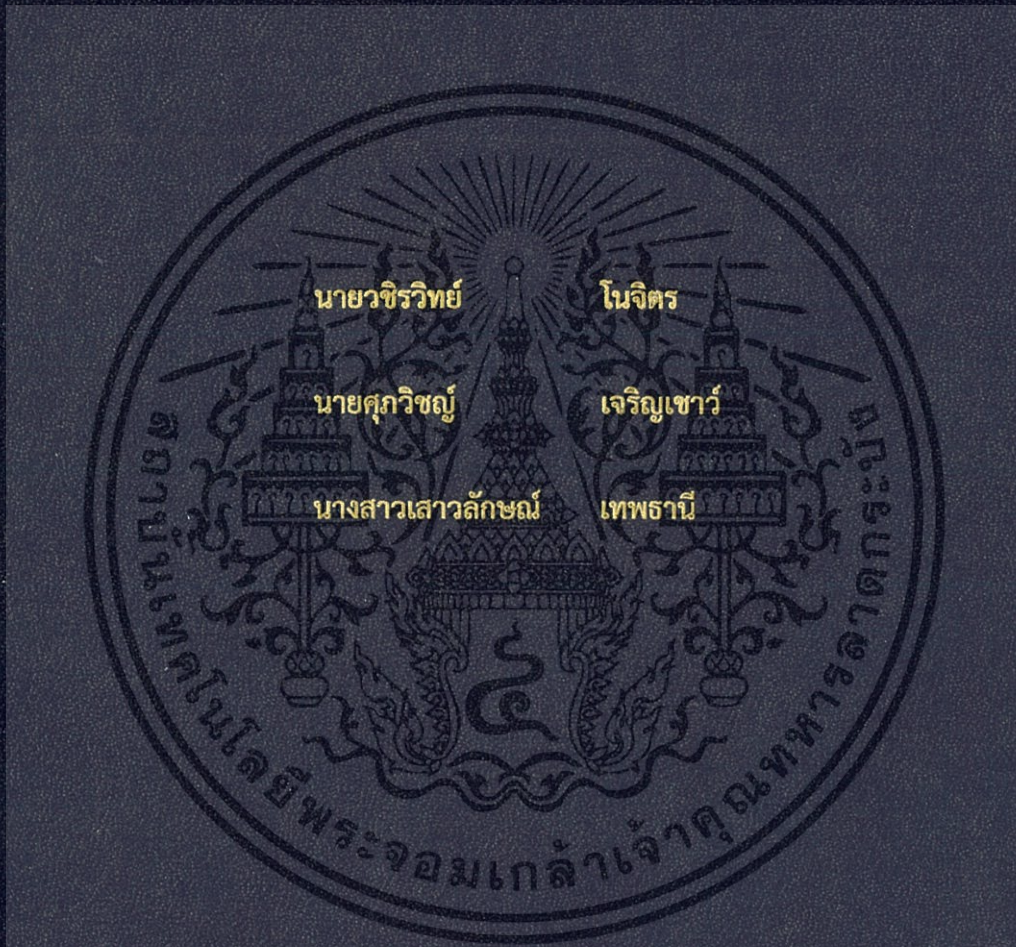


ผลของเมล็ดลินินต่อคุณลักษณะของแป้งโดและคุณภาพของขนมปัง

EFFECTS OF FLAXSEED ON DOUGH CHARACTERISTICS
AND QUALITIES OF BREAD



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

ผลของเมล็ดลินินต่อคุณลักษณะของแป้งโดและคุณภาพของขนมปัง

EFFECTS OF FLAXSEED ON DOUGH CHARACTERISTICS
AND QUALITIES OF BREAD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

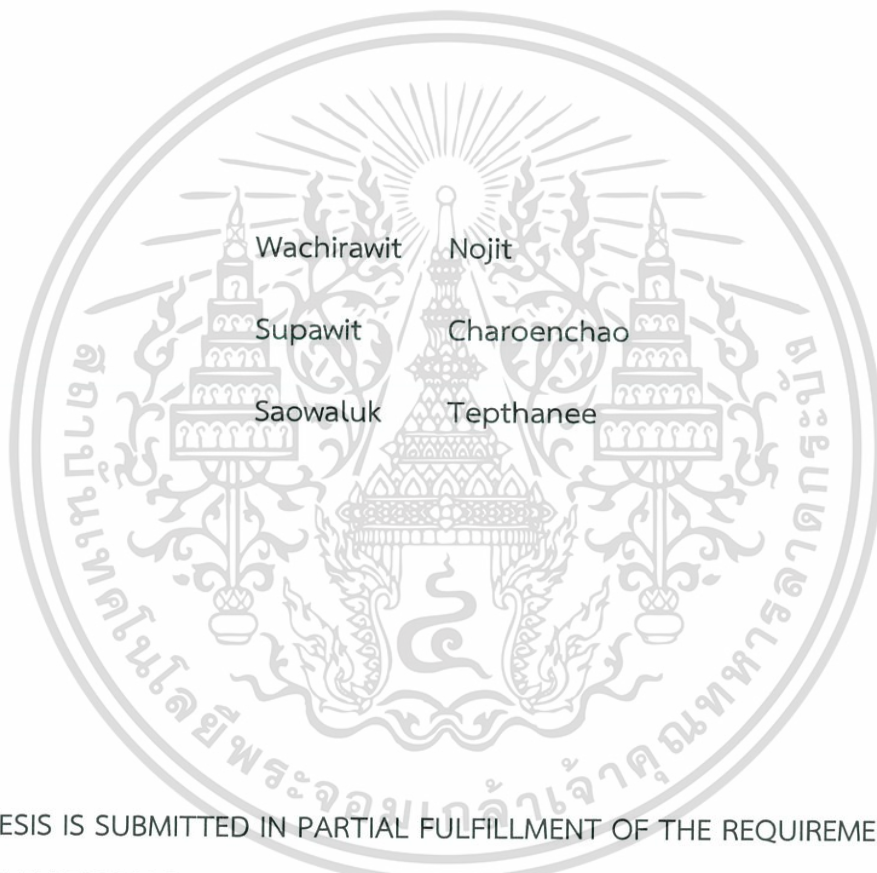
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECTS OF FLAXSEED ON DOUGH CHARACTERISTICS
AND QUALITIES OF BREAD



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 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของเมล็ดลินินต่อคุณลักษณะของแป้งโดและคุณภาพของขนมปัง

EFFECTS OF FLAXSEED ON DOUGH CHARACTERISTICS
AND QUALITIES OF BREAD

นักศึกษาผู้ทำโครงการ

1. นายวชิรวิทย์ โนจิตร
2. นายศุภวิชญ์ เจริญเชาว์
3. นางสาวเสาวลักษณ์ เทพธานี



(ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการงาน	ผลของเมล็ดลิ้นินต่อคุณลักษณะของแป้งโดและคุณภาพของขนมปัง	
นักศึกษา	นายชिरวิทย์	โนจิตร
	นายศุภวิชญ์	เจริญเชาว์
	นางสาวเสาวลักษณ์	เทพธานี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2561	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผสมเมล็ดลิ้นินอบบดต่อคุณลักษณะของแป้งโดและคุณภาพของขนมปังโดยผสมเมล็ดลิ้นินในปริมาณ 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้งสาลี และศึกษาผลของการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C ในช่วงเวลา 30 วัน ต่อคุณลักษณะของแป้งโด พบว่าเมล็ดลิ้นินไม่มีผลต่อค่า Adhesiveness แต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness และการลดลงของค่า Cohesiveness Springiness ของแป้งโดสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยทั่วไปค่า Adhesiveness และ Springiness ของแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C ในช่วงแรกไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ลดลงหลังจากวันที่ 20 อย่างไรก็ตามการแช่เย็นส่งผลให้ทุก ๆ ตัวอย่างมีค่า Hardness เพิ่มขึ้น และค่า Cohesiveness ลดลงตลอดช่วงการแช่เย็น 30 วันในแบบไม่เป็นเชิงเส้น การผสมเมล็ดลิ้นินไม่มีผลต่อค่าความชื้นของขนมปัง แต่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness Chewiness Gumminess และการลดลงของค่า Springiness และปริมาตรจำเพาะอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระยะเวลาในการแช่เย็นแป้งโดมีผลต่อการลดลงของค่าความชื้นและปริมาตรจำเพาะ และยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness Springiness Gumminess และ Chewiness อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การผสมเมล็ดลิ้นินไม่ผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคด้านกลิ่นรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม แต่มีผลต่อการลดลงของการยอมรับของผู้บริโภคด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แม้ว่าการผสมเมล็ดลิ้นินจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความไม่สด (Staling) ของขนมปังอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าครึ่งชีวิต (Half-life) ของการเปลี่ยนแปลงด้านความไม่สดโดยเฉลี่ยของขนมปังในกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเมล็ดลิ้นินมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสมเมล็ดลิ้นินประมาณ 1 เท่า

Project Title EFFECTS OF FLAXSEED ON DOUGH CHARACTERISTICS AND QUALITIES OF BREAD

Students Mr. Wachirawit Nojit
Mr. Supawit Charoenchao
Miss Saowaluk Tepthanee

Project Adviser Asst. Prof. Dr.Eakasit Sritham

Degree Bachelor of Engineering

Program Food Engineering

Academic year 2018

ABSTRACT

This project was aimed to study the effects of roasted ground flaxseed on textural characteristics of wheat dough and qualities of bread product. The amounts of added flaxseed are 10%, 15% and 20% of wheat flour (w/w). The effects of refrigeration at 4 °C up to 30 days on dough were also studied. It was found that flaxseed did not affect on adhesiveness; but resulted in the increase of hardness and the decrease of cohesiveness and springiness of dough, significantly ($p < 0.05$). In general, the adhesiveness and springiness of dough samples, subjected to refrigeration at 4 °C, remained unchanged during the first period, and decreased after the 20th day of refrigeration. However, refrigeration storage resulted in the increase of hardness and the decrease of cohesiveness, both in non-linearly form, over the entire refrigeration period of 30 days. The addition of flaxseed did not affect the moisture; but resulted in the increase of hardness, chewiness, gumminess and the decrease of springiness and specific volume significantly ($p < 0.05$). Refrigerated dough affected the decrease of moisture and specific volume. Moreover, it also affected the increase of hardness, springiness gumminess and chewiness significantly ($p < 0.05$). The addition of flaxseed did not affect consumer acceptance in term

