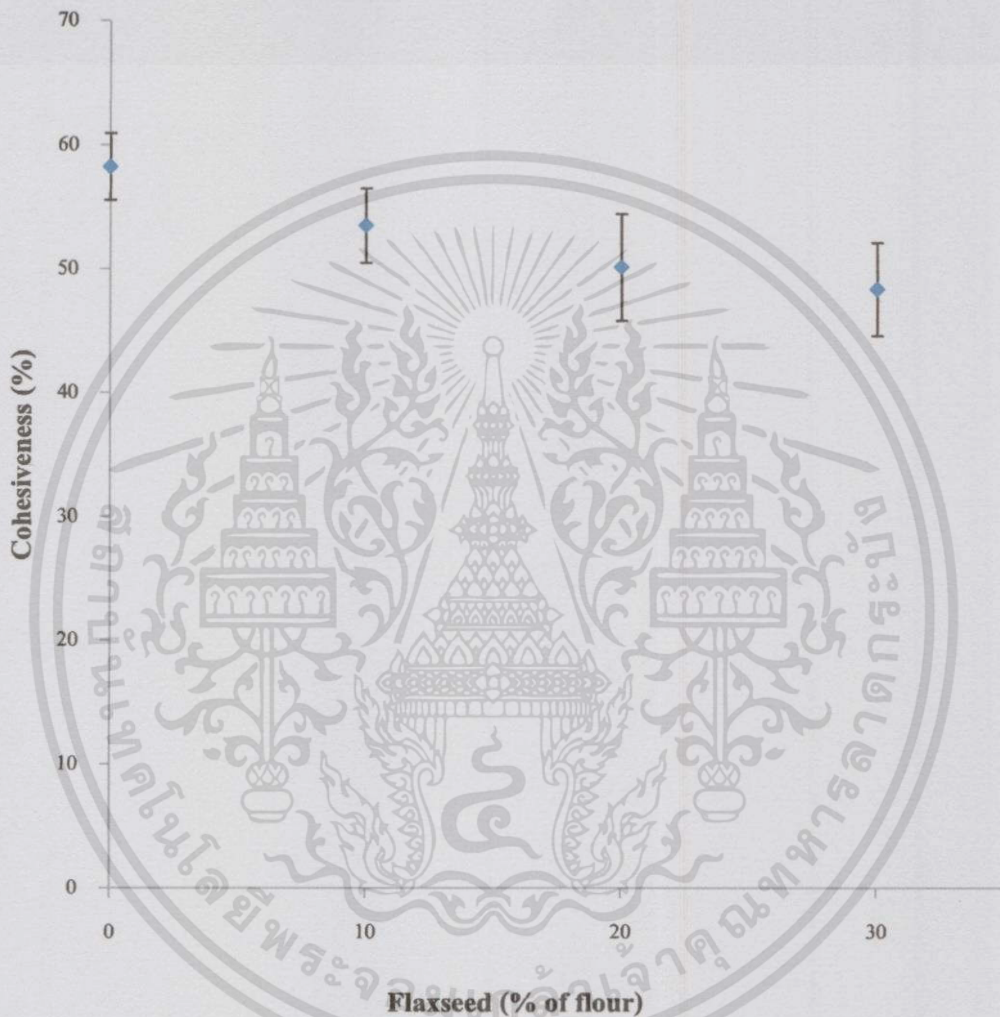
ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.3 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Springiness ของแป้งโด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Cohesiveness ของแป้งโด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด

สูตร	Hardness (N)	Adhesiveness (N)	Springiness (%)	Cohesiveness (%)
BCT00	2.71 ± 0.04 ^a	2.01 ± 0.48	55.03 ± 1.95 ^a	58.23 ± 2.69 ^a
BFS10	3.57 ± 0.46 ^a	1.68 ± 0.07	47.52 ± 1.50 ^b	53.46 ± 3.00 ^{ab}
BFS20	4.69 ± 0.89 ^b	1.44 ± 0.13	43.41 ± 3.89 ^b	50.07 ± 4.30 ^b
BFS30	4.91 ± 0.12 ^b	1.41 ± 0.29	45.22 ± 2.93 ^b	48.28 ± 3.74 ^b

^{a, b}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2 อิทธิพลของเมล็ดลีนินต่อคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพที่ผลิตจากแป้งโดสด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ โดยพิจารณา ค่า Firmness Springiness ปริมาตรจำเพาะ และความชื้น แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 – 4.8 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าค่า Firmness ของขนมปังสูตรที่ไม่มีเมล็ดลีนินประมาณ 14.7 N ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสุดในสูตรทั้งหมด การผสมเมล็ดลีนินในปริมาณ 10% ทำให้ค่า Firmness ของขนมปังสูงขึ้นเป็น 24.6 N และค่านี้ไม่ได้เพิ่มสูงขึ้นมากนักเมื่อมีการเพิ่มปริมาณผสมเมล็ดลีนิน (รูปที่ 4.5) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) พบว่า ค่า Firmness ของขนมปังสูตร BFS10 แตกต่างกับสูตรควบคุม BCT00 อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามขนมปังทั้ง 3 สูตรที่มีการเติมเมล็ดลีนิน (BFS10 BFS20 และ BFS30) มีค่า Firmness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือการผสมเมล็ดลีนินแม้เพียง 10% ก็สามารถทำให้ Firmness ของขนมปังสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่มีเมล็ดลีนิน อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณเมล็ดลีนินให้สูงขึ้นเป็น 20 – 30% นั้นไม่ได้มีผลให้ค่า Firmness เปลี่ยนแปลงไปจากการเติมเมล็ดลีนินปริมาณเพียง 10%

จากกราฟในรูปที่ 4.6 – 4.8 จะเห็นได้ว่าขนมปังสูตรที่ไม่มีเมล็ดลีนินมีค่า Springiness ปริมาตรจำเพาะ และความชื้นสูงที่สุด และค่าเหล่านี้มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลีนินลงในขนมปัง

ขนมปังที่ไม่มีเมล็ดลีนินมีค่า Springiness ประมาณ 86% และมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนตามความเข้มข้นของเมล็ดลีนินที่เติมลงไป (รูปที่ 4.6) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ค่า Springiness ของขนมปังลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการผสมเมล็ดลีนิน โดยขนมปังทั้ง

3 สูตรที่มีการเติมเมล็ดลินิน (BFS10 BFS20 และ BFS30) มีความแตกต่างกับขนมปังสูตรควบคุม BCT00 และ พบอีกว่าเมื่อเพิ่มเมล็ดลินินจาก 10% (BFS10) เป็น 20% (BFS20) ค่า Springiness ของขนมปังได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเพิ่มเมล็ดลินินจาก 20% (BFS20) เป็น 30% (BFS30) นั้นไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า Springiness อย่างมีนัยสำคัญ

การผสมเมล็ดลินินมีผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของเมล็ดลินินจากค่าประมาณ $2.8 \text{ cm}^3/\text{g}$ ในสูตรที่ไม่มีเมล็ดลินิน เป็นประมาณ $2.1 \text{ cm}^3/\text{g}$ ในสูตรที่มีเมล็ดลินิน 30% (รูปที่ 4.7) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินปริมาตรจำเพาะของขนมปังจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังทุกสูตรที่เติมเมล็ดลินิน (BFS10 BFS20 และ BFS30) มีความแตกต่างกับขนมปังสูตรควบคุม BCT00 อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบขนมปังสูตรที่ผสมเมล็ดลินิน 10% (BFS10) กับสูตรที่ผสม 20% (BFS20) พบว่าขนมปังทั้งสองสูตรนี้มีปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามค่าปริมาตรจำเพาะจะลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินเพิ่มเป็น 30% (BFS30)

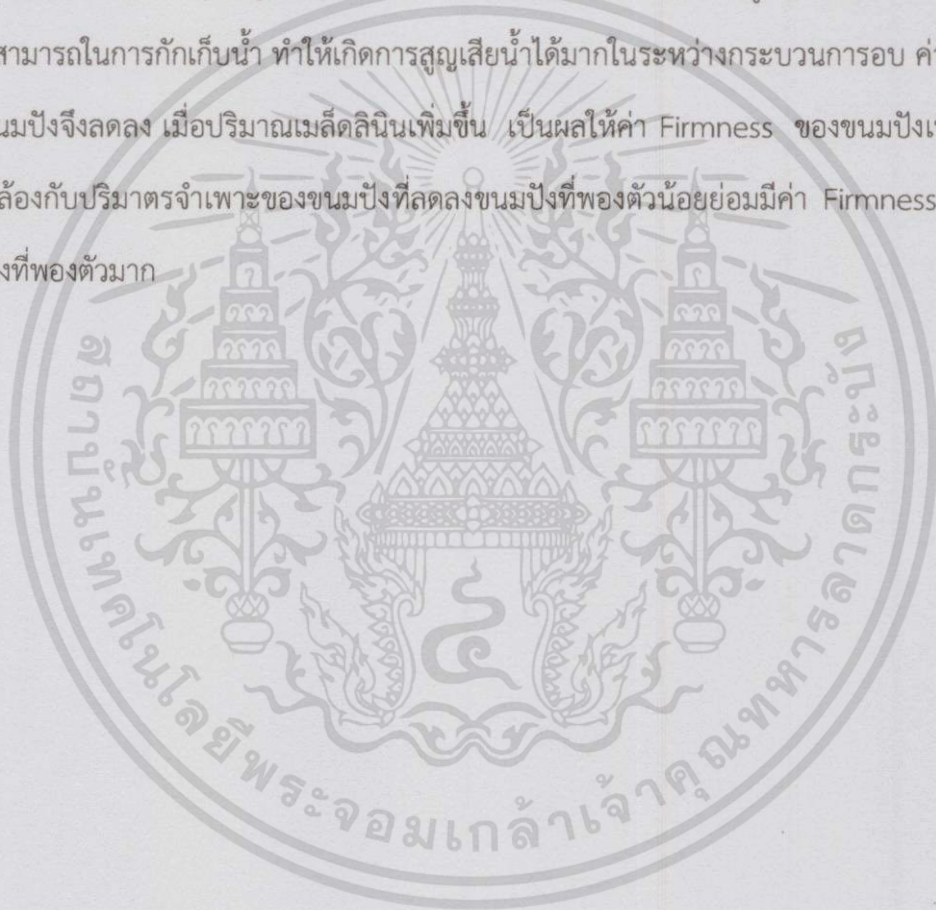
จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นของขนมปังมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลินิน ขนมปังสูตรที่ไม่มีเมล็ดลินินค่าความชื้นประมาณ 41%wb และลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการผสมเมล็ดลินิน ในปริมาณ 10% อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการลดลงของค่าความชื้นจะค่อนข้างชัดเจนเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณมากขึ้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) พบว่าค่าความชื้นของขนมปังสูตรผสมเมล็ดลินิน 10% (BFS10) ไม่มีความแตกต่างกับขนมปังสูตรควบคุม (BCT00) ค่าความชื้นจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณตั้งแต่ 20% ขึ้นไป และยังพบว่าการผสมเมล็ดลินินในปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 20% เป็น 30% จะทำให้ค่าความชื้นของขนมปังจะลดลง (จาก 39.6%wb เป็น 38.1%wb) อย่างมีนัยสำคัญ

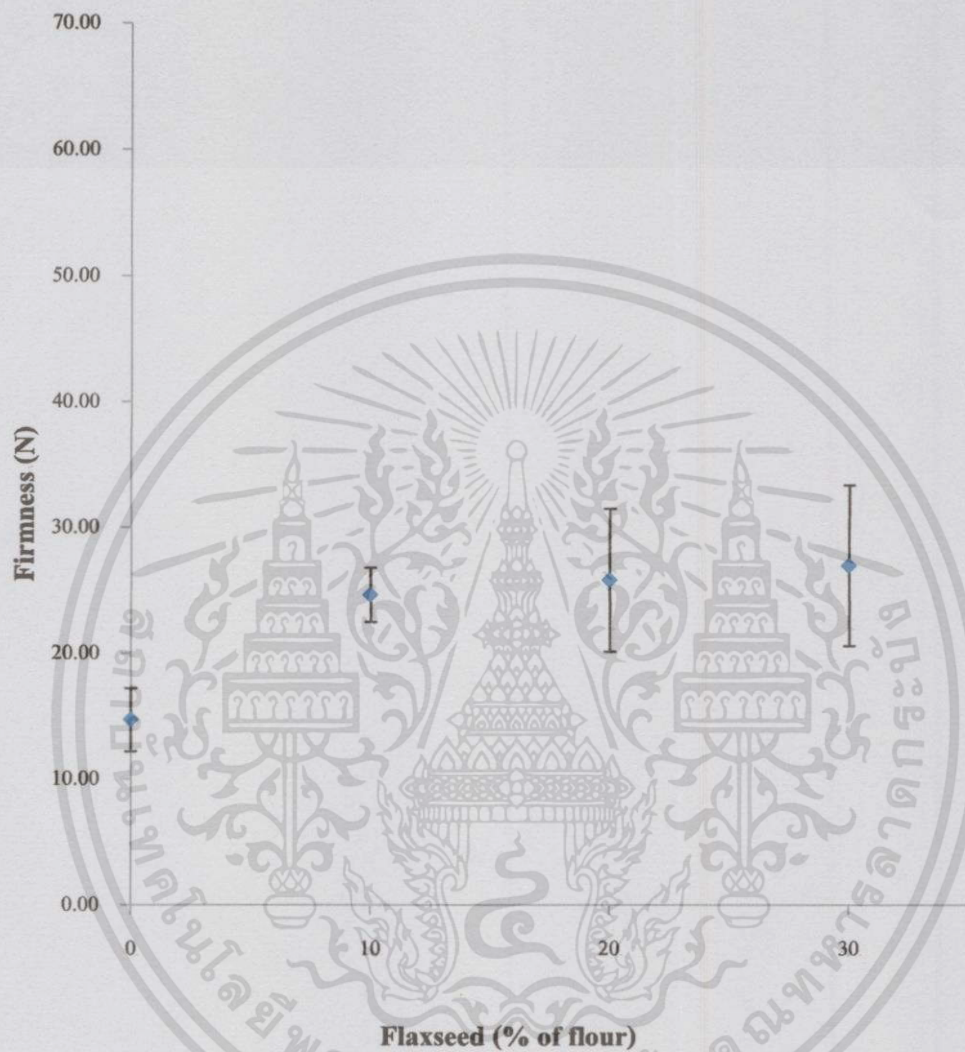
จากผลการทดลองโดยทั่วไป สามารถสรุปได้ว่าการผสมเมล็ดลินินแม้เพียง 10% ของน้ำหนักแป้งก็สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าปัจจัยทางคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ ซึ่งได้แก่ ค่า Firmness Springiness และปริมาตรจำเพาะ อย่างไรก็ตาม การเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวซึ่งสามารถวัดด้วยเครื่องมือนี้ก็ไม่ได้หมายความว่าผู้บริโภคจะไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

การเปลี่ยนแปลงของค่าปัจจัยคุณภาพในขนมปังสามารถอธิบายได้จากการการเปลี่ยนแปลง

ในแป้งโตเมื่อมีการผสมเมล็ดลินิน กล่าวคือลักษณะปรากฏของขนมปังขึ้นอยู่กับปริมาณโครงสร้างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

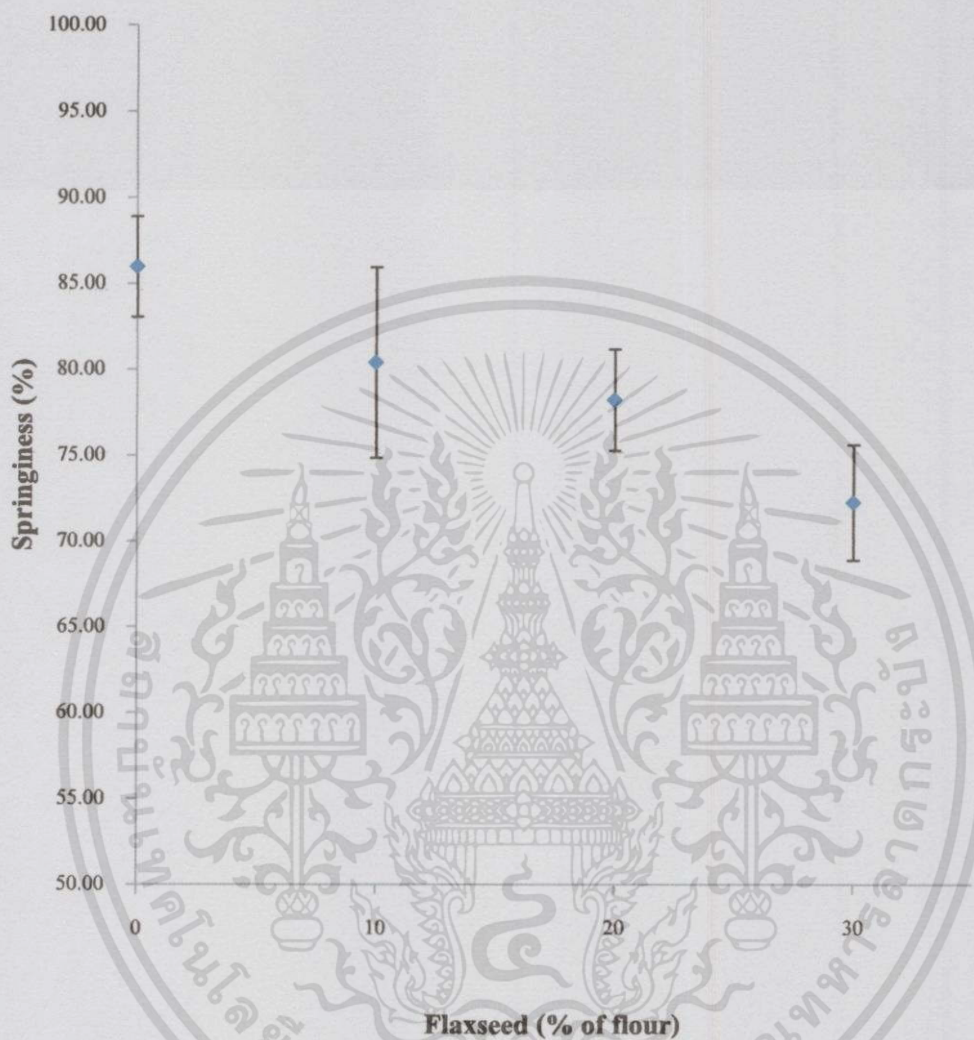
กลูเตนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผสมแป้งสาลี กับน้ำ และส่วนผสมอื่น ๆ เนื่องจากโครงสร้างกลูเตนสามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักได้ เมื่อมีการผสมเมล็ดลิวินเข้าไปในขนมปัง จะทำให้เมล็ดลิวินแทรกเข้าไปอยู่ในโครงร่างของขนมปัง และขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างกลูเตนิน และไกลอะดิน ทำให้โครงสร้างกลูเตนเกิดขึ้นได้น้อย ความสามารถในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักจึงลดลง ทำให้เกิดการพองตัวน้อยลง เป็นผลให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลง และเมื่อปริมาตรจำเพาะลดลง ขนมปังจึงมีความยืดหยุ่นน้อย ดังนั้นค่า Springiness จึงลดลง นอกจากนั้นแล้วปริมาณกลูเตนที่น้อยลง ยังส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บน้ำ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำได้มากในระหว่างกระบวนการอบ ค่าความชื้นของขนมปังจึงลดลง เมื่อปริมาณเมล็ดลิวินเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่า Firmness ของขนมปังเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ลดลงขนมปังที่พองตัวน้อยย่อมมีค่า Firmness มากกว่าขนมปังที่พองตัวมาก