of smell, flavor, texture and overall; but resulted in the decrease of consumer acceptance in term color significantly ($p < 0.05$). Though the addition of flaxseed did not affect staling rate significantly, the average half-life of staling for bread samples with flaxseed was approximately one-time higher than that for the sample without flaxseed.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทดลองและการทำรายงานเล่มนี้ ตั้งแต่กระบวนการสืบค้นข้อมูล การวางแผนการทดลอง การจัดทำเรียงเรียงเนื้อหา และการตรวจแก้ไขรายงาน ตลอดจนเอื้อเฟื้อสถานที่ในการจัดทำงานวิจัย รวมทั้งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนโครงการฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้คอยอบรมสั่งสอน ให้คำแนะนำ และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้จนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ นักวิทยาศาสตร์ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง รวมถึงช่วยเหลือในเรื่องของสถานที่ในการทำวิจัยตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่คอยมอบความรักและความห่วงใย ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาร่วมสถาบันทุกคนตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนโครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณผู้บริหารสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุมัติโครงการ และสนับสนุนการดำเนินงานจนสำเร็จ และได้ผลตามความต้องการ จนกระทั่งสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูปภาพ.....	X
รายการสัญลักษณ์.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เมล็ดลิ้น.....	4
2.1.1 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดลิ้น.....	5
2.1.1.1 กรดแอลฟา-ลิโลเลนิก.....	5
2.1.1.2 สารลิกแนน.....	5
2.1.1.3 ไยอาหาร.....	6
2.2 ขนมปัง.....	7
2.2.1 ส่วนประกอบหลักของขนมปัง.....	7
2.2.1.1 แป้งสาลี.....	7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1.2 น้ำ.....	8
2.2.1.3 ยีสต์.....	8
2.2.1.4 เกลือ.....	9
2.2.1.5 น้ำตาล.....	9
2.2.1.6 ไขมัน.....	10
2.3 กระบวนการในการผลิตขนมปัง.....	10
2.3.1 การผสมและการนวด (Mixing and kneading).....	10
2.3.1.1 แป้งโด (Dough).....	11
2.3.2 การหมัก (Fermentation).....	12
2.3.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมัก.....	13
2.3.3 การอบ (Baking).....	13
2.3.4 การทำให้เย็น (Cool down).....	14
2.4 การแช่เย็นโด.....	14
2.4.1 กลไกที่เกิดขึ้นในการเก็บรักษาโดด้วยการแช่เย็น.....	14
2.4.2 การป้องกันการเกิดโดไซรัป (Degree of dough syruing).....	15
2.5 ความไม่สด (Staling) ของขนมปัง.....	16
2.5.1 ปรากฏการณ์การคืนตัวของแป้ง (Starch retrogradation).....	16
2.5.2 กลไกการ staling ที่ส่งผลต่อเปลือกนอกของขนมปัง.....	17
2.5.3 กลไกการ staling ที่ส่งผลต่อเนื้อของขนมปัง.....	17
2.5.4 งานวิจัยเกี่ยวกับความไม่สด Staling.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	20
3.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่าง	20
3.1.1 วัตถุประสงค์	20
3.1.2 อุปกรณ์.....	20
3.2 การเตรียมตัวอย่าง.....	21
3.2.1 การเตรียมเมล็ดลินิน.....	21
3.2.2 การเตรียมตัวอย่างแป้งโด.....	21
3.2.3 การเตรียมตัวอย่างขนมปัง.....	22
3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของแป้งโด.....	24
3.3.1 การวัดคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ด้วยเทคนิค Texture Profile Analysis..	24
3.4 การวิเคราะห์คุณภาพของขนมปัง.....	24
3.4.1 การวัดคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ด้วยเทคนิค Texture Profile Analysis..	24
3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume).....	24
3.4.3 การวิเคราะห์ความชื้น (%Moisture Content).....	24
3.5 การวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัส.....	25
3.6 การวิเคราะห์ความไม่สด (Staling) ของขนมปัง	25
3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	28
4.1 ผลของเมล็ดลินินต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโดสด.....	28
4.2 อิทธิพลการแช่เย็นต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของแป้งโด	34
4.3 ผลของเมล็ดลินินต่อคุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากโดสด	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลของเมล็ดลิ้นินต่อคุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น.....	49
4.5 ผลของเมล็ดลิ้นินต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง	58
4.6 ผลของเมล็ดลิ้นินที่มีต่ออัตราการ Staling ของขนมปัง	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	64
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก.....	73
การวิเคราะห์คุณลักษณะของแป้งโดและคุณภาพของขนมปัง	73
ภาคผนวก ข.....	84
อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปัง	84
ภาคผนวก ค.....	87
ลักษณะของขนมปัง	87
ภาคผนวก ง.....	92
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารอาหารในเมล็ดลิ้นิน 100 กรัม	5
2.2 องค์ประกอบของแป้งสาลี.....	7
3.1 สูตรของขนมปังที่ผสมเมล็ดลิ้นิน.....	22
4.1 คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโดสด	34
4.2 คุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสด	48
4.3 คุณภาพของขนมปังผสมเมล็ดลิ้นินที่ผลิตจากโดสดและโดแช่เย็น	57
4.4 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสด.....	60
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ Avrami และค่าครึ่งชีวิต.....	63



สารบัญรูปร่าง

รูปที่	หน้า
2.1 เมล็ดลีนิน.....	4
2.2 แบบจำลองอย่างง่ายโครงสร้างภายในของโต.....	11
2.3 การคืนตัวของแป้งเมื่อผสม GG, GG-OSA และ DATEM ของขนมปัง.....	19
3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง.....	23
4.1 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Hardness ของแป้งโดสด.....	30
4.2 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Adhesiveness ของแป้งโดสด.....	31
4.3 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Springiness ของแป้งโดสด.....	32
4.4 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Cohesiveness ของแป้งโดสด.....	33
4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ของแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4° C.....	36
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness ของแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4° C.....	37
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า Springiness ของแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4° C.....	38
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ของแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4° C.....	39
4.9 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Hardness ของขนมปังจากแป้งโดสด.....	42
4.10 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Springiness ของขนมปังจากแป้งโดสด.....	43
4.11 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Gumminess ของขนมปังจากแป้งโดสด.....	44
4.12 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Chewiness ของขนมปังจากแป้งโดสด.....	45
4.13 ผลของเมล็ดลีนินต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปังจากแป้งโดสด.....	46
4.14 ผลของเมล็ดลีนินต่อความชื้นของขนมปังจากแป้งโดสด.....	47
4.15 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Hardness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น.....	51
4.16 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Springiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น.....	52
4.17 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Gumminess ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น.....	53
4.18 ผลของเมล็ดลีนินต่อค่า Chewiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น.....	54
4.19 ผลของเมล็ดลีนินต่อปริมาตรจำเพาะขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น.....	55
4.20 ผลของเมล็ดลีนินต่อความชื้นของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น.....	56
4.21 คะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังผสมเมล็ดลีนิน.....	59
4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	62

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก. 1 ลักษณะการวางชิ้นตัวอย่างของแบง์โด	74
ก. 2 ลักษณะการวัดเนื้อสัมผัสของขนมปัง	76
ก. 3 บริเวณขึ้นตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์หาความชื้น	80
ก. 4 ตัวอย่างขนมปังที่ใช้ในการทดสอบ	82
ก. 5 การอบรมและคัดเลือกผู้ทดสอบ	82
ก. 6 ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	83
ข. 1 เตอบไฟฟ้าอเนกประสงค์ Elextrolux	84
ข. 2 เครื่องปั่นผสม	85
ข. 3 เครื่องปั่นแห้ง	85
ข. 4 พิมพ์ขนมปัง	86
ข. 5 มีดฟันเลื่อย	86
ค. 1 ลักษณะภายในของขนมปัง	87
ค. 2 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ไม่ผสมเมล็ดลินิน	88
ค. 3 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 10% ของน้ำหนักแป้ง	88
ค. 4 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 15% ของน้ำหนักแป้ง	89
ค. 5 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 20% ของน้ำหนักแป้ง	89
ค. 6 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผลิตจากโดแช่เย็น 10 วัน	90
ค. 7 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผลิตจากโดแช่เย็น 20 วัน	91
ค. 8 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผลิตจากโดแช่เย็น 30 วัน	91

รายการสัญลักษณ์

F_{∞}	=	ค่า Firmness สุดท้ายเมื่อไม่มีกระบวนการตกผลึกของโมลกุลแบ่งอีกต่อไป
F_0	=	ค่า Firmness เริ่มของขนมปังที่เวลา $t=0$
F_t	=	ค่า Firmness ที่เวลาใด ๆ
k	=	ค่าคงที่ปฏิกิริยา หรือ อัตราการ staling
n	=	Avrami exponent
x_i	=	ค่า Firmness ที่ได้จากการทดลอง
x	=	ค่า Firmness ที่ได้จากการสมการ
\bar{X}	=	ค่า Firmness เฉลี่ย
$t_{1/2}$	=	ค่าครึ่งชีวิต หรือเวลาที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า Firmness ที่ระดับ 50% ของระดับที่เป็นไปได้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขนมปังมีบทบาทสำคัญต่อผู้บริโภคในปัจจุบัน โดยเฉพาะในสังคมที่เร่งรีบ ทำให้มีเวลาในการเตรียมอาหารที่จำกัด การบริโภคขนมปังจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สะดวกและทำให้รู้สึกอิ่ม แต่ให้คุณค่าทางอาหารไม่ครบถ้วน สำหรับอาหารเพื่อสุขภาพมีการแนะนำให้บริโภคอาหารที่ประกอบด้วยใยอาหารมากกว่า 25 กรัมต่อวัน (Arufe et al., 2017) การผสมเมล็ดธัญพืชเป็นการเสริมคุณค่าอาหารโดยเฉพาะใยอาหารให้แก่ขนมปัง

เมล็ดลีนิน (Flaxseed) เป็นธัญพืชที่อุดมด้วยใยอาหารสูงถึง 28% (Mercier et al., 2014) ประกอบด้วยใยอาหารทั้งที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ รวมทั้ง โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ มากมาย (นูรีน และคณะ, 2556) ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย เมล็ดลีนินมีส่วนช่วยลดระดับน้ำตาลและระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหัวใจและหลอดเลือด มีส่วนช่วยต่อต้านโรคมะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งเยื่อบุโพรงมดลูก โรคมะเร็งทางเดินอาหาร โรคเบาหวานและโรคกระดูกพรุน (Pourabedin et al., 2017) ด้วยคุณค่าทางโภชนาการเหล่านี้ เมล็ดลีนินเป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากในการผสมลงในขนมปัง

อย่างไรก็ตาม การผสมเมล็ดลีนินในขนมปังอาจส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง นอกจากนี้ การผสมเมล็ดลีนินในขนมปัง อาจส่งผลต่อความไม่สด (staling) ของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งความไม่สด (staling) มีสาเหตุหลักจากการที่แป้งได้รับความร้อนทำให้แป้งสุก เม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะกระจายออกมาและเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง โมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กกว่าจะเกิดการรวมตัวกันใหม่ ด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดโครงสร้างใหม่ที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อยลง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การคืนตัวของแป้ง (Starch retrogradation) ทำให้ขนมปังสูญเสียความชื้น กลิ่นหอม รสชาติ และความนุ่ม (Monteau et al., 2017)

ในอุตสาหกรรมมีการผลิตขนมปังเป็นจำนวนมาก การแช่เย็นแป้งโดเก็บไว้ก่อนนำมาอบ นิยมทำกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสะดวก สามารถเก็บรักษาความสดไว้ได้ และยังช่วยลดระยะเวลาในการผลิตอีกด้วย (Kim et al., 2017) ซึ่งในระหว่างการแช่เย็นแป้งโดจะมีของเหลวสีน้ำตาลเรียกว่า โดไซรัป (Dough syrup) เกิดจากการแยกตัวของอะราบิโนไซแลน (Arabinoxylan) โดยการย่อยของเอนไซม์ไซลานาส (Xylanase) เคลื่อนที่มายังผิวหน้าของโด ซึ่งอาจทำให้เนื้อสัมผัสของแป้งโดเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังเปลี่ยนแปลงไป