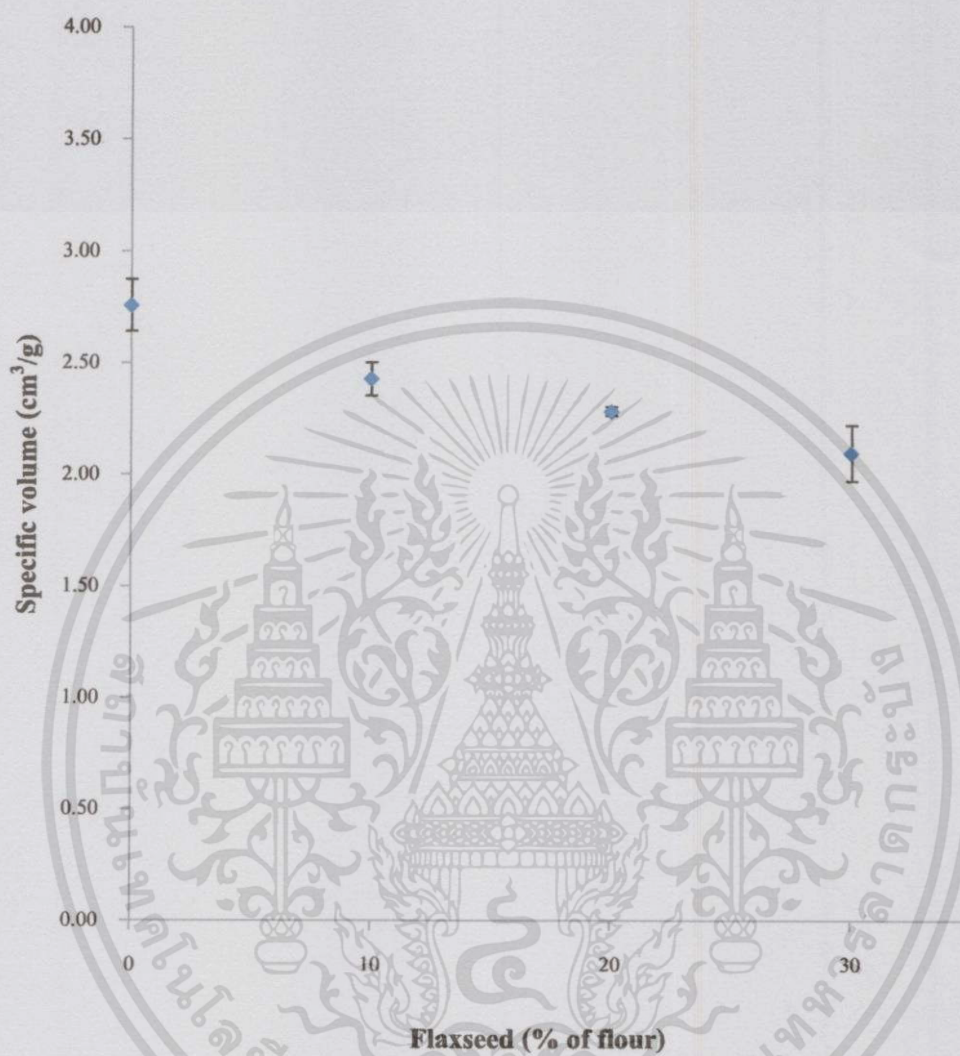
รูปที่ 4.5 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Firmness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.6 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Springiness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.7 ผลของเมล็ดลินินต่อค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.8 ผลของเมล็ดลินินต่อค่าความชื้นของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพที่ผลิตจากแป้งโดสด

สูตร	Firmness (N)	Springiness (%)	ปริมาตรจำเพาะ (cm ³ /g)	ความชื้น (%wb)
BCT00	14.69 ± 2.50 ^a	85.98 ± 2.93 ^a	2.76 ± 0.12 ^a	40.95 ± 0.99 ^a
BFS10	24.61 ± 2.16 ^b	80.37 ± 5.55 ^b	2.43 ± 0.07 ^b	40.72 ± 0.62 ^{ab}
BFS20	25.78 ± 5.68 ^b	78.19 ± 2.94 ^c	2.28 ± 0.02 ^b	39.62 ± 0.26 ^b
BFS30	26.91 ± 6.35 ^b	72.22 ± 3.36 ^c	2.10 ± 0.13 ^c	38.06 ± 0.35 ^c

^{a, b, c}: อักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 อิทธิพลของการแช่เย็นแป้งโดต่อคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสด และขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็น ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 7 วัน เป็นดังรูปที่ 4.9 – 4.12

จากการทดลองพบว่าการแช่เย็นแป้งโดเป็นผลให้ค่า Firmness ของขนมปังมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกสูตรอย่างชัดเจน (รูปที่ 4.9) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ 4.3 พบว่าค่า Firmness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดกับแป้งโดแช่เย็นทุกสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

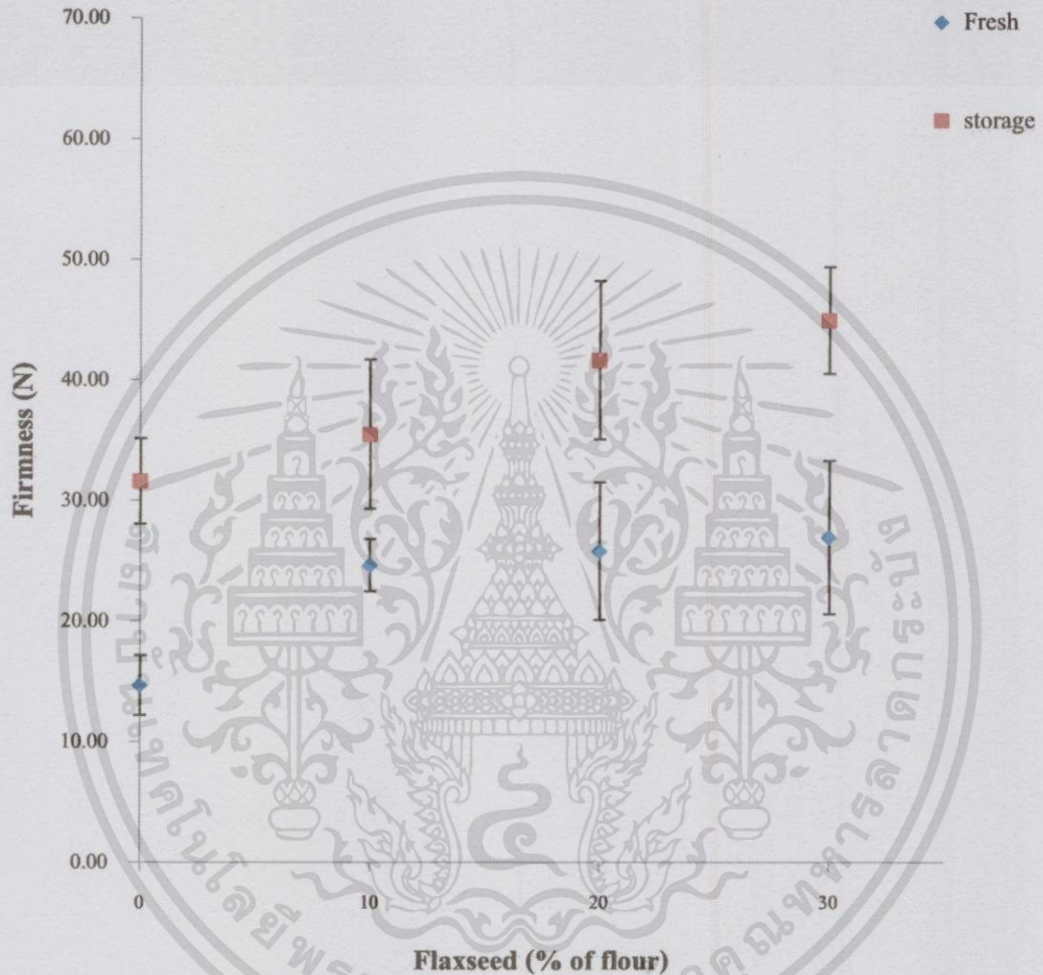
ค่า Springiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็นมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่ขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็นนั้น มีค่า Springiness มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าในทุกสูตร อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ 4.3 ชี้ให้เห็นว่าค่า Springiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็นนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การแช่เย็นแป้งโดมีแนวโน้มทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลงโดยเฉพาะขนมปังที่ไม่มีเมล็ดลินินซึ่งปริมาตรจำเพาะลดลงประมาณ 0.8 cm³/g แต่ในขนมปังที่มีการผสมเมล็ดลินินกลับพบว่า การแช่เย็นแป้งโดมีผลต่อค่าปริมาตรจำเพาะน้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์เมล็ดลินิน โดยเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10 20 และ 30% การลดลงของปริมาตรจำเพาะจะมีค่าประมาณ 0.6 0.5 และ 0.4 cm³/g ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) พบว่า ปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดกับแป้งโดแช่เย็นทุกสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