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาผลของเมล็ดลินินต่อคุณลักษณะของแป้งโดขนมปัง
2. เพื่อศึกษาผลของเมล็ดลินินต่อคุณภาพของขนมปัง
3. เพื่อศึกษาผลของเมล็ดลินินต่อความไม่สด (staling) ของขนมปังเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาผลของการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้ง
2. ศึกษาผลของเมล็ดลินินต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสและการขึ้นฟูของแป้งโด เมื่อมีการเก็บรักษาแป้งโดไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 10 20 และ 30 วัน
3. ศึกษาผลของเมล็ดลินินที่มีต่อความไม่สด (staling) ของขนมปังหลังเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 68 ชั่วโมง
4. ศึกษาปัจจัยทางคุณภาพของแป้งโดและขนมปังด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยเทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)
5. ศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธีการทดสอบแบบฮีดอนิกสเกล (9- point hedonic scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถอธิบายผลของเมล็ดลินินต่อคุณลักษณะที่เกี่ยวกับการผสม (Mixing properties) ของแป้งได้
2. สามารถอธิบายผลของการเก็บรักษาแป้งโดที่อุณหภูมิ 4°C ต่อคุณภาพของขนมปัง
3. สามารถอธิบายผลของเมล็ดลินินต่อคุณภาพของขนมปัง
4. ทราบปริมาณการผสมเมล็ดลินินที่เหมาะสมต่อการยอมรับของผู้บริโภค
5. สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงด้านความไม่สด (staling) ของขนมปังเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธัญพืช เป็นพืชที่ให้เมล็ดเป็นอาหาร ได้แก่ ข้าวทุกชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี รวมถึงลูกเดือย เมล็ดทานตะวัน และพวกถั่วต่าง ๆ ธัญพืชเป็นอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย หารับประทานง่าย และมีประโยชน์ จึงได้มีการนำธัญพืชผสมลงในอาหารและเครื่องดื่มเช่น ขนมปังธัญพืช น้ำเต้าหู้เพื่อสุขภาพ

2.1 เมล็ดลินิน

เป็นธัญพืชที่ได้จากต้นลินินซึ่งจะเจริญเติบโตได้ในภูมิภาคที่มีอากาศหนาวเย็น เมล็ดมีลักษณะเหมือนงาเปลือกนอกมันเงา มี 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์สีน้ำตาลและพันธุ์สีทอง โดยสายพันธุ์สีทองจะมีสีที่อ่อนกว่า การรับประทานต้องนำไปดกก่อนผสมในอาหาร เช่น ขนมปัง สลัด โยเกิร์ต เป็นต้น เนื่องจากร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมสารอาหารจากเมล็ดลินินแบบเต็มเมล็ดได้



รูปที่ 2.1 เมล็ดลินิน (นิรนาม1, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดลินิน

เมล็ดลินิน ประกอบด้วย โยอาหารสูง 22- 28% กรดแอลฟา-ลิโนเลนิก (ALA) ประมาณ 23 % และลิกแนน 0.6-1.3% โดยน้ำหนัก Huihuang et al. (2018) ของน้ำหนักเมล็ดลินิน โดยสารอาหารเหล่านี้มีประโยชน์ต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 2.1 สารอาหารในเมล็ดลินิน 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ
คาร์โบไฮเดรต (g)	28.9
โยอาหาร (g)	27.3
โปรตีน (g)	18.3
ไขมัน (g)	42.2
กรดไขมันโอเมกา 3 (g)	22.81
กรดไขมันโอเมกา 6 (g)	5.9
แคลเซียม (mg)	255
พลังงาน (kcal)	534

(ดัดแปลงจาก นรินาม1, 2562)

2.1.1.1 กรดแอลฟา-ลิโนเลนิก

กรดแอลฟา-ลิโนเลนิกเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในกลุ่มกรดไขมันโอเมกา 3 เป็นกรดไขมันจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถผลิตเองได้ ต้องมีการรับประทานอาหารที่มีโอเมกา 3 สูง เช่น ปลา เมล็ดธัญพืช เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันโอเมกา 3 มีฤทธิ์ลดการอักเสบแล้วยังมีส่วนช่วยลดความเสี่ยงเกี่ยวกับโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคกระดูกพรุน โรคเบาหวาน และโรคทางเดินอาหาร (Mercier et al., 2014)

2.1.1.2 สารลิกแนน

สารลิกแนน (Secoisolariciresinol diglucoside ; SDG) เป็นสารอาหารที่สามารถพบได้ในธัญพืชทุกชนิด เช่น ถั่วต่าง ๆ เมล็ดทานตะวัน งา เป็นต้น แต่สารลิกแนน (Lignans) พบมากที่สุดเมล็ดลินินซึ่งมีมากกว่าพืชชนิดอื่นถึง 75-800 เท่า สารลิกแนนสามารถเปลี่ยนเป็น เอเทอร์โรแลกโตน (Enterolactone; EL) และเอนเทอร์โรไดออล (Enterodiol; ED) โดยจุลินทรีย์ในลำไส้ ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน (Phytoestrogen) (Mercier et al. 2014) ช่วยลดอาการร้อนวูบวาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหงื่อออกและนอนไม่หลับในเวลากลางคืน ผิวพรรณและช่องคลอดแห้งของผู้หญิงในวัยที่หมดประจำเดือน นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ลดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งอีกด้วย

2.1.1.3 โยอาหาร

เมล็ดลิ้นิน 100 กรัม ประกอบด้วยโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและละลายน้ำประมาณ 20% และ 9% ตามลำดับ โยอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble fiber) ได้แก่ กัม และเพคติน สามารถละลายและดูดซับน้ำไว้ได้ โดยจะเกิดเป็นเจลและมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีความสามารถในการจับน้ำตาลและน้ำมันได้อาศัยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ในการย่อยสลาย มีคุณสมบัติในการลดน้ำตาลและคอเลสเตอรอลในเลือด ส่วนโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble fiber) นั้น ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จะพองตัวในน้ำแต่ไม่มีความหนืด สามารถดูดน้ำได้ถึง 20 เท่าของน้ำหนักตัวมันเอง ช่วยเพิ่มกากอาหาร จุลินทรีย์ในลำไส้ไม่สามารถย่อยสลายได้ ทำให้เนื้ออุจจาระเพิ่มขึ้น ช่วยลดอาหารท้องผูก ช่วยป้องกันการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่ร่างกาย และยังช่วยลดความเสี่ยงโรคมะเร็งลำไส้ด้วย

Pejcz et al. (2018) ทำการผสม *Plantago psyllium* seeds (PPS) *Plantago ovata* seeda (POS) และ *Plantago ovata* husk (POH) จากต้นเทียนเกล็ดหอย (*Plantago*) ซึ่งมีโยอาหารสูงในปริมาณ 4 และ 8 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม ผลปรากฏว่า การผสม POH ในปริมาณ 8 กรัม ทำให้โดมีความชุ่มชื้นเพิ่มขึ้น เวลาในการพองตัวของโดเพิ่มขึ้น โดมีเสถียรภาพ และลดความอ่อนตัวและการคืนตัวของโดได้ ส่วน POS และ PPS ส่งผลต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของโดน้อยกว่า POH แต่จะมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของขนมปัง ผลของ POH ทำให้ปริมาตรของขนมปัง เวลาในการอบและความชื้นในเนื้อขนมปังเพิ่มขึ้น ซึ่งขนมปังที่ผสมต้นเทียนเกล็ดหอยมีปริมาณโยอาหารเพิ่มขึ้น

Martinez et al. (2014) ศึกษาผลของโยอาหารที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ต่อโดและขนมปังที่ปราศจากกลูเตน ปรากฏว่า โยอาหารที่ละลายน้ำได้ลดความเหนียวแน่นของโด (Dough consistency) ช่วยในการพองตัวของโดระหว่างการหมัก ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้น ลดความแข็งของเนื้อขนมปัง โพรงอากาศน้อยกว่าขนมปังที่ไม่ผสมโยอาหาร ส่วนโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำชนิดละเอียดทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงความแข็งของเนื้อขนมปังต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่ผสมโยอาหาร ส่วนโยอาหารที่ละลายน้ำชนิดหยาบทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลงและมีเนื้อสัมผัสที่ตกว่าสูตรควบคุม ซึ่งโยอาหารที่ละลายน้ำถูกพบรวมกับไฮโดรคอลลอยด์ในรูปของสารละลายในส่วนที่มีโยอาหาร โดยมันจะสร้างฟิล์มมาเคลือบเม็ดสตาร์ชและอนุภาคของแป้ง ทำให้โครงสร้างมีเสถียรภาพ ส่วนโยอาหารที่ไม่ละลายน้ำคือส่วนที่เหลือทั้งหมดจะทำลายโครงสร้าง

2.2 ขนมหปัง

เกิดจากการนำแป้งสาลีผสมกับน้ำและยีสต์ รวมถึงส่วนผสมอื่น ๆ เช่น เกลือ น้ำตาล เนย เป็นต้น นวดให้เกิดเป็นโด หมักให้ขึ้นฟูแล้วนำไปอบเพื่อให้แป้งสุก

2.2.1 ส่วนประกอบหลักของขนมปัง

2.2.1.1 แป้งสาลี

แป้งสาลี เป็นส่วนประกอบหลักของเบเกอรี่ทุกชนิด โดยแป้งสาลีที่ใช้ทำขนมปังจะเป็นประเภทที่มีกลูเตนสูงระหว่าง 12% ถึง 14% สุวีรา และขวัญชนก (2557) ซึ่งจะมีความเหนียวยืดหยุ่นสามารถคงตัวไว้ได้เมื่ออบ โดยกลูเตนในแป้งสาลีเกิดจากการรวมตัวของโปรตีนไกลอะดีน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide) ซึ่งกลูเตนินมีส่วนช่วยให้โครงสร้างกลูเตนมีความยืดหยุ่นและแข็งแรง ส่วนไกลอะดีนจะทำให้กลูเตนมีความเหนียวและเกาะติดเป็นก้อน จากคุณสมบัตินี้ทำให้กลูเตนสามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดจากการหมักของยีสต์และคงตัวไว้ได้เมื่อมีการขึ้นฟู โดยองค์ประกอบของแป้งสาลีที่ได้จากการโม่โดยแยกแบ่งในเอนโดสเปิร์มออก แสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแป้งสาลี

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
คาร์โบไฮเดรต	70.0
โปรตีน	11.5
ความชื้น	15.0
แร่ธาตุ	0.4
ไขมัน	1.0
น้ำตาล	1.0
อื่น ๆ	2.0

(ดัดแปลงจาก สุวีรา และขวัญชนก, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวสาลีที่นำมาหมักนั้น โดยปกติจะแบ่งออกเป็นข้าวสาลีชนิดแข็งและข้าวสาลีชนิดอ่อน ซึ่งข้าวสาลีชนิดแข็งจะเหมาะแก่การนำมาไม่เป็นแป้งสาลีที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมปัง เนื่องจากมีโปรตีนสูง เมื่อนวดผสมจะได้ก้อนโดที่มีความยืดหยุ่นดี มีความสามารถในการกักเก็บก๊าซที่เกิดจากการหมักได้ดี ทนต่อสภาพการผสม (Tolerance) และการหมัก ทำให้กลูเตนไม่เกิดการฉีกขาด และแป้งสาลีที่ได้จากข้าวสาลีชนิดแข็งนี้ยังมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง คุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลให้แป้งโดสามารถหมักได้นานขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการขึ้นฟูและมีปริมาตรที่ดี นูรีน และคณะ (2556) ส่วนข้าวสาลีชนิดอ่อนเหมาะแก่การนำมาไม่สำหรับใช้ทำเบเกอรี่พวกบิสกิต เค้ก คุกกี้ เป็นต้น เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนต่ำ เมื่อนวดผสมแล้วจะไม่เกิดเป็นโด จึงไม่เหมาะแก่การนำมาทำขนมปัง