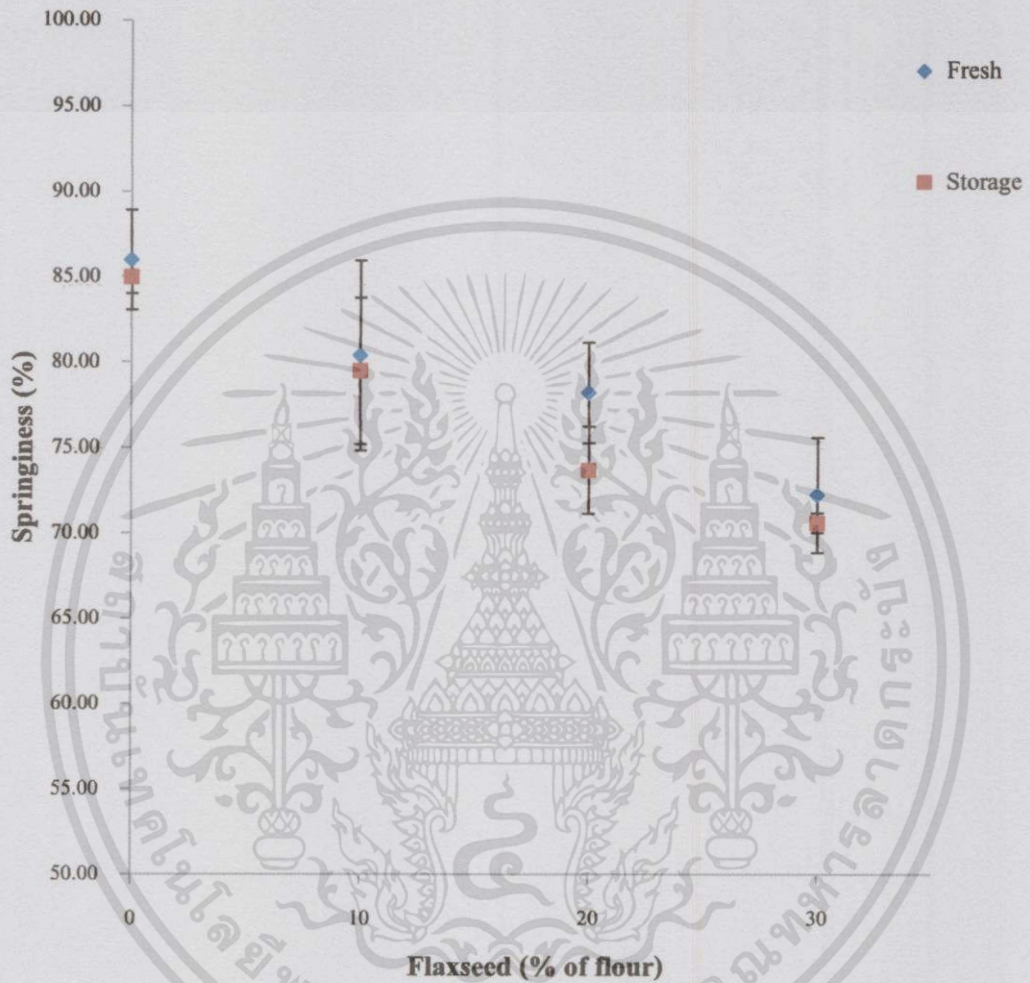
ผลของการแช่เย็นแบ่งโดต่อค่าความชื้นของขนมปังนั้นมีลักษณะคล้ายกับกรณีของค่าปริมาตรจำเพาะแต่เกิดขึ้นเฉพาะสูตรขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน และเกิดในลักษณะตรงกันข้าม กล่าวคือการแช่เย็นแบ่งโดมีผลให้ความชื้นของขนมปังขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินลดลง และจะลดลงมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์เมล็ดลินิน โดยเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10 20 และ 30% การลดลงของค่าความชื้นจะประมาณ 1.6 2.5 และ 3.3 %wb ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) พบว่าความชื้นของขนมปังทั้งสามสูตรที่ผสมเมล็ดลินิน (BFS10 BFS20 และ BFS30) ที่ผลิตจากแบ่งโดสดและแบ่งโดแช่เย็นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความชื้นของขนมปังสูตรควบคุม (BCT00) ที่ได้จากกระบวนการทั้งสองนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จะเห็นได้ว่า ขนมปังที่ผลิตจากแบ่งโดแช่เย็นจะมีคุณภาพที่ต่ำกว่าขนมปังที่ผลิตจากแบ่งโดสด เพราะมีค่า Firmness เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียความชุ่มชื้นของขนมปัง นอกจากนี้ขนมปังที่ผลิตจากแบ่งโดแช่เย็นจะมีการสูญเสียรสชาติ และกลิ่นหอมของขนมปัง ในระหว่างการเก็บรักษาแบ่งโดที่อุณหภูมิต่ำ ความเย็นระหว่างการเก็บรักษาจะชะลอการทำงานของยีสต์ เป็นผลให้ความสามารถในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่งผลให้ขนมปังเกิดการพองตัวน้อย ปริมาตรจำเพาะจึงน้อยกว่าขนมปังที่ทำจากแบ่งโดสดซึ่งอยู่ในสภาวะที่ยีสต์สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นเมื่อขนมปังมีการพองตัวน้อย จึงมีผลทำให้ Firmness ของขนมปังมากขึ้น และ Springiness ของขนมปังลดลง ในส่วนของปริมาณเมล็ดลินินที่มีการผสมเข้าไป จะมีผลต่อการเกิดโครงสร้างกลูเตน โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดลินิน จะทำให้โครงสร้างเกิดขึ้นได้น้อย ความสามารถในการกักเก็บปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์จึงลดลง ดังนั้นขนมปังสูตร BFS30 ที่ผลิตจากแบ่งโดแช่เย็น จึงมีค่า Firmness สูงสุด และมีค่า Springiness และปริมาตรจำเพาะต่ำที่สุด นอกจากนี้ขนมปังที่ผลิตจากแบ่งโดแช่เย็นสามารถสูญเสียความชื้นในระหว่างกระบวนการอบได้ง่ายกว่าขนมปังที่ผลิตจากแบ่งโดสด ดังนั้นขนมปังสูตร BFS30 ที่ผลิตจากแบ่งโดแช่เย็นจึงมีค่าความชื้นต่ำที่สุด

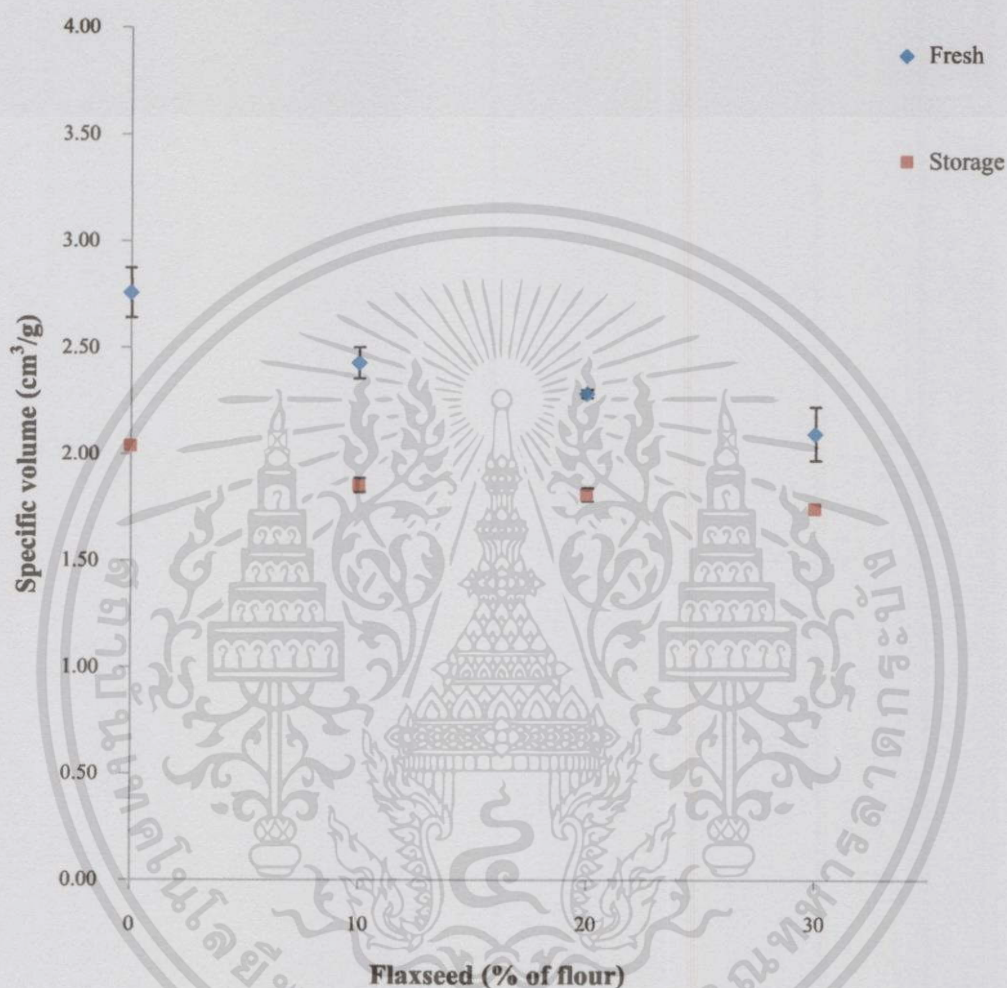


รูปที่ 4.9 ผลของการแช่เย็นแป้งโดต่อค่า Firmness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ

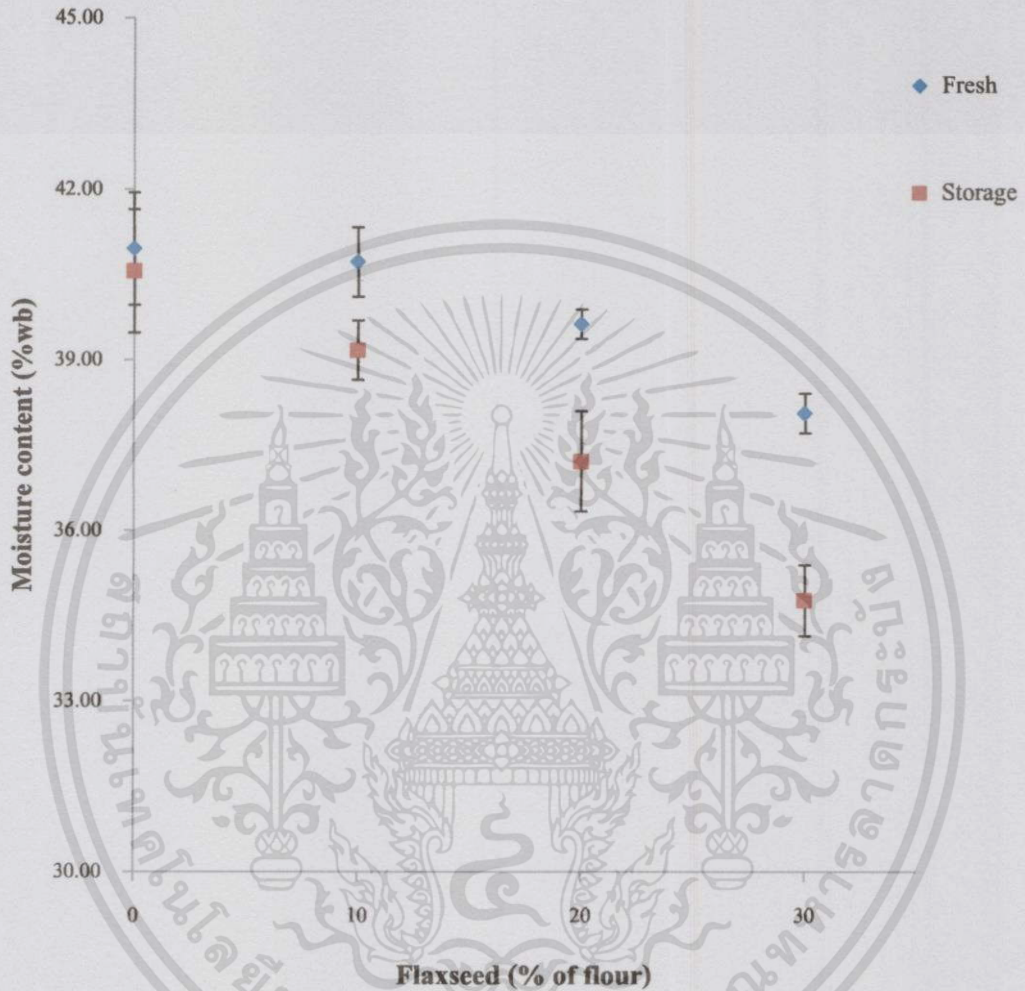
ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.10 ผลของการแช่เย็นแป้งโดต่อค่า Springiness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.11 ผลของการแช่เย็นแข็งโดต่อค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพื่อสุขภาพ
ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วน
เบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.12 ผลของการแช่เย็นแป้งโดต่อค่าความชื้นของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 คุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น