2.2.1.2 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้โปรตีนในแป้งสาลีเกิดการจับตัวกันเป็นกลูเตนและเกิดโครงสร้างที่เรียกว่า โด น้ำจะช่วยละลายส่วนผสมต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำตาล เป็นต้น ช่วยให้อิสรต์กระจายอย่างทั่วถึงในโดและช่วยในการลำเลียงอาหารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้อิสรต์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ น้ำมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ขนมอบโดยเฉพาะขนมปัง ซึ่งเมื่อให้ความร้อนแก่แป้งจะเกิดการแตกตัวของโครงสร้างผลึกและส่วนกิ่งก้านของโมเลกุลแป้งกระจายตัว ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปแทรกตัวและแป้งเกิดการพองตัวจนกระทั่งแป้งสุก (Starch gelatinization) น้ำยังช่วยทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากการขึ้นฟูของขนมปังภายในเตาอบ ซึ่งความร้อนในเตาอบจะทำให้ไอน้ำในขนมปังเกิดการระเหย น้ำที่ระเหยเป็นไอจะมีความดันไอ (Vapor pressure) ไปดันให้โครงสร้างของขนมปังขยายตัวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาตรของขนมปังเพิ่มจากขั้นตอนการหมัก นอกจากนี้น้ำยังช่วยกระตุ้นเอนไซม์และกระตุ้นการเกิดและการเปลี่ยนแปลงพันธะระหว่างโมเลกุลแป้งอีกด้วย

2.2.1.3 ยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มของรา (Fungi) โดยทั่วไปยีสต์ที่ใช้ทำขนมปังเป็นสายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* กระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของเซลล์ยีสต์จะสามารถหมักน้ำตาล เช่น กลูโคส ฟรุกโตส มอลโทส เป็นต้น ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนได้แอลกอฮอล์ (Alcohol) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างของโดมีการพองตัวขึ้น ทำให้โดมีค่า pH ต่ำในระหว่างการผสมเนื่องจากกรดคาร์บอนิก (Carbonic acid) และยังทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังจากการอบมีกลิ่นหอมน่ารับประทานอีกด้วย ยีสต์ที่นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมปังได้แก่ ยีสต์สด (Compressed yeast) และยีสต์แห้ง (Dried yeast) โดยยีสต์สดประกอบไปด้วยโปรตีน 15.5% คาร์โบไฮเดรตประมาณ 12-14.5% และความชื้นประมาณ 70% ดังนั้นมันมีโอกาที่จะเกิดการเน่าเสียสูงหากไม่แช่เย็น ไม่นิยมนำยีสต์สดมาใช้ในการกระบวนการผลิตเนื่องจากไม่สะดวกในการใช้และการเก็บรักษา

แต่ยีสต์สดมีราคาถูกและจะให้กลิ่นหอมที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ ส่วนยีสต์แห้ง เป็นยีสต์ที่มีความชื้นต่ำ เกิดจากการทำแห้งอย่างรวดเร็วโดยการอัดด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (Extruder) ยีสต์แห้งเป็นยีสต์ที่อยู่ในระหว่างการพักตัวสามารถเก็บได้นานหากเก็บในที่แห้งและเย็น ก่อนนำมาใช้ต้องมีการปลุกยีสต์โดยการทำให้กระจายตัวในน้ำ ยีสต์ชนิดนี้จะเหมาะแก่การทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น ขนมปัง โดนัท เป็นต้น

ปฏิกิริยาเมื่อยีสต์หมักน้ำตาลภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Edwards, 2007)



ปฏิกิริยาเมื่อยีสต์หมักน้ำตาลภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน



2.2.1.4 เกลือ

โดยปกติแล้วเกลือที่ใช้ผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้น อัตราส่วนที่ผสมจะอยู่ที่ประมาณ 1-2% ของน้ำหนักแป้ง เกลือจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเฉพาะเป็นที่น่ารับประทาน ซึ่งเกลือจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตขนมปังหลายๆด้าน เช่น ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของโด (Rheology) คือช่วยปรับปรุงค่าการเกาะติดและความยืดหยุ่นของโด และช่วยให้โครงสร้างกลูเตนมีความแข็งแรง เกลือส่งผลต่อการทำงานของยีสต์ กลิ่น และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) ทำให้เกิดน้ำตาลมอลโทสซึ่งเป็นอาหารของยีสต์ ช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) ในแป้ง ซึ่งจะย่อยสลายโมเลกุลโปรตีน ทำให้กลูเตนเกิดการแยกตัว นอกจากนี้ เกลือยังช่วยให้สีที่ดีแก่ของขนมปังและช่วยยืดระยะเวลาการเก็บรักษาขนมปังให้นานขึ้นได้

2.2.1.5 น้ำตาล

เป็นส่วนประกอบที่ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ น้ำตาลที่ใช้เป็นส่วนผสม คือ น้ำตาลทราย (Sucrose) เบเกอรี่ส่วนใหญ่จะเติมน้ำตาลทรายเพื่อให้เป็นอาหารของยีสต์ช่วงเริ่มต้นของการหมัก เนื่องจาก เอนไซม์ในแป้งไม่สามารถย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ให้เป็นน้ำตาลเพื่อสนับสนุนยีสต์ในการหมักได้ทันในช่วงเริ่มแรก น้ำตาลส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัส รสชาติและรูปร่างของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และยังให้สีที่ดีแก่ของขนมปัง นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการคิ่นตัวของแป้งทำให้ขนมปังคงความสดไว้ได้อีกด้วย

2.2.1.6 ไขมัน

ไขมันและน้ำมันเป็นส่วนประกอบสำคัญของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชุ่มชื้นอีกด้วย แหล่งของไขมันมีทั้งจากพืชและสัตว์ โดยไขมันจากพืช ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง เต้าเจี้ยว น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันงา เป็นต้น ส่วนไขมันจากสัตว์ ได้แก่ เนยเหลว เนยสด น้ำมันหมู เป็นต้น ไขมันมีความสำคัญอย่างมากต่อขนมปัง ซึ่งไขมันจะไปอุดตันไม่ให้อากาศเข้าไปแทนที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโดระหว่างการหมักและหล่อขึ้นให้กลูเตนสามารถยืดหดได้ทำให้สามารถกักเก็บก๊าซและขึ้นฟูได้ดีขึ้น ความแตกต่างของขนมปังที่ผสมไขมันและไม่ผสมไขมัน เมื่อนำไปให้ความร้อนในเตาอบ พบว่าแป้งโดมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนด้วยอัตราที่เท่ากันจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 55 °C โดที่ไม่ผสมไขมันจะขยายตัวด้วยอัตราที่ลดลง ส่วนโดที่ผสมไขมันจะมีการขยายตัวด้วยอัตราเท่าเดิมจนถึง 75 °C ดังนั้น การผสมไขมันในสัดส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ไขมันยังช่วยยืดระยะเวลาการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นโดยการยับยั้งการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) (Edwards, 2007)

2.3 กระบวนการในการผลิตขนมปัง

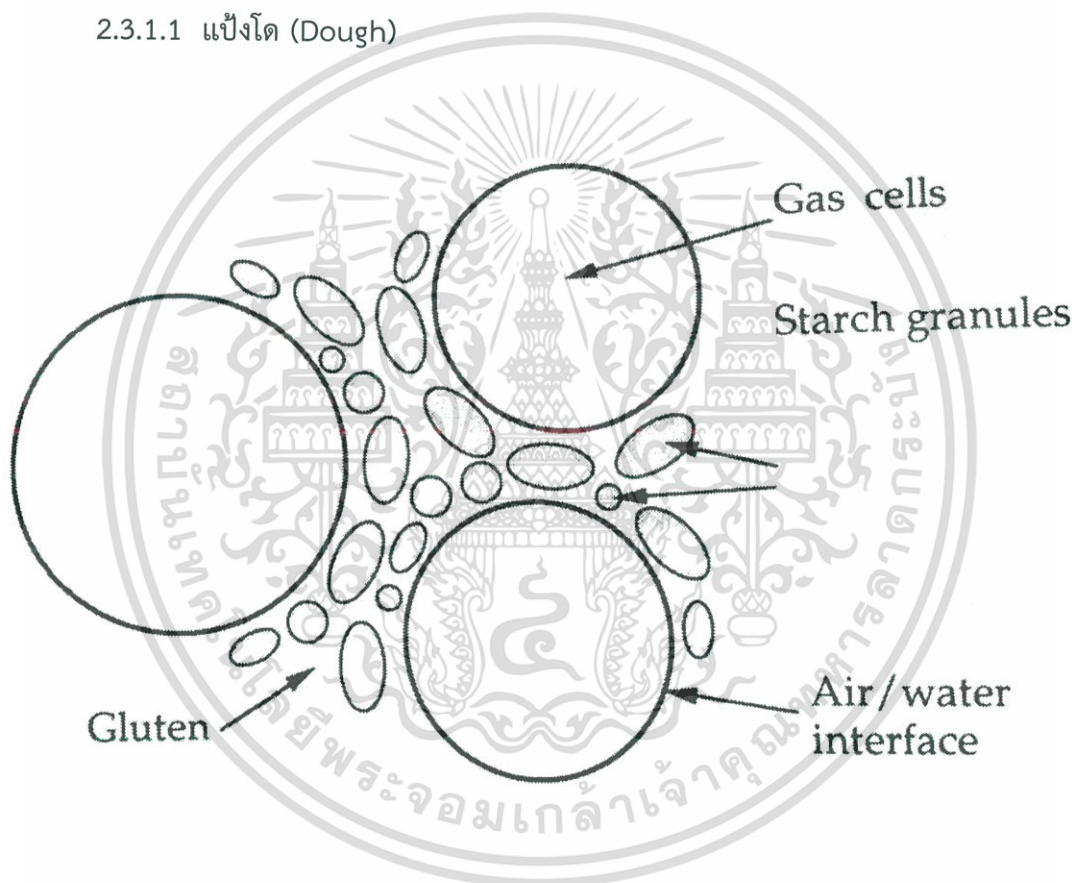
2.3.1 การผสมและการนวด (Mixing and kneading)

การผสมและการนวดแป้งจะใช้มือหรือเครื่องก็ได้ โดยการผสมจะทำให้ส่วนผสมต่าง ๆ เข้ากันได้ดี และการนวดจะทำให้เกิดกลูเตนสม่ำเสมอ โดยผสมส่วนผสมที่เป็นของแห้ง ได้แก่ แป้งสาลี ยีสต์ เข้าด้วยกัน ส่วนน้ำ น้ำตาล และเกลือ นำมาทำให้ละลายก่อนผสม ไขมัน เช่น เนย มาการีน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เนยอ่อนตัวก่อนผสม การผสมวิธีนี้จะช่วยให้ส่วนผสมต่าง ๆ เข้ากันได้ดี โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. Pick up stage ส่วนผสมที่เป็นของแห้งและของเหลวจะรวมตัวกันหยาบ ๆ ส่วนผสมจะแฉะ ติดตะขอนวดและอ่างผสมเนื่องจากแป้งและโปรตีนยังดูดน้ำได้ไม่เต็มที่
2. Clean up stage ก้อนโดเริ่มแห้งและเหนียวเนื่องจากแรงจากการนวดทำให้แป้งและโปรตีนดูดน้ำได้รวดเร็ว กลูเตนจะช่วยจับยึดให้แป้งรวมตัวเป็นก้อน ไม่ติดอ่างผสม แต่ผิวจะยังไม่เรียบ
3. Development stage ก้อนโดจะมีลักษณะที่แห้งและเริ่มมีความยืดหยุ่นแต่จะขาดง่ายเมื่อดึง

4. Final stage ก้อนโดจะถึงจุดที่ได้รับการนวดที่พอเหมาะ มีผิวแห้งเรียบเนียนเหมือนโยโย่ สามารถดึงเป็นแผ่นบางได้โดยไม่ขาดและนุ่มมือ เมื่อได้แป้งโดที่มีความยืดหยุ่นที่ดีแล้วให้หยุดการนวด หากยังนวดต่อจนเลยจุดนี้แล้ว แป้งโดจะเสียสภาพมีลักษณะนิ่มและเหลวติดมือ การนวดแป้งนานเกินไป จะทำให้กลูเตนเกิดการฉีกขาด (Break down stage) ง่ายน้ำจะถูกขับออกมา ส่วนการนวดแป้งน้อยเกินไปจะทำให้การเกิดกลูเตนน้อยและไม่แข็งแรงส่งผลให้ ความสามารถในการกักเก็บก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ขนมปังมีปริมาตรต่ำ เนื้อสัมผัสของขนมปังหยาบและร่วน (นูรีน และคณะ, 2556)

2.3.1.1 แป้งโด (Dough)



รูปที่ 2.2 แบบจำลองอย่างง่ายโครงสร้างภายในของโด (Eliasson and Larsson., 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Faridi and Faubion (1990) แป้งโดมีคุณสมบัติรีโอโลยี (Rheology) ที่เรียกว่า การยืดหยุ่นหนืด (Viscoelastic) โดยจะแสดงสมบัติร่วมกันของของแข็งฮุกเกียน (Hookean solid) มีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) เป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งวัสดุฮุกเกียนแสดงพฤติกรรมยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear elasticity) และของเหลวนอนนิวตันเนียน (Non-Newtonian fluid) ซึ่งของเหลวนอนนิวตันเนียนนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) กับอัตราความเครียด (Strain rate) ไม่เป็นเชิงเส้น สำหรับในโดแป้งสาลี ความเค้นจะไม่เป็นฟังก์ชันกับความเครียดหรืออัตราความเครียดตัวใดตัวหนึ่ง แต่จะเป็นฟังก์ชันร่วมกันทั้งคู่ ซึ่งพฤติกรรมของการยืดหยุ่นหนืดของโดที่เกิดขึ้นไม่เป็นเชิงเส้น อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดคือ ค่ามอดูลัส (Modulus) และอัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนคือ ความหนืด ค่าทั้งสองจะไม่คงที่ โดยสามารถตรวจสอบเบื้องต้นได้เมื่อแป้งโดถูกทำให้ร้อนขึ้นจะแสดงพฤติกรรมการไหลหนืด ส่วนพฤติกรรมความยืดหยุ่น สามารถตรวจสอบโดยดูจากการเปลี่ยนรูปร่างและการคืนตัวของโด (Edwards, 2007)

Saha et al. (2011) ทำการศึกษาอิทธิพลของแป้งข้าวฟ่างสามง่ามต่อสมบัติทางรีโอโลยีของโดและคุณภาพของบิสกิต โดยมีการวัดคือ วัดเนื้อสัมผัสของแป้งโดโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเทคนิค Texture profile analysis (TPA) โดยค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้วิเคราะห์ คือ Hardness Adhesiveness Cohesiveness Springiness และ Resilience การวัดค่าการดูดน้ำที่เหมาะสมด้วยเครื่อง Farinograph ซึ่งจะถูกบันทึกหลังจากการผสมแป้งกับน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °C และวัดค่าการขยายตัวของโด (Extensibility) ด้วยเครื่อง SMS/Kieffering และเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer)

2.3.2 การหมัก (Fermentation)

โดจะเกิดการพองตัว เนื่องจากการหมักของยีสต์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยอาหารในช่วงแรก ยีสต์จะใช้น้ำตาลอิสระ ได้แก่ กลูโคส และซูโครสก่อน หลังจากยีสต์ใช้น้ำตาลอิสระหมดไป ยีสต์จึงไปใช้มอลโทสต่อไป เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอลกอฮอล์ กรด และเอสเทอร์ กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นทำให้โดกลายเป็นกรดอ่อน ๆ ส่งผลให้กลูเตนเกิดการอ่อนตัวและสามารถแผ่ขยายและยืดโดยไม่ฉีกขาด ส่วนแอลกอฮอล์ทำให้เกิดการคลายตัวของโปรตีน ทำให้โปรตีนเหนียวและยืดออกเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อมาจะเป็นการหมักของยีสต์ในสภาวะที่มีออกซิเจน เนื่องจากอากาศจะแพร่กระจายเข้ามาในโด ช่วงนี้การหมักนี้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะส่งผลให้โดเกิดการพองตัวตลอดการหมัก รวมถึงช่วงแรกของการอบด้วย และยังมีผลพลอยได้จากการหมัก คือ เกิดกลิ่นที่เป็นกลิ่นเฉพาะในขนมปังเนื่องจากแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นอีกด้วย โดยปฏิกิริยานี้ในการหมักน้ำตาลของยีสต์นี้จะเกิดอย่างช้า ๆ ในช่วงแรกของการหมัก และจะเกิดอย่างรวดเร็วในช่วงกลาง และค่อยๆ ลดลงในช่วงท้ายของการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมัก

1. ปริมาณยีสต์ที่ผสม ปริมาณยีสต์ที่มากจะทำให้การหมักเป็นไปอย่างรวดเร็ว
2. ชนิดของแป้ง แป้งที่มีโปรตีนสูงต้องใช้เวลาหมักนาน
3. ปริมาณส่วนผสมในขนมปัง ปริมาณเกลือที่มากกว่า 1% โดยน้ำหนักจะชะลอการหมักของยีสต์ ปริมาณน้ำตาลที่มากกว่า 8% โดยน้ำหนักจะชะลอการหมักของยีสต์
4. อุณหภูมิของโด อุณหภูมิของโดที่ทำให้การหมักเป็นไปอย่างรวดเร็ว คือ 25-26 °C
5. สภาพที่เหมาะสมต่อการหมักโด เป็นสภาวะที่ยีสต์ทำงานได้ดี คือการหมักเป็นไปอย่างรวดเร็ว ได้แก่ อุณหภูมิ 24-29.5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 80-90 %
6. ค่าพีเอชของโดที่เหมาะสม คือ pH เท่ากับ 4.7

2.3.3 การอบ (Baking)

ในช่วงแรกของการอบ จะยังมีการหมักอยู่เนื่องจากเอนไซม์ที่ย่อยสลายเม็ดสตาร์ชให้เป็นน้ำตาลที่เป็นอาหารของยีสต์ ซึ่งในช่วงนี้ยีสต์จะผลิตก๊าซได้รวดเร็วทำให้โดขยายตัวอย่างมากในช่วงการอบ 10 นาทีแรก เรียกว่า โอเวน สปริง (Oven spring) ต่อมาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 43 °C เซลล์ยีสต์จะค่อย ๆ ลดการทำงานลงและตายที่อุณหภูมิเป็น 54 °C และสตาร์ชจะเริ่มการเจลาติไนซ์ หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิถึง 74 °C กลูเตนจะเกิดการแข็งตัว น้ำที่ถูกกลูเตนดูดซับไว้จะเคลื่อนตัวออกมา ช่วยให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ได้ดีขึ้น ผิวด้านนอกขนมปังจะเริ่มแข็งเนื่องจากอุณหภูมิกายนอกสูงกว่าภายในขนมปัง ในช่วงสุดท้ายของการอบ ผิวของขนมปังจะเริ่มเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำตาลและกรดอะมิโนจากการย่อยสตาร์ชเป็นเดกซ์ทรินโดยเอนไซม์ รวมทั้งการเกิดคาราเมลไรเซชันของน้ำตาล ซูโครสที่อุณหภูมิสูงเกิดเป็นสีน้ำตาลไหม้โดยระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งประสิทธิภาพของเตาอบด้วย โดยผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาและอุณหภูมิที่ระบุไว้ตามชนิดของขนมปัง เพื่อไม่ให้ผิวด้านนอกไหม้ก่อนเนื้อด้านในจะสุก ถ้าผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กให้เพิ่มอุณหภูมิและลดระยะเวลาเพื่อให้ผิวด้านนอกและเนื้อด้านในสุกพร้อมกัน ส่วนผลิตภัณฑ์พวกขนมปังหวานสูตรต่าง ๆ ควรอบที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลานานกว่า เพื่อไม่ให้ผิวด้านนอกสุกเร็วเกินไป และอาจจะเกิดการไหม้เนื่องจากน้ำตาลได้

2.3.4 การทำให้เย็น (Cool down)

สตาร์ชที่สุกแล้วร่วมกับโปรตีนจะค่อย ๆ เกิดการแข็งตัวตามธรรมชาติทำให้ขนมปังไม่เสียรูป เมื่อนำขนมปังออกจากเตาอบ ให้แกะออกจากพิมพ์แล้วทิ้งให้เย็น โดยการทำให้เย็น ควรทำให้อุณหภูมิค่อย ๆ ลดลง และต้องควบคุมความชื้นไม่ให้ระเหยออกจากผิวเร็วเกินไปเพราะจะทำให้ผิวขนมปังเกิดการยุบ และถ้าขนมปังถูกหั่นทันทีที่เอาออกจากเตาอบหรือยังไม่เย็นสนิท ขนมปังจะติดกัน และจะเป็นรอยย่นบริเวณที่เป็นรอยตัด หรือหากนำไปบรรจุใส่ถุงพลาสติกขณะที่ขนมปังยังไม่เย็นสนิทจะทำให้เกิดไอน้ำและผิวของขนมปังและ ทำให้ขนมปังเสียเร็ว ดังนั้นควรทิ้งให้ขนมปังเย็นสนิทก่อนนำไปหั่นหรือบรรจุในถุงพลาสติก โดยปกตินิยมวางขนมปังไว้ในห้องที่มีการปรับอากาศ ช่วงอุณหภูมิประมาณ 22.25.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 85% เป็นเวลาอย่างน้อย 1.5-3 ชั่วโมง

2.4 การแช่เย็นโด

การแช่เย็นแบ่งโดช่วยลดระยะเวลาการหมัก ทำให้กระบวนการผลิตขนมปังเร็วขึ้น สามารถควบคุมแป้งโดเก็บไว้ เพื่อเตรียมไว้อบในภายหลังได้ การแช่เย็นจะชะลอการทำงานของยีสต์โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปอุณหภูมิแช่เย็นจะอยู่ระหว่าง 0-15 °C การแช่เย็นทำให้สะดวกและสามารถคงความสดใหม่ของโดได้เมื่อมีการยืดระยะเวลาการเก็บรักษา