สูตร	การผลิต ขนมปัง	Firmness (N)	Springiness (%)	ปริมาตรจำเพาะ (cm ³ /g)	ความชื้น (%wb)
BCT00	แป้งโดสด	14.69 ± 2.50 ^a	85.98 ± 2.93	2.76 ± 0.12 ^a	40.95 ± 0.99
	แป้งโดแช่เย็น	31.59 ± 3.53 ^b	84.97 ± 0.96	2.04 ± 0.01 ^b	40.56 ± 1.08
BFS 10	แป้งโดสด	24.61 ± 2.16 ^a	80.37 ± 5.55	2.43 ± 0.07 ^a	40.72 ± 0.62 ^a
	แป้งโดแช่เย็น	35.47 ± 6.18 ^b	79.47 ± 4.28	1.85 ± 0.03 ^b	39.16 ± 0.52 ^b
BFS 20	แป้งโดสด	25.78 ± 5.68 ^a	78.19 ± 2.94	2.28 ± 0.02 ^a	39.62 ± 0.26 ^a
	แป้งโดแช่เย็น	41.59 ± 6.57 ^b	73.67 ± 2.55	1.81 ± 0.03 ^b	37.16 ± 0.88 ^b
BFS 30	แป้งโดสด	26.91 ± 6.35 ^a	72.22 ± 3.36	2.10 ± 0.13 ^a	38.06 ± 0.35 ^a
	แป้งโดแช่เย็น	44.89 ± 4.40 ^b	70.59 ± 0.57	1.74 ± 0.02 ^b	34.76 ± 0.63 ^b

^{a, b}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสด และขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็น

4.4 อิทธิพลของเมล็ดลินินต่ออัตราการ staling ของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ผลการทดลองเพื่อหาอัตราการ staling ของขนมปังเพื่อในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 10 วัน เป็นดังรูปที่ 4.14 ในงานทดลองนี้มีการสังเกตการ staling ของขนมปังโดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่า Firmness ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปค่า Firmness จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษา จากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Firmness จะค่อย ๆ ช้าลง แม้ว่าค่า Firmness ของสูตรควบคุมจะมีค่าต่ำที่สุดในตอนเริ่มต้น แต่หลังจากเก็บรักษาได้เพียง 1 วัน ค่า Firmness กลับเพิ่มขึ้นสูงกว่าสูตรอื่น ๆ ทั้งหมด ไปจนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้แสดงถึงอัตราการ staling ที่เร็วที่สุด ส่วนสูตร BFS30 ซึ่งมีการผสมเมล็ดลินิน 30% จะมีค่า Firmness สูงสุดในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา แต่หลังจากผ่านการเก็บรักษาไปประมาณ 2 วัน ค่า Firmness มีค่าต่ำที่สุด จนกระทั่งถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา แสดงถึงอัตราการ staling มีค่าช้าที่สุด เห็นได้ว่า การผสมเมล็ดลินินลงไปในขนมปังนั้น สามารถช่วยลดอัตราการ staling ลงได้

จากนั้นสมการ Avrami (1940) ได้ถูกนำมาใช้อธิบายอัตราการ staling ของขนมปัง เช่นเดียวกับงานของ Armero and Collar (1998) จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการดังกล่าวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear regression) ด้วยโปรแกรม SPSS โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของ k และ n เป็น 0.5 ทั้งคู่ ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยทั่วไปค่า k มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินลงไป จากงานวิจัยของ Ronda and Roos (2011) เกี่ยวกับผลของการเก็บรักษาขนมปังที่ไม่มีกลูเตน ที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าค่า k มีค่าเท่ากับ 0.44 d^{-1} และมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 1.5 วัน ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลองในงานนี้

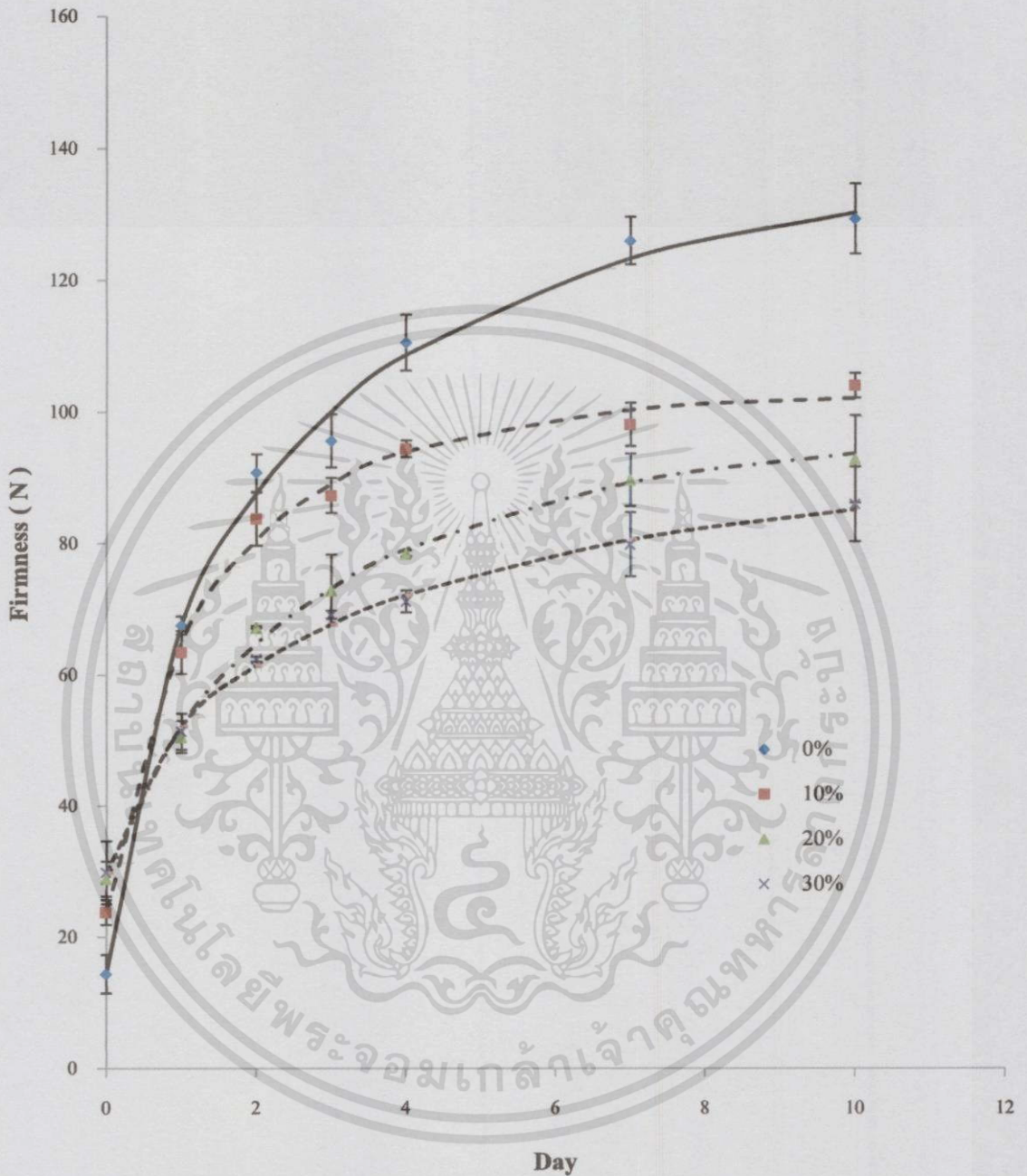
จากเส้นแนวโน้มที่ปรากฏในรูปที่ 4.13 ซึ่งสร้างจากสมการ Avrami (สมการที่ 3.1) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในตารางที่ 4.4 รวมทั้งค่า R^2 ที่คำนวณได้ จะเห็นได้ว่าจากสมการ Avrami สามารถอธิบายอัตราการ staling ของขนมปังได้ดี ค่าครึ่งชีวิตที่คำนวณได้จากสมการ 3.3 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นผลของเมล็ดลินินในการชะลออัตราการ staling ของขนมปัง ทำให้ขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินสามารถคงความสดใหม่ได้นาน

การ staling ของขนมปังเกิดจากการรวมตัวกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน การผสมเมล็ดลินินลงในขนมปัง อาจมีไปขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพกติน การคืนตัวของแป้งจึงลดลง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ staling ในขนมปัง คือการเกิดการคืนตัวของแป้ง (Ronda and Roos, 2011) ลักษณะเช่นนี้มีแนวโน้มคล้ายงานวิจัยของ ปรียาพร (2546) ที่ศึกษาการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลังคินตัว ซึ่งพบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งมันสำปะหลังคินตัวนั้น สามารถช่วยชะลอการ staling ลงได้ โดยสังเกตเห็นผลชัดเจนตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บ ไปจนถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยไม่ได้อธิบายถึงกลไกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการ staling ลดลง

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ Avrami และค่าครึ่งชีวิต

Formula	F_0 (N)	F_{∞} (N)	k (d^{-1})	n	R^2	Haft-life (Days)
BCT00	14.39	139.82	0.55	0.67	0.99	1.41
BFS10	23.82	102.90	0.73	0.79	0.98	0.94
BFS20	28.92	98.00	0.41	0.83	0.99	1.88
BFS30	29.86	93.60	0.43	0.67	0.99	2.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลของเมล็ดลินินต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ในระหว่างการเก็บรักษา

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองผสมเมล็ดลินินลงในสูตรขนมปังเพื่อสุขภาพสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การผสมเมล็ดลินินมีผลให้แป้งโดมีค่า Hardness สูงขึ้น แต่ค่า Springiness และค่า Cohesiveness ลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 20% ของน้ำหนักแป้งขึ้นไป อย่างไรก็ตาม การผสมเมล็ดลินินไม่ได้ส่งผลต่อค่า Adhesiveness ของแป้งโด
2. การผสมเมล็ดลินินแม้เพียง 10% ของน้ำหนักแป้ง ก็มีผลให้ขนมปังเพื่อสุขภาพมีค่า Firmness สูงขึ้น ส่วนค่า Springiness และ ปริมาตรจำเพาะลดลง แต่ความชื้นของขนมปังจะลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณอย่างน้อย 20% ของน้ำหนักแป้ง
3. ขนมปังเพื่อสุขภาพที่ผลิตจากแป้งโดสดมีคุณภาพดีกว่าขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็น การแช่เย็นแป้งโดมีผลให้ค่า Firmness ของขนมปังสูงขึ้น แต่ค่า Springiness ปริมาตรจำเพาะ และความชื้นลดลง
4. เมล็ดลินินสามารถชะลออัตราการ staling ของขนมปังเพื่อสุขภาพได้ ขนมปังที่มีการผสมเมล็ดลินินมีการ staling ในอัตราที่ช้าลงและมีค่าครึ่งชีวิตสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่เติมเมล็ดลินิน ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของขนมปังนานขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