2.4.1 กลไกที่เกิดขึ้นในการเก็บรักษาโดด้วยการแช่เย็น

ในแป้งสาลีจะมีพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (NSPs) ประมาณ 2-3% แม้ว่าจะมีปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ขนมปัง NSPs ได้มาจากผนังเซลล์ของชั้นแอลลิวโรน (Aleurone) และเอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าวสาลี ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลเพนโทส (Pentose) หรือน้ำตาลเฮกโซส (Hexose) โดยพอลิเมอร์ของเพนโทส คือ เพนโตซาน (Pentosan) อะราบินโนไซแลน (Arabinoxylan) ประกอบด้วยโคพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโทส 2 ชนิด คือ อะราบินโนส (Arabinose) และ ไซโลส (Xylose) ประมาณ 1.5-2.5% ของอะราบินโนไซแลนในแป้งสาลี มีองค์ประกอบของอะราบินโนไซแลนส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำ (Water extractable) ประมาณ 20-30% และส่วนที่สกัดไม่ได้ด้วยน้ำ (Water unextractable) ประมาณ 70-75% ของอะราบินโนไซแลนทั้งหมด ซึ่งส่วนที่สกัดได้ด้วยน้ำและสกัดไม่ได้ด้วยน้ำของอะราบินโนไซแลนนั้นจะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืด ความสามารถในการอุ้มน้ำ การละลาย และความสามารถในการเกิดเจล ซึ่งสัดส่วนของอะราบินโนสและไซโลสนั้นมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของอะราบินโนไซแลน และถึงแม้จะมีปริมาณน้อยแต่อะราบินโนไซแลนมีความสามารถอุ้มน้ำมากถึงสิบเท่าของน้ำหนักตัวมันเองหรือประมาณ 30% ของความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งสาลี ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อโดและคุณภาพขนมปัง (Kim et al., 2017)

โดที่มีการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น ภายใต้เงื่อนไขของเหลวสามารถแยกตัวออกมาจากโดอยู่ในรูปของไซรัปเหมือนกับของเหลวที่รั่วไหลออกมาจากบรรจุภัณฑ์ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า โดไซรัป (Dough syruing) และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เกี่ยวข้องกับอะราบินโนไซด์และเอนไซม์เอนโดไซลานเนส (Endoxylanase) ซึ่งการละลายและการสลายตัวของอะราบินโนไซด์โดยเอนไซม์ไซลานเนสทำให้สูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ น้ำจึงแยกตัวออกมาในรูปของเหลวสีเหลืองเข้มที่ถูกระบุว่าโดไซรัปที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากโดมีความสามารถในการดูดซึมและความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลง เนื่องจากการเก็บรักษา

2.4.2 การป้องกันการเกิดโดไซรัป (Degree of dough syruing)

1) การเลือกแป้ง ในอุตสาหกรรมอาหารพวกเบเกอรี่ แป้งเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณา โดยเฉพาะความสม่ำเสมอด้านความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้ง แต่มีหลายปัจจัยที่ไม่สามารถคาดการณ์หรือทำนายได้ เช่น ฤดูกาล สิ่งแวดล้อม เป็นต้น 2) การเอารำข้าวสาลีออกก่อนไม่แป้ง เป็นการลดระดับเอนไซม์ไซลานเนสซึ่งเป็นตัวที่ย่อยสลายอะราบินโนไซด์ลงประมาณสามเท่าของแป้งที่ไม่ได้เอารำออกก่อน 3) ตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซลานเนส ตัวยับยั้งเอนไซม์ไซลานเนสที่ถูกใช้ในทางการค้า คือ *Triticum aestivum* (TAXI) 4) การผสมไซแลนโนโด ซึ่งในทางการค้ามีการผสมไซแลนจากต้นเบิร์ช (Birch) และ ไซแลนข้าวโอ๊ตลงในแป้งโดแช่เย็น ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำของโดเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของไซแลน (Simsek and Ohm, 2009)

Simsek and Ohm (2009) ผสมแซนแทนกัมในปริมาณ 0.01 0.5 และ 1% ของแป้ง ซึ่งแซนแทนกัมเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์อยู่ในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สกัดได้พืช ตะไคร่น้ำ และแบคทีเรีย คุณสมบัติของแซนแทนกัม คือมีความหนืดสูง มีช่วง pH และอุณหภูมิคงที่ และยังสามารถต้านทานต่อการย่อยของเอนไซม์ การผสมแซนแทนกัมส่งผลให้โดไซรัปลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แซนแทนกัมมีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูงเนื่องจากแซนแทนกัมมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ สามารถอุ้มน้ำที่ถูกปล่อยมาจากโมเลกุลของอะราบินโนไซด์ในระหว่างการแช่เย็นโด การผสมแซนแทนกัมในโดช่วยลดการเกิดไซรัปและทำให้โดมีเสถียรภาพระหว่างการเก็บรักษาโดด้วยการแช่เย็น

Simsek et al. (2011) ทำการวิจัยพันธุ์ของแป้งสาลีชนิดแข็งที่มีการเจริญเติบโตในสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันต่อการเกิดโดโซไรบ์ในโดที่มีการแช่เย็นซึ่งสัมพันธ์กับการทำงานของเอนไซม์และองค์ประกอบทางเคมีของอะราบีโนไซด์แลนในแป้งสาลีชนิดแข็ง โดยมีแป้งสาลีชนิดแข็ง 8 สายพันธุ์และพื้นที่เพาะปลูก 6 แห่ง ในรัฐ North Dakota ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลที่ได้คือ พื้นที่เพาะปลูกที่มีสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ไซลานเนสและการเกิดโดโซไรบ์มากกว่าสายพันธุ์ที่แตกต่างกันในแป้งสาลีชนิดแข็ง แป้งสาลีที่เจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่แห้ง การทำงานของเอนไซม์ไซลานเนสและการเกิดโดโซไรบ์จะต่ำกว่าโดที่ทำมาจากแป้งสาลีที่เติบโตในสภาพแวดล้อมที่เปียกชื้น ซึ่งสายพันธุ์ของแป้งสาลีชนิดแข็งมีเสถียรภาพมากกว่าแป้งสาลีที่ได้มาจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ดังนั้น แป้งสาลีทุกสายพันธุ์ที่เจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่แห้งเหมาะแก่การนำมาทำเป็นโดแช่เย็น

2.5 ความไม่สด (Staling) ของขนมปัง

ขนมปังที่สดใหม่และมีคุณภาพดีนั้น จะต้องมีปริมาตรที่พองโตสัมพันธ์กับน้ำหนัก ขอบขนมปังเป็นสีน้ำตาลทอง เนื้อขนมปังเนียนละเอียดและมีความยืดหยุ่น มีกลิ่นหอมเฉพาะจากแอลกอฮอล์ ยีสต์ และแป้งสาลีที่ปนกัน ส่วนขอบขนมปังจะมีกลิ่นหอมของน้ำตาลไหม้และกลิ่นแป้งสาลีรวมอยู่ด้วย ซึ่งเกิดจากกลไกที่สลับซับซ้อนภายในของขนมปังทำให้มีกลิ่นหอมเฉพาะที่ยากจะเลียนแบบได้ การ staling ทำให้ขนมปังมีสีขาวขุ่น เนื้อขนมปังแข็งกระด้างและแห้งขึ้น ขอบขนมปังนิ่มและสูญเสียกลิ่นหอมเฉพาะ เป็นผลมาจากปรากฏการณ์ การคืนตัวของแป้ง (Starch retrogradation)

2.5.1 ปรากฏการณ์การคืนตัวของแป้ง (Starch retrogradation)

เม็ดแป้ง (Starch granule) เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit ต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ เรียกว่า reducing end group ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดคือ

1. อะไมโลส (Amylose) ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 glucosidic linkage
2. อะไมโลเพกติน (Amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 6 glucosidic linkage (สุนทรีย์ และบุศราภา, 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งดิบจะมีส่วนประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอยู่ในรูปกิ่ง ผลึกที่มีความหนาแน่นและเป็นระเบียบ ด้วยพันธะไฮโดรเจนจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง ซึ่งความแข็งแรงของพันธะนี้จะทำให้แป้งไม่ละลายในน้ำเย็น (ธนากร, 2558)

เมื่อนำน้ำแป้งดิบไปให้ความร้อน ผลจากความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งดิบที่เรียงตัวกันอย่างหนาแน่นในรูปผลึกคลายตัวลง ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน น้ำจะเข้าไปแทรกในส่วนออสทรานก่อนส่วนของผลึกในเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งเกิดการดูดน้ำและพองตัวแบบผันกลับได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น น้ำจะเข้าไปแทรกในส่วนของผลึกของเม็ดแป้งจากการที่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำพองตัวมากขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ สายโมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็ก จะแพร่ออกมานอกเม็ดแป้งที่พองตัว ทำให้โครงสร้างส่วนใหญ่ภายในเม็ดแป้งทั้งหมดเกือบจะเป็นโครงสร้างของอะไมโลเพกติน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีกจนถึงจุดที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวสูงสุด เม็ดแป้งจะเกิดการแตกออก ความหนืดลดลง ทำให้แป้งสุกเรียกกระบวนการนี้ว่า เจลาติไนซ์เซชัน (Gelatinization) หลังจากแป้งสุกแล้วและลดอุณหภูมิโดยการปล่อยให้เย็นตัวลง โครงสร้างภายในที่มีอะไมโลเพกตินเกือบทั้งหมด ส่วนอะไมโลสที่กระจายอยู่รอบเม็ดแป้ง จะกลับเข้ามาจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนในรูปผลึกที่มีความแข็งแรงกว่าเดิม น้ำที่เคยจับกับหมู่ไฮดรอกซิล จะถูกดึงออกมาเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ลักษณะเป็นเจล เรียกว่า การคืนตัวของแป้ง (Starch retrogradation) (ธนากร, 2558) ซึ่งการเกิดเจลของอะไมโลสจะเกิดขึ้นอย่างคงที่ภายหลังจากการอบ 24 ชั่วโมง และการแป้งเกิดการคืนตัวอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่เก็บรักษานั้น เป็นผลมาจากการตกผลึกอย่างช้า ๆ ของอะไมโลเพกตินนั่นเอง (Eliasson and Larsson, 1993)

2.5.2 กลไกการ staling ที่ส่งผลต่อเปลือกนอกของขนมปัง

เปลือกนอกขนมปังที่มีความสดนั้น ผิวจะแห้งและค่อนข้างกรอบ จะมีกลิ่นหอมของน้ำตาลไหม้ ส่วนของปังที่เสื่อมสภาพจากความไม่สดนั้น เปลือกนอกขนมปังจะนิ่มและเหนียว กลิ่นหอมที่เกิดขึ้นจะหมดไป โดยเปลือกขนมปังที่แห้งนี้จะดูดซับความชื้นในอากาศและความชื้นภายในเนื้อขนมปังให้เคลื่อนตัวมายังเปลือกนอกได้ง่าย