คณะผู้จัดทำโครงการมีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป ดังนี้

1. ควรมีการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับอัตราการเหี่ยวในกระบวนการนวด เพื่อทราบถึงอัตราเหี่ยวมีผลต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของแป้งโดหรือขนมปังเพื่อสุขภาพ เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนากระบวนการผลิตขนมปังเพื่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลของเมล็ดลินินกับถั่วแดง หรือวัตถุดิบสำหรับขนมปังชนิดอื่นที่มีเส้นใยอาหารในปริมาณสูง ต่อคุณภาพขนมปัง เพื่อให้สามารถระบุปัจจัยภายในที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในแป้งโดและขนมปังได้
3. เนื่องจากการผสมเมล็ดลินินทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าปัจจัยคุณภาพในขนมปัง จึงควรมีการศึกษาเพื่อทดสอบด้านการยอมรับของผู้บริโภค (Sensory test) ควบคู่ไปกับการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ขวัญฤดี อินทริยะ และวชิระ ส่งจิตร. 2543. การใช้ทุเรียนผงเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้ก
คุกกี้และขนมปัง. ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จรียา สุขสวัสดิ์, จุติมา คล้ายจันทร์, ยุวรินทร์ สุทธิพงศ์พานิช, อรวรรณ ทองเรือง และอาภัสรา แสง
นาค. 2554. ผลของรีซิสแทนต์สตาร์ช ซูโครสเอสเทอร์ และไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส
ต่อคุณภาพ ของโดและขนมปัง. วารสารวิทยาศาสตร์ เกษตรศาสตร์ 42(2); 409-412

จันทนา ชัดดำ และพรพรรณ ไตรปิ่นเพชร. 2543. การเสริมไฟเบอร์จากชั่งขนุนผงในผลิตภัณฑ์
ขนมปัง เค้กและคุกกี้. ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นาค โพธิ์แทน. การปลูกถั่วแดงหรือถั่วเขียวนางแดง. 2556. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/rice/peanut.pdf>.

นิตนาม1. 2556. อาหารเพื่อสุขภาพหมายถึงอะไร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://pirun.ku.ac.th/~b521020095/healthfood.html>.

นิตนาม2. 2556. ความจริงเกี่ยวกับขนมปังโฮลวีท. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://health.kapook.com/view20898.html>.

นิตนาม3. 2556. ถั่วเขียว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki>.

นิตนาม4. 2556. ถั่วดำ มหัศจรรย์แห่งธัญพืช. 2556. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://tanchualee.com/forum/index.php?topic=81.0>.

นิตนาม5. 2556. คุณภาพและการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ขนมอบ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://kaset.psu.ac.th/PD/6_Quality.pdf.

บรรณานุกรม (ต่อ)

นิรนาม6. 2556. การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.sci.buu.ac.th/~food/www/img/doc/InstructionMedia-MeasuringTextureOfFood.pdf>.

นิรนาม7. 2556. งานวิจัยและพัฒนาถั่วแดงหลวง. 2556. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.ku.ac.th/e-magazine/may47/agri/bean.html>.

นิรนาม8. 2556. Flaxseed คืออะไรและมีประโยชน์อย่างไร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://health4friends.blogspot.com/2012/11/flax-seed.html>.

ประกอบ คุปรัตน์. 2556. ประโยชน์ของเมล็ดแฟลกซ์ (Flaxseed) เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ.

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://pracob.blogspot.com/2012/08/flaxseed.html>.

ปรียาพร ชุนดี. 2546. การทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังคินตัว ต่อความไม่สดในขนมปัง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรศรี เหล่ารุจิสวัสดิ์. "อาหารเพื่อสุขภาพ". 2556. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.egg-thailand.com>.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Mung bean/ถั่วเขียว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2889>.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Dough / โด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0292>.

เพ็ญพิชญา วัฒนศิริ, ยุวดี รัฐสภาพรชัย และศิวพร เลิศมณฑากวิน. 2547. การศึกษาคุณสมบัติของโดและคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- ยุพร พิษกมฺุทร และวิญญู์ ผิวนิม. 2554. การปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแช่แข็งที่ใช้อากั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลี. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 21.
- สวรัชช์ จันทรเทพธิมากุล. 2551. คุณสมบัติทางรีโอโลยีของโดและผลิตภัณฑ์อาหารเข้าสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรรถพร แสงฉาย, กัญศิญา กาวีระ และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2553. ผลของการเสริมไบโอมะรุ่มต่อคุณภาพของขนมปัง. วารสารวิทยาศาสตร์ เกษตรศาสตร์ 41(3/1); 349-352.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กราฟฟิคแอนด์ปรินติงเซ็นเตอร์. กรุงเทพฯ.
- อัมพวัน ต้นสกุล. 2551. สมบัติทางวิศวกรรมของอาหารและวัสดุชีวภาพ. ครั้งที่ 1. หจก.สามลดา, กรุงเทพฯ.
- AACC. 2000. *Approved Methods of the AACC*. 10th edition. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Armero, E. and Collar, C. 1998. Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. *Journal of Cereal Science* 28; 165-174.
- Avital, Y., Mannheim, C.H. and Miltz, J. 1990. Effect of carbon dioxide atmosphere on staling and water relations in bread. *Journal of Food Science* 55; 413-461.
- Avrami, M. 1940. Kinetics of phase change. II. Transformation-time relations for random distribution of nuclei. *Journal of Chemical Physics* 8; 212-224.
- Chinachoti, P. and Vodovotz, Y. 2001. **Bread Staling**. CRC Florida, Boca Raton.
- Corsetti, A., Gobbetti, M., Balestrieri, F., Paoletti, F., Russi, L. and Rossi, J. 1998. Sourdough lactic acid bacteria effects on bread firmness and staling. *Journal of Food Science* 63; 347-351.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ebadi, M. 2006. **Flaxseed**. In Ebadi, M. (Eds.), *Pharmacodynamic Basis of Herbal Medicine*. 2nd Edition., CRC Press; 341-342.
- Eckardt, J., Öhgren, C., Alp, A., Ekman, S., Åström, A., Chen, G., Swenson, J., Johansson, D. and Langton, M. 2013. Long-term frozen storage of wheat bread and dough effect of time, temperature and fibre on sensory quality, microstructure and state of water. *Journal of Cereal Science*. **57**; 125-133.
- Ghiasi, K., Hosney, R.C., Zeleznak, K. and Rogers, D.E. 1984. Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb. *Cereal chemistry* **61**; 281-285.
- Hibi, Y. 2001. Effect of retrograded waxy corn starch on bread staling. *Starch* **53**; 227-234.
- Hosney, R.C. 1994. **Principles of Cereal Science and Technology**. 2nd edition. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Sánchez-Alonso, I., Barroso, M. and Careche M. 2010. **Instrumental Texture**. In Toldrá F. (Eds.), *Sensory Analysis of Foods of Animal Origin*. CRC Press; 229-241.
- Jouppila, K., Kansikas, J. and Roos, Y.H. 1998. Factors affecting crystallization and crystallization kinetics in amorphous corn starch. *Carbohydrate Polymers* **36**; 143-149.
- Karaoglu, M.M., Kotancilar, H.G. and Celik, I. 2001. Effects of utilization of modified starches on the cake quality. *Starch* **53**; 162 – 169.
- Kent, N.L. 1983. **Technology of Cereals**. 3rd editon. Oxford: Pergamon Press.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Knightly, W.H. 1996. **Surfactants**. In Hebeda, R.E. and Zobel, H.F. (Eds.), *Baked Goods Freshness*, New York: Marcel Dekker; 65 – 103.
- Matsunaga, A. and Kainuma, K. 1986. Studies on the retrogradation of starch in starchy foods. Part 3: Effect of the addition of sucrose fatty acid ester on the retrogradation of corn starch. *Starch* **38**; 1-6.
- Matz, S.A. 1960. **Bakery – Technology and Engineering**. Connecticut: The AVI Publishing.
- Morgan, K.R., Gerrard, J., Every, D., Ross, M. and Gilpin, M. 1997. Staling in starch breads: The effect of antistaling α - amylase. *Starch* **49**; 54-59.
- Munzing, K. and Brack, G. 1991. DSC-studies of flour confectionery. *Thermochimica Acta*. **187**: 167-173.
- National Agricultural Library. **Nutrient Data Lab**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://ndb.nal.usda.gov/>. 2556.
- Nilufer, D., Serventi, L., Boyacioglu, D. and Vodovotz, Y. 2012. Effect of soy milk powder addition on staling of soy bread. *Food Chemistry* **131**; 1132- 1139.
- Ortega – Ojeda, F.E. and Eliasson, A.C. 2001. Gelatinization and retrogradation behaviour of some starch mixtures. *Starch* **53**; 520-529.
- Osvaldo, H.C., 2011. **Instrumental Techniques for Measurement of Textural and Rheological Properties of Foods**. In Cho Y.J. (Eds.), *Emerging Technologies for Food Quality and Food Safety Evaluation*. CRC Press; 5-53.
- Peressini, D., Peighambardoust, S.H., Hamer, R.J., Sensidoni, A. and Goot, A.J. 2008. Effect of shear rate on microstructure and rheological properties of sheared wheat dough. *Journal of Cereal Science*, **48**: 426-438.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ronda, F., Pedro, A.C., Joan, Q. and Yrjö, H.R. 2011. Staling of frozen partly and fully baked breads. Study of the combined effect of amylopectin recrystallization and water content on bread firmness. *Journal of Cereal Science* **53**; 97-103.
- Ronda, F., Yrjö, H.R., 2011. Staling of fresh and frozen gluten-free bread. *Journal of Cereal Science* **53**; 340-346.
- Saha, S., Gupta, A., Singh, S.R.K., Bharti, N., Singh, K.P., Mahajan, V. and Gupta, H.S. 2011. Compositional and varietal influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit. *LWT Food Science Technologies* **44**; 616-621.
- Salvador, A., Sanz T. and Fiszman, S.M. 2006. Dynamic rheological characteristics of wheat flour-water doughs. Effect of adding NaCl, sucrose and yeast. *Food Hydrocolloids* **20**; 780-786.
- Setser, C.S. 1996. **Sensory methods**. In Hebeda, R.E. and Zobel, H.F. (Eds.), *Baked Goods Freshness*, New York: Marcel Dekker; 171-187.
- Smith, J.P. and Simpson, B.K. 1996. **Modified atmosphere packaging**. In Hebeda, R.E. and Zobel, H.F. (Eds.), *Baked Goods Freshness*, New York: Marcel Dekker; 205-238.
- Vicia faba, L., 2011. **Broad Bean**. In Gupta, U. S. (Eds.), *What's New About Crop Plants Novel Discoveries of the 21st Century*. Science Publishers; 316-329.
- Watson, K.S. and Boyle, P.J. 1996. **The consumer's perception**. In Hebeda, R.E. and Zobel, H.F. (Eds.), *Baked Goods Freshness*, New York: Marcel Dekker; 257-266.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Zaidel, D.N.A., Chin N.L., and Yusof Y.A. 2010. A review on rheological properties and measurements of dough and gluten. **Journal of Applied Sciences** 10; 248-249.