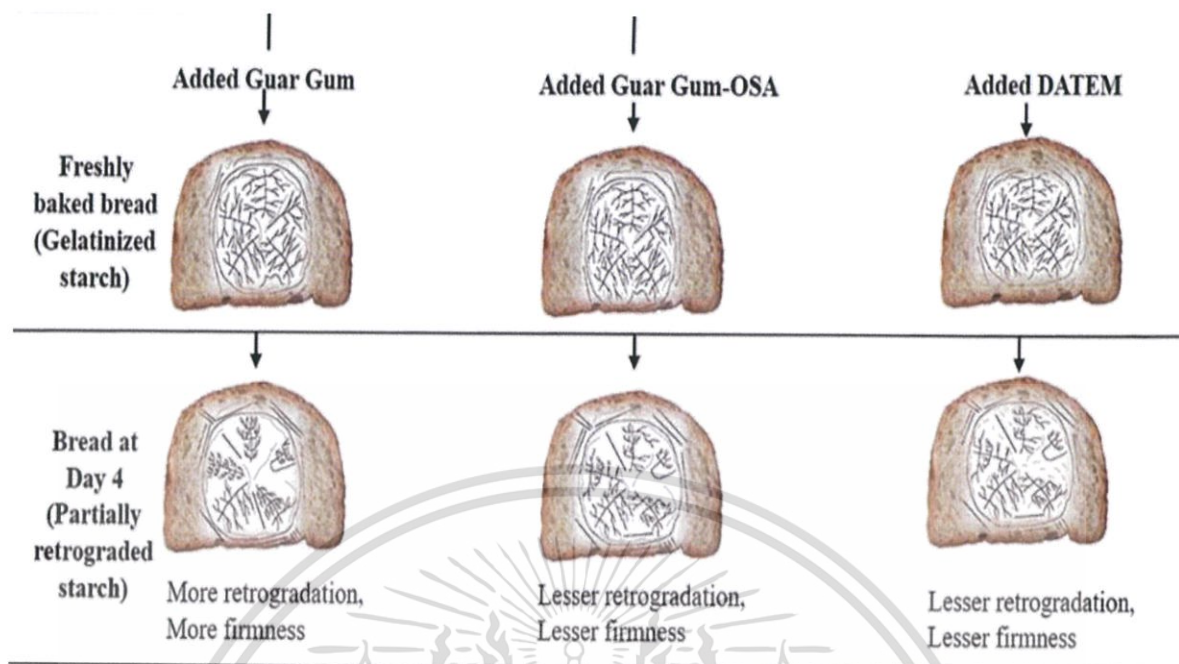
2.5.3 กลไกการ staling ที่ส่งผลต่อเนื้อของขนมปัง

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเริ่มจากการสูญเสียกลิ่นหอมและรสชาติ เนื้อขนมปังมีลักษณะเป็นเจลขาวขุ่นและแข็งกระด้าง ความสามารถในการดูดซึมน้ำของเนื้อขนมปังลดลง จนเกิดการสูญเสียความชื้นโดยการระเหยในที่สุด

2.5.4 งานวิจัยเกี่ยวกับความไม่สด Staling

Ding et al. (2019) ทำการวิจัยผลของการผสม Moltital ซึ่งเป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติที่ผลิตได้จากมันสำปะหลังลงในขนมปัง ในปริมาณ 2.4 และ 6% ของน้ำหนักแป้งสาลีเทียบกับขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่ผสม Moltital โดยเก็บรักษาขนมปังที่ผ่านการอบไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 12 ชั่วโมง โดยศึกษาอัตราการหมักในโด ปริมาตรจำเพาะ คุณสมบัติทางความร้อน เนื้อสัมผัส การแพร่กระจายและการเคลื่อนย้ายของน้ำ กลไกการ Staling และ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ในขนมปังสดและขนมปังที่มีการเก็บรักษา Moltital ส่งผลต่อโดและคุณภาพของขนมปัง ตลอดจนคุณสมบัติทางความร้อน การเคลื่อนย้ายของน้ำ และการคืนตัวของแป้ง โดย Moltital สามารถลดอัตราการหมักลงโดยที่ปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างกันมาก ช่วยทำให้อุณหภูมิการเจลาติไนซ์ของแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Hardness และ Chewiness ของขนมปังมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของ Moltital เพิ่มขึ้นอีกด้วย จากการวิจัยพบว่า Moltital สามารถอุ้มน้ำไว้ได้และขัดขวางกลไกการ Staling ของขนมปังที่มีการเก็บรักษา

Shah et al. (2018) ทำการวิจัยโดยนำ Guar gum (GG) ที่สกัดมาจาก endosperm ของถั่วกัวร์ มาทำปฏิกิริยา esterification กับ n-octenyl succinylated (OSA) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ ได้ GG-OSA ซึ่งมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ และ GG ถูกใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เนื่องจากช่วยยืดระยะเวลาการเก็บรักษา ตลอดจนการกักเก็บน้ำและชะลอการคืนตัวของอะไมโลเพกติน ซึ่งปัจจัยในการทดลองคือ กรดไขมันเอสเทอร์ของกลีเซอรอล (DATEM) GG และ GG-OSA เทียบกับสูตรพื้นฐาน ผลที่ได้คือ GG-OSA ทำให้โดมีมันคงแข็งแรงเนื่องจากช่วยปรับปรุงค่า cohesiveness และ hardness ในวันที่ 4 ของการเก็บขนมปังไว้ที่อุณหภูมิห้อง การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ที่บ่งชี้ถึงผลึกในขนมปังที่ผสม GG-OSA ใกล้เคียงกับขนมปังที่ผสม DATEM ต่ำกว่าสูตรควบคุมและสูตรที่ผสม GG โดยยืนยันได้จากในวันที่ 4 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของขนมปังที่ผสม GG-OSA ต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ สรุปคือ GG-OSA สามารถใช้ผสมเพื่อเป็นตัวยับยั้งการ Staling ในผลิตภัณฑ์ขนมปังได้



รูปที่ 2.3 การคืนตัวของแป้งเมื่อผสม GG, GG-OSA และ DATEM ของขนมปัง (Shah et al., 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 วัสดุ

1. แป้งสาลี ชนิดทำขนมปัง ตราหงส์ขาว
2. เกลือปน ตราปรุงทิพย์
3. น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล
4. เนยสด ชนิดจืด ตราออร์คิดส์
5. ยีสต์ผง ตราเพอร์เฟค
6. เมล็ดลินินสีน้ำตาล
7. น้ำสะอาด

3.1.2 อุปกรณ์

1. เตอบเอนกประสงค์ Electrolux
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. ตู้อบลมร้อน
4. Oven เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องปั่นผสมแป้ง
6. เครื่องปั่นแห้ง
7. ตู้เย็น
8. ชามสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. พิมพ์ขนมปัง เบอร์ 6
10. ถาดสแตนเลส
11. มีดฟันเลื่อย
12. ถุงพลาสติก Polyethylene
13. กล่องพลาสติก
14. ตะแกรงร่อน
15. เทอโมมิเตอร์กระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 การเตรียมเมล็ดลิ้น

อบเมล็ดลิ้นที่อุณหภูมิ 80-90°C เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นแห้งที่ความเร็วเบอร์ 5 เป็นเวลา 1 นาที

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างแป้งโด

แป้งโดสูตรพื้นฐานประกอบด้วยแป้งสาลี 160 กรัม น้ำสะอาด 100 กรัม ยีสต์แห้ง 3 กรัม น้ำตาล 5 กรัม เกลือ 2 กรัม และเนย 15 กรัม โดยขนมปังที่ผสมเมล็ดลิ้น เตรียมจากสูตรพื้นฐานเช่นเดียวกัน แต่มีการผสมเมล็ดลิ้น 3 ระดับ คือ 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้งซึ่ง จะปรับเปลี่ยนปริมาณแป้งสาลีลงเพื่อให้น้ำหนักสุดท้ายของแต่ละสูตรเท่ากับสูตรพื้นฐาน โดยแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน

สูตร	เมล็ดลินิน (g)	แป้งสาลี (g)
Control	0	160
FS10	16	144
FS15	24	136
FS20	32	128

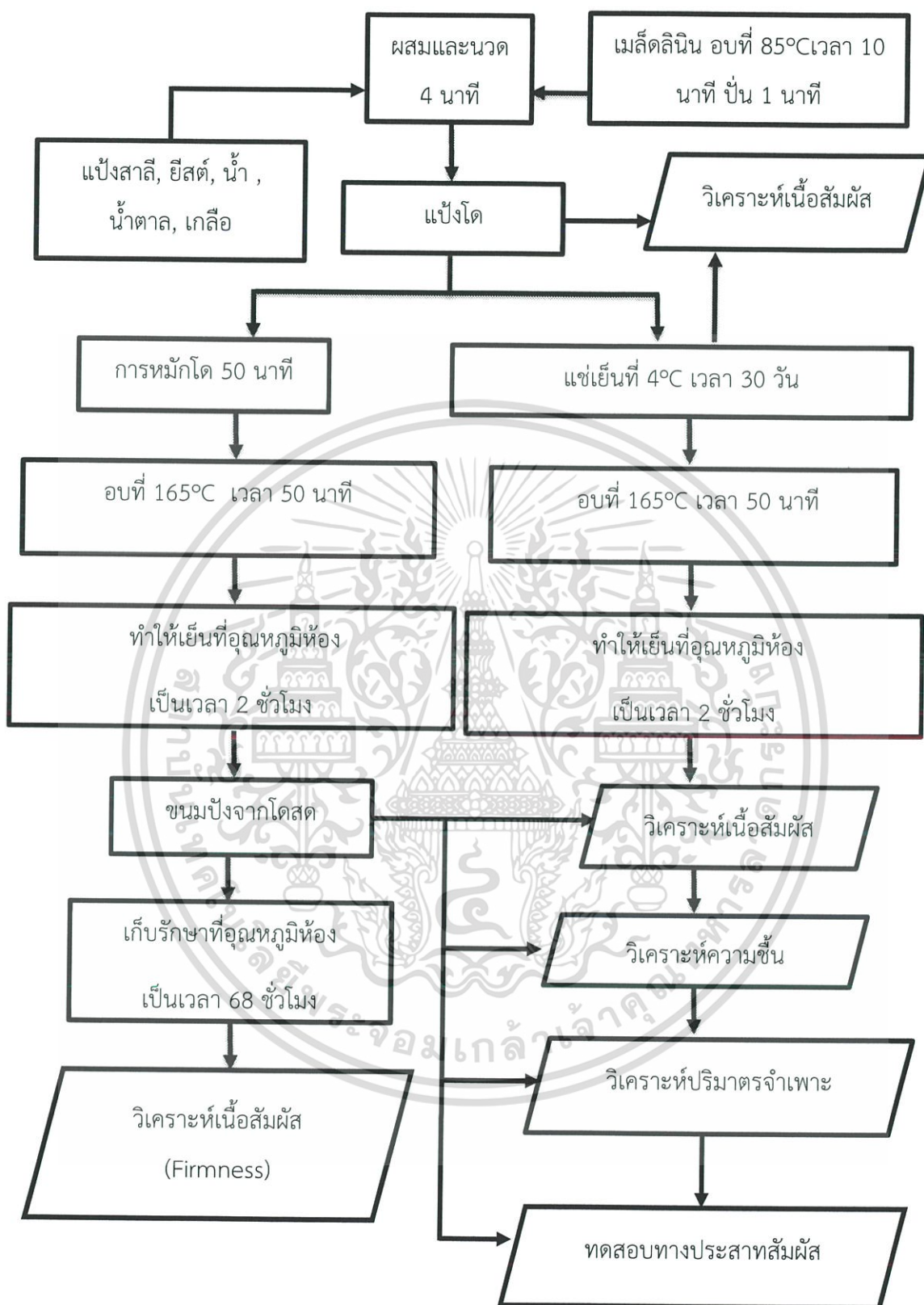
หมายเหตุ : Control คือ ขนมปังสูตรพื้นฐานที่ไม่ผสมเมล็ดลินิน FS10 FS15 และ FS20 สูตรขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้ง