Zobel, H.F. and Kulp, K. 1996. **The staling mechanism**. In Hebeda, R.E., Zobel, H.F. (Eds.), **Baked Goods Freshness: Technology, Evaluation and Inhibition of Staling**. Marcel Dekker, New York; 1-64.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแป้งโดและคุณภาพของขนมปัง

ก.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแป้งโด

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส หัวกดแบบกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm (P50)

วิธีการทดลอง

1. เก็บตัวอย่างแป้งโด ขนาด 30 g คลึงเป็นก้อนกลม
2. ทดสอบสมบัติเชิงรีโอโลยีของแป้งโดโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยการวัดแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างขนมปังลงไปเป็นระยะทาง 50% ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Typical Texture Expert™ และมีรายละเอียดการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

Mode: Texture Profile Analysis (TPA)

Pre-Test Speed: 2.0 mm/s

Test Speed: 2.0 mm/s

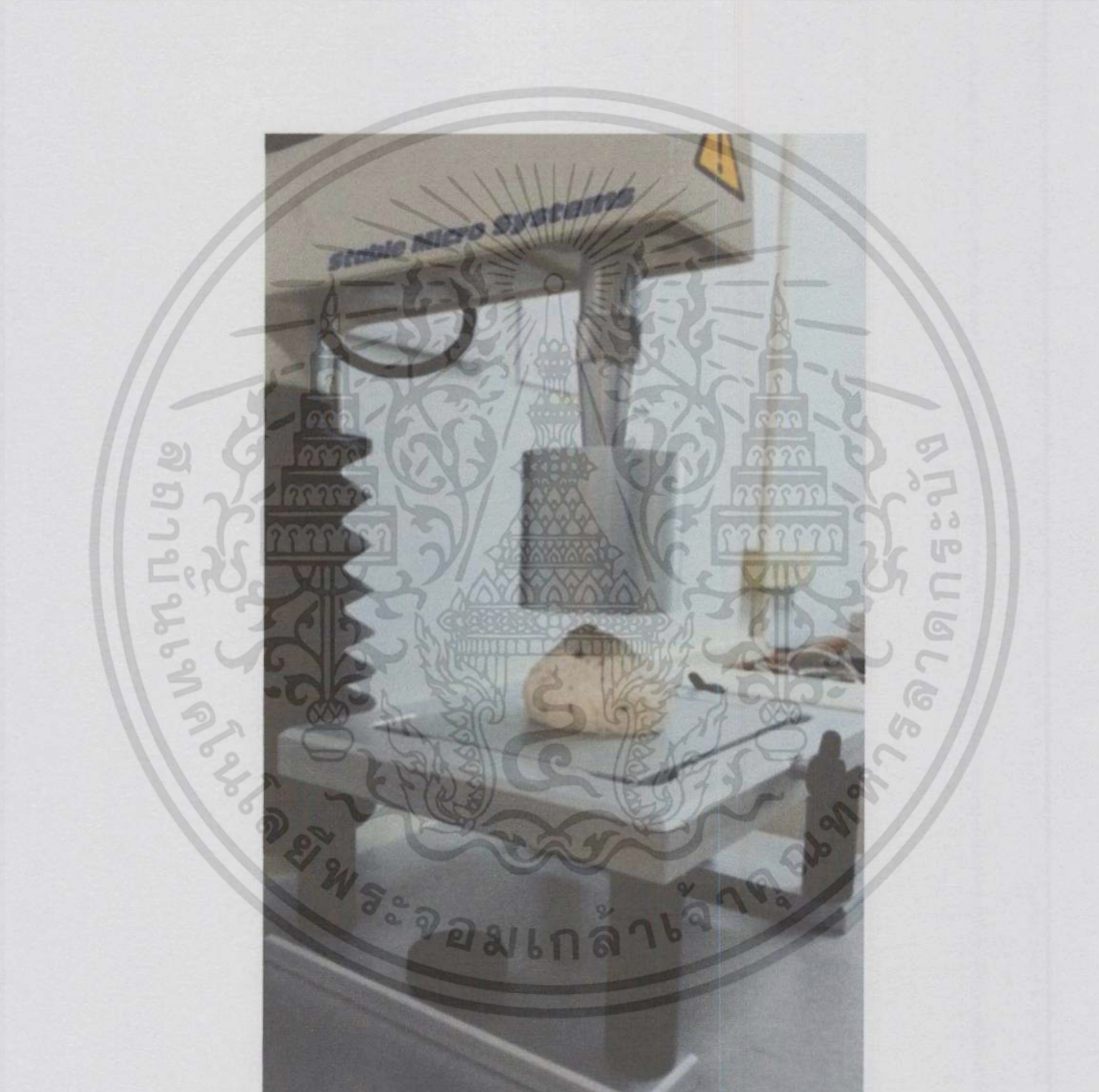
Post-Test Speed: 10.0 mm/s

Strain: 50%

Time: 5 sec

Force Trigger: 5 g

3. ใช้หัวกดแบบกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm (P50) และ 5 kg load cell
4. วางชิ้นตัวอย่างตรงกึ่งกลางของหัวกด ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนชิ้นตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง (ทำ 10 - 15 ซ้ำ/สูตร)



รูปที่ ก.1 ลักษณะการวางชิ้นตัวอย่างแปงโด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์ค่า Springiness ของขนมปัง

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส
2. หัวกดแบบกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm (P50)
3. ไม้บรรทัด
4. มีดแบบฟันเลื่อย

วิธีการทดลอง

1. ตัดขนมปังเป็นแผ่นหนา 2 cm
2. ทดสอบค่า Springiness ของเนื้อขนมปังโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยการวัดแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างขนมปังลงไปเป็นระยะทาง 50% ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Typical Texture ExpertTM และมีรายละเอียดการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

Mode:	Texture Profile Analysis (TPA)
Pre-Test Speed:	2.0 mm/s
Test Speed:	2.0 mm/s
Post-Test Speed:	10.0 mm/s
Strain:	50%
Time:	5 sec
Force Trigger:	5 g

3. ใช้หัวกดแบบกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm (P50)
4. วางชิ้นตัวอย่างตรงกึ่งกลางของหัวกด ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนชิ้นตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง (ทำ 2 - 4 ซ้ำ/สูตร)

ก.3 การวิเคราะห์ค่า Firmness ของขนมปัง

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส
2. หัวกดแบบกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm (P50)
3. ไม้บรรทัด
4. มีดแบบฟันเลื่อย

วิธีการทดลอง

1. ตัดขนมปังเป็นแผ่นหนา 2 cm
2. ทดสอบค่า Firmness ของเนื้อขนมปังโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยการวัดแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างขนมปังลงไปเป็นระยะทาง 50% ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Typical Texture ExpertTM และมีรายละเอียดการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

Mode: Measure force in compression

Pre-Test Speed: 2.0 mm/s

Test Speed: 1.7 mm/s

Post-Test Speed: 10.0 mm/s

Strain: 50%

Force Trigger: 5 g

3. ใช้หัวกดแบบกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm (P50)
4. วางชิ้นตัวอย่างตรงกึ่งกลางของหัวกด ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนชิ้นตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง (ทำ 2 - 4 ซ้ำ/สูตร)



รูปที่ ก.2 ลักษณะการวางชิ้นตัวอย่างขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

อุปกรณ์

1. เมล็ดถั่วเขียว
2. ภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่กว่าก้อนขนมปัง ไม่ต้องมีฝาปิด
3. ถาดสำหรับวางภาชนะ
4. ไม้บรรทัดสำหรับปาดถั่วเขียวส่วนเกิน
5. เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
6. อุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวม ได้แก่ กรวย ขาดั่ง และภาชนะที่ทราบปริมาตร

วิธีการทดลอง

1. เมื่ออบขนมปังเสร็จแล้ว นำออกจากพิมพ์ พักไว้ให้ขนมปังเย็นตัวลง ชั่งน้ำหนักของขนมปัง
2. วัดความหนาแน่นของถั่วเขียว โดยนำถั่วเขียวใส่ลงในภาชนะทราบปริมาตรผ่านกรวย จนเต็ม โดยไม่มีการอัดแน่น ปาดถั่วส่วนเกินออก นำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณค่าความหนาแน่นรวม โดยความหนาแน่นของถั่วเขียว เท่ากับ น้ำหนักของถั่วเขียวหารด้วยปริมาตรของภาชนะ
3. วางภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมไว้ตรงกลางถาด เทถั่วใส่ภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมด้วยความเร็วสม่ำเสมอจนล้น ใช้ไม้บรรทัดปาดถั่วส่วนที่เกินออกโดยปาดจากตรงกลางออกสองข้าง เอาถั่วส่วนที่เกินออก เทถั่วที่อยู่ในภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมเก็บไว้
4. บรรจุขนมปังลงในภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยม เติมเมล็ดถั่วเขียวจากที่เก็บไว้ก่อนหน้าให้เต็มภาชนะ ปาดเมล็ดถั่วเขียวส่วนที่เกินจากขอบภาชนะออก
5. ชั่งน้ำหนักของเมล็ดถั่วเขียวส่วนเกิน
6. คำนวณหาปริมาตรของถั่วเขียวที่ถูกแทนที่ได้จาก

$$\text{ปริมาตรเมล็ดถั่วเขียวส่วนเกิน} = \frac{\text{น้ำหนักของถั่วส่วนเกิน}}{\text{ความหนาแน่นของถั่ว (bulk density)}}$$

7. คำนวณค่าปริมาตรจำเพาะโดย

$$\text{ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง (cm}^3\text{/g)} = \frac{\text{ปริมาตรเมล็ดถั่วเขียวส่วนเกิน}}{\text{น้ำหนักขนมปัง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AACC Method 44-15A

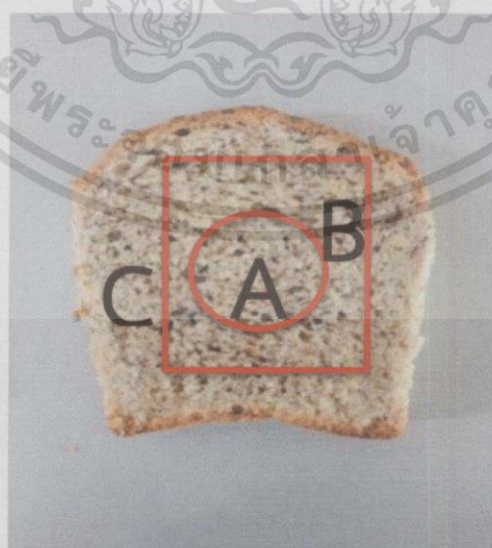
อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน Memmert รุ่น UM500
2. ภาชนะอลูมิเนียม มีฝาปิด
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 – 5 g จากบริเวณ A ดังรูปที่ ก.5.1 ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมซึ่งอบแห้งและทราบน้ำหนักแล้ว
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 16 - 18 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทำให้เย็นใน desiccator และชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาความชื้นจากสมการ

$$\text{ความชื้น (\%wb)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$



รูปที่ ก.3 บริเวณชั่งตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์หาความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปังเพื่อสุขภาพ

ข.1 เครื่องปั่นผสม



รูปที่ ข.1 เครื่องปั่นผสม Kitchen Aid รุ่น 5KSM150PSE

ข.2 เตาอบขนมปัง



รูปที่ ข.2 เตาอบขนมปัง Zanussi รุ่น ZOT103KX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ลักษณะของขนมปังเพื่อสุขภาพ

ค.3 ลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์

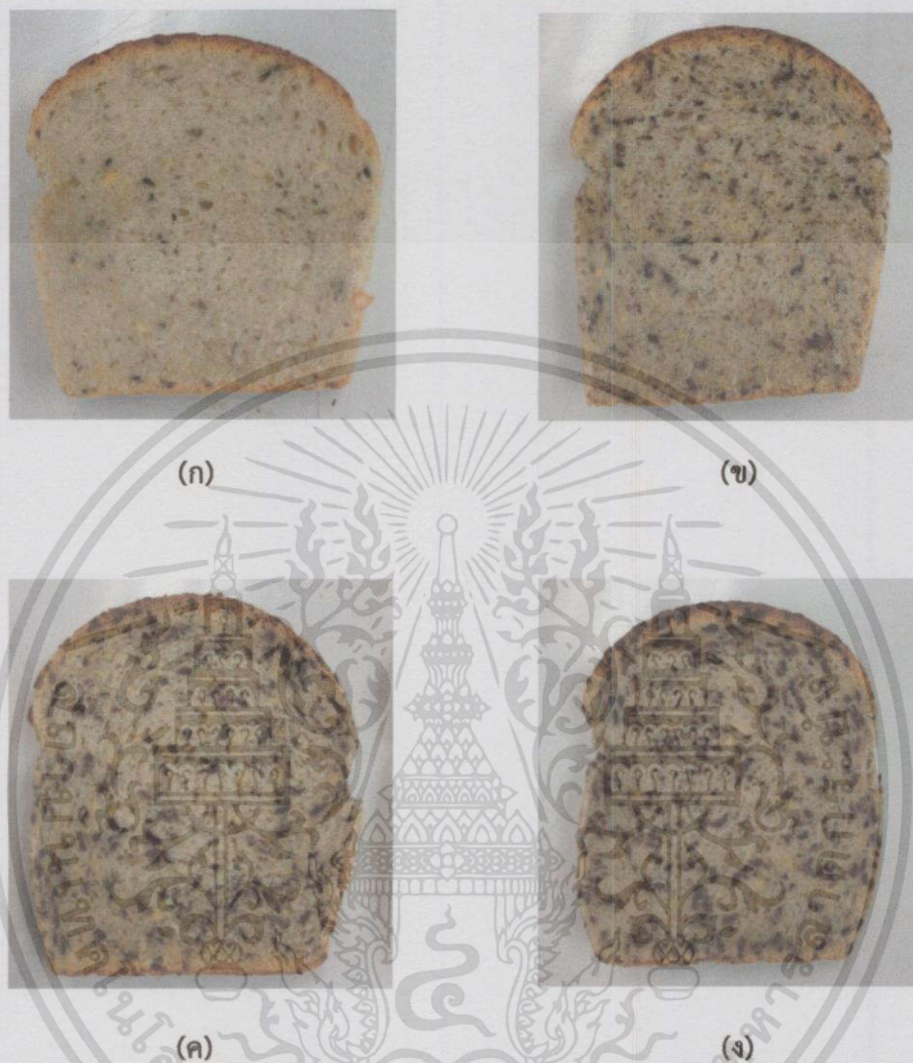


(ข)

รูปที่ ค.1 (ก) ลักษณะภายนอกของขนมปังเพื่อสุขภาพ (ข) วิธีการเก็บรักษาขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 ลักษณะภายในของผลิตภัณฑ์



รูปที่ ค.2 ลักษณะของขนมปังเพื่อสุขภาพ (ก) BCT00 (ข) BFS10 (ค) BFS20 และ (ง) BFS30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ง.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสของแป้งโด

Hardness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.422 ^a	3	3.141	12.331	.002
Intercept	189.160	1	189.160	742.646	.000
Formula	9.422	3	3.141	12.331	.002
Error	2.038	8	.255		
Total	200.620	12			
Corrected Total	11.460	11			

a. R Squared = .822 (Adjusted R Squared = .756)

Hardness

Duncan

Formula	N	Subset	
		1	2
BCT00	3	2.7146	
BFS10	3	3.5667	
BFS20	3		4.6900
BFS30	3		4.9100
Sig.		.072	.608

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .255.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Adhesiveness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Adhesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.696 ^a	3	.232	2.767	.111
Intercept	32.020	1	32.020	381.891	.000
Formula	.696	3	.232	2.767	.111
Error	.671	8	.084		
Total	33.387	12			
Corrected Total	1.367	11			

a. R Squared = .509 (Adjusted R Squared = .325)

Springiness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	235.052 ^a	3	78.351	10.547	.004
Intercept	27412.469	1	27412.469	3690.218	.000
Formula	235.052	3	78.351	10.547	.004
Error	59.427	8	7.428		
Total	27706.948	12			
Corrected Total	294.480	11			

a. R Squared = .798 (Adjusted R Squared = .723)

Springiness

Duncan

Formula	N	Subset	
		1	2
BFS20	3	43.4077	
BFS30	3	45.2172	
BFS10	3	47.5230	
BCT00	3		55.0326
Sig.		.114	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7.428.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cohesiveness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Cohesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	172.472 ^a	3	57.491	4.716	.035
Intercept	33087.486	1	33087.486	2714.231	.000
Formula	172.472	3	57.491	4.716	.035
Error	97.523	8	12.190		
Total	33357.481	12			
Corrected Total	269.995	11			

a. R Squared = .639 (Adjusted R Squared = .503)

Cohesiveness

Duncan

Formula	N	Subset	
		1	2
BFS30	3	48.2750	
BFS20	3	50.0745	
BFS10	3	53.4599	53.4599
BCT00	3		58.2303
Sig.		.119	.133

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 12.190.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.2 ผลวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสด

Firmness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Firmness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	283.947 ^a	3	94.649	4.533	.039
Intercept	6347.692	1	6347.692	303.993	.000
Formula	283.947	3	94.649	4.533	.039
Error	167.048	8	20.881		
Total	6798.687	12			
Corrected Total	450.995	11			

a. R Squared = .630 (Adjusted R Squared = .491)

Firmness			
Duncan			
Formula	N	Subset	
		1	2
BCT00	3	14.6927	
BFS10	3		24.6141
BFS20	3		25.7767
BFS30	3		26.9143
Sig.		1.000	.570

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 20.881.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Springiness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	361.460 ^a	3	120.487	19.419	.000
Intercept	71557.365	1	71557.365	11533.178	.000
Formula	361.460	3	120.487	19.419	.000
Error	49.636	8	6.204		
Total	71968.461	12			
Corrected Total	411.096	11			

a. R Squared = .879 (Adjusted R Squared = .834)

Springiness

Duncan

Formula	N	Subset		
		1	2	3
BFS30	3	70.5931		
BFS20	3	73.8462		
BFS10	3		79.4721	
BCT00	3			84.9734
Sig.		.148	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 6.204.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณจำเพาะ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SpecificVolume

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.705 ^a	3	.235	26.733	.000
Intercept	68.602	1	68.602	7798.987	.000
Formula	.705	3	.235	26.733	.000
Error	.070	8	.009		
Total	69.378	12			
Corrected Total	.776	11			

a. R Squared = .909 (Adjusted R Squared = .875)

SpecificVolume

Duncan

Formula	N	Subset		
		1	2	3
BFS30	3	2.0953		
BFS20	3		2.2827	
BFS10	3		2.4281	
BCT00	3			2.7579
Sig.		1.000	.094	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .009.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Moisture

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.684 ^a	3	5.228	13.542	.002
Intercept	19043.090	1	19043.090	49327.706	.000
Formula	15.684	3	5.228	13.542	.002
Error	3.088	8	.386		
Total	19061.863	12			
Corrected Total	18.773	11			

a. R Squared = .835 (Adjusted R Squared = .774)

Moisture

Duncan

Formula	N	Subset		
		1	2	3
BFS30	3	38.0564		
BFS20	3		39.6224	
BFS10	3		40.7157	40.7157
BCT00	3			40.9503
Sig.		1.000	.063	.656

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .386.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น

Firmness

ANOVA

Firmness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1420.519	1	1420.519	31.270	.000
Within Groups	999.402	22	45.427		
Total	2419.921	23			

Springiness

ANOVA

Springiness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23.261	1	23.261	.624	.438
Within Groups	820.737	22	37.306		
Total	843.998	23			

ปริมาตรจำเพาะ

ANOVA

SpecificVolume

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.684	1	1.684	39.959	.000
Within Groups	.927	22	.042		
Total	2.612	23			

ความชื้น

ANOVA

Moisture

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21.366	1	21.366	5.925	.024
Within Groups	79.336	22	3.606		
Total	100.702	23			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้