ทำการผสมแป้งโดสูตรต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1 แล้วปั้นแป้งโดแต่ละสูตรประมาณ 30 g ใส่ในพิมพ์ที่เป็นทรงกระบอกและกดให้ผิวหน้าโดเรียบที่สุด นำแป้งโดออกจากพิมพ์ทรงกระบอกแล้วนำไปใส่ในกล่องพลาสติกก่อนจะนำไปใส่ในถุง PE เพื่อเป็นการป้องกันการกดทับผิวหน้าแป้งโดจากถุง PE และเพื่อให้แป้งโดขยายตัวได้เต็มที่ หลังจากนั้นนำแป้งโดส่วนที่ต้องการศึกษาผลของการแช่เย็นไปแช่ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4°C สำหรับขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างนั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1

3.2.3 การเตรียมตัวอย่างขนมปัง

นำแป้งโดสูตรต่าง ๆ ที่ได้เตรียมไว้ ไปอบที่อุณหภูมิ 165°C เป็นระยะเวลา 50 นาที จากนั้นนำออกจากเตาอบมาพักเย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปหั่นเป็นแผ่นด้วยมีดฟันเลื่อยให้มีขนาดแผ่นละ 2 cm แล้วนำไปวิเคราะห์

สำหรับการเตรียมตัวอย่างขนมปังในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หลังจากทำให้ขนมปังเย็นตัวเรียบร้อยแล้ว นำขนมปังมาหั่นให้มีความหนา 2 cm แล้วบรรจุในถุงพลาสติก PE จากนั้นนำไปซีลปากถุงเพื่อป้องกันไม่ให้ขนมปังสูญเสียความชื้นเนื่องจากการสัมผัสกับอากาศ จากนั้นนำไปเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของแป้งโด

3.3.1 การวัดคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ด้วยเทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)

การเตรียมแป้งโดโดยตัดแบ่งแป้งโดเป็นก้อนประมาณ 30 กรัม นำก้อนโดใส่ในพิมพ์ทรงกระบอก แล้วกดให้ผิวหน้าของแป้งโดเรียบทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส(Texture Analyzer) โดยใช้หัวกดทรงกระบอก (P/50) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm โดยวิเคราะห์ค่า Hardness Adhesiveness Springiness และ Cohesiveness

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพของขนมปัง

3.4.1 การวัดคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส ด้วยเทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)

เตรียมตัวอย่างโดยทำการหั่นขนมปังด้วยมีดฟันเลื่อยเป็นแผ่น ความหนาแผ่นละ 2 cm จากนั้นนำไปวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยใช้หัวกดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm โดยวิเคราะห์ค่า Hardness Springiness Chewiness และ Gumminess

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)

ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการแทนที่ด้วยเมล็ดฝักกาดขาว รายละเอียดและวิธีการวิเคราะห์ตามภาคผนวก ก.4

3.4.3 การวิเคราะห์ความชื้น (%Moisture Content)

เตรียมตัวอย่างโดยหั่นขนมปังให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ มีน้ำหนักรวม 3-5 g ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนนำเข้าตู้อบลมร้อน และหลังจากอบตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 18 ชม. มีรายละเอียดและวิธีการวิเคราะห์ตามภาคผนวก ก.5

3.5 การวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสหรือการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคนั้น ทำการทดสอบโดยบุคคลที่ผ่านการฝึกฝนและอบรมมาแล้ว จำนวน 10 คน ทำการประเมินตัวอย่างโดยใช้ 9 Point Hedonic Scale โดยคะแนน 1 = “ไม่ชอบมากที่สุด” และคะแนน 9 = “ชอบมากที่สุด” โดยคุณลักษณะที่ประเมินมีดังนี้ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมการทดสอบทำภายใต้ห้องที่มีแสงสีขาว Ayadi et al (2009) โดยมีตัวอย่างแบบประเมินและรายละเอียดต่าง ๆ ตามภาคผนวก ก.6

3.6 การวิเคราะห์ความไม่สด (Staling) ของขนมปัง

การคืนตัว (Retrogradation) ระหว่างการเก็บรักษา มีการเติบโตของผลึกมาจากแกนกลางการก่อผลึกที่แตกต่างกัน ปริมาณของวัสดุที่ตกผลึกภายในเวลาที่กำหนด คือ อัตราการก่อผลึกซึ่งจะรวมความหนาแน่นของการก่อผลึก (Nucleation density) และอัตราการเติบโตของผลึก (Crystal growth rate) ที่เกิดขึ้น สมการเอ็กซ์โพเนนเชียลได้มาจาก สมการ Avrami แสดงในสมการที่ 3.1 ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองในการอธิบายการคืนตัวของแป้ง (Chinachoti and Vodovotz, 2001)

Ding et al. (2019) การคืนตัวของแป้งทำให้ มีการเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของเนื้อขนมปังเมื่อมีการเก็บรักษา ซึ่งการตกผลึกของโมเลกุลแป้งเป็นกลไกที่ทำให้เกิดความไม่สด (Staling) ของขนมปัง ดังนั้น จึงสามารถอธิบายอัตราการ Staling ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของขนมปัง โดยค่า Firmness คือ ค่าแรงสูงสุดที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Hardness) ซึ่งอยู่ในรูปกราฟแรงกับเวลา Rosell and Santos (2010) ใช้สมการ Avrami ในการอธิบายการ Staling ของขนมปังที่ผสมโยเกิร์ต (เพคติน Resistant starch และ Fiber blend) โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสมการหาโดยการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยได้ทดสอบขนมปังอบสดและขนมปังที่มีการอบบางส่วนแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นและอุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C เป็นเวลานาน 10 วัน และ 3 เดือน ตามลำดับ พบว่า Resistant starch และ Fiber blend ทำให้ขนมปังอบสดและอบบางส่วน มีปริมาณจำเพาะลดลงและเนื้อขนมปังมีค่า Hardness เพิ่มขึ้น และจากการใช้สมการ Avrami วิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น ค่าพารามิเตอร์ k คือ ค่าคงที่ปฏิกิริยา พบว่า ขนมปังที่ผสม Pectin มีค่า k ต่ำที่สุด บ่งบอกว่าการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness ของขนมปังระหว่างการเก็บรักษามีอัตราที่ช้ากว่าขนมปังสูตรอื่น ๆ สอดคล้องกับอัตราการเติบโตของผลึก ในทางกลับกัน Resistant starch และ Fiber blend ทำให้ขนมปังมีค่า k สูงที่สุด สัมพันธ์กับค่า n คือ Avrami exponent แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงทั้งสองพารามิเตอร์จะทำการศึกษา

ภายในแต่ละสูตรของขนมปัง แต่โดยรวมแล้วพารามิเตอร์นี้บ่งบอกว่าขนมปังที่ผสมเพกตินทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness ช้าลง แต่ให้ผลในทางตรงกันข้ามกับขนมปังที่ผสม Resistant starch และ Fiber blend ซึ่งเกี่ยวข้องกับการก่อผลึก (Crystal nucleation) และการเติบโตของรูปร่างของผลึก (Growing geometry) อย่างไรก็ตาม ไม่มีความแตกต่างระหว่างกระบวนการผลิตหรือสภาวะการเก็บรักษาของขนมปังที่อบบางส่วน ค่า Hardness ของขนมปังที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษานั้น สาเหตุหลักน่าจะมาจากการตกผลึกใหม่ของอะไมโลเพกติน (Amylopectin recrystallization) ถึงแม้ว่าจะมีปรากฏการณ์อื่นร่วมด้วย เช่น การแพร่ของความชื้นจากเนื้อขนมปังไปยังขอบขนมปัง การจับกันระหว่างสตาร์ชและกลูเตนมีส่วนทำให้ ค่า Hardness เพิ่มขึ้น การผสมโยอาหารสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเป็นการจำกัดปริมาณน้ำในระหว่างการเจลาติไนซ์ของเม็ดสตาร์ชและมีความเป็นไปได้ว่าโยอาหารจะเข้าไปดัดแปลงโครงสร้างการก่อผลึกของอะไมโลเพกติน

$$\theta = \frac{T_{\infty} - T_t}{T_{\infty} - T_0} = e^{-kt^n} \quad (3.1)$$

โดยที่ θ คือ สัดส่วนที่มีการตกผลึกใหม่

T_{∞} = ค่า firmness สุดท้ายเมื่อไม่มีการคืนตัวของแป้ง

T_0 = ค่า firmness เริ่มต้น

T_t = ค่า firmness ที่เวลาใด ๆ

k = ค่าคงที่ปฏิกิริยา

n = Avrami exponent

Rosell and Santos (2010) โดยทั่วไป ณ เวลาคงที่ ค่า k จะเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของขนมปัง โดยเมื่อ k มีค่ามากจะมีอัตราการเกิดผลึกที่มาก ส่วนค่า n บ่งบอกถึงกลไกการเริ่มต้นของการก่อผลึก (Nucleation mechanism) ว่าเป็นกระบวนการก่อผลึกแบบเนื้อเดียว (Homogeneous nucleation) หรือแบบเนื้อผสม (Heterogeneous nucleation) (วรศักดิ์ และนิรันดร์, 2559)

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของเนื้อขนมปัง โดยการหั่นขนมปังที่ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องหนา 2 เซนติเมตร แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกซิลปากถุงเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น เก็บที่อุณหภูมิห้อง ($21 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 68 ชั่วโมง สุ่มตัวอย่างทุก 19 44 และ 68 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R^2 สามารถคำนวณได้จาก

$$R^2 = \frac{\Sigma(x_i - x)^2}{\Sigma(x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

โดยที่ x_i คือ ค่า Firmness ที่ได้จากการทดลอง

x คือ ค่า Firmness ที่ได้จากสมการ

\bar{x} คือ ค่า Firmness เฉลี่ย

Ding et al. (2019) ใช้ค่า k และ n คำนวณค่าครึ่งชีวิต $t_{1/2}$ จากสมการที่ 3.3 อธิบายการตกผลึกของโมเลกุลแบ่งและการเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ซึ่งการรายงานข้อมูลเป็นครั้งเวลาในการตกผลึก (crystallization half-time; $t_{1/2}$) หมายถึงเวลาที่เกิดผลึกไปแล้วร้อยละ 50 ของปริมาณผลึกทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้ว ค่า $t_{1/2}$ แปรผกผันกับอัตราการเกิดผลึก นั่นคือ ถ้าอัตราการเกิดผลึกเกิดได้เร็ว (มีค่ามาก) ค่า $t_{1/2}$ จะมีค่าน้อย ในทางกลับกันถ้าอัตราการเกิดผลึกเกิดได้ช้า (มีค่าน้อย) ค่า $t_{1/2}$ จะมีค่ามาก (วรศักดิ์ และนิรันดร์, 2559)

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

3.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองของโครงการนี้ เลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance, ANOVA) หากพบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะทำการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Test สำหรับการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และวิธี LSD สำหรับการวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของเมล็ดลิ้นต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโดสด

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแป้งโดที่ผสมเมล็ดลิ้นอบบดในปริมาณ 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้ง โดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)

รูปที่ 4.1 ค่า Hardness ของแป้งโดสูตรควบคุมมีค่าต่ำสุด และจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเมล็ดลิ้นที่ผสมลงไป จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) ค่า Hardness ของแป้งโดสูตรผสมเมล็ดลิ้น 10% ไม่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุมและสูตรที่ผสมเมล็ดลิ้น 15% และ 20% อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อผสมเมล็ดลิ้นเพิ่มขึ้นในปริมาณ 15% ทำให้ค่า Hardness ของแป้งโดสูงขึ้นจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้การผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 20% ไม่ได้มีผลทำให้ค่า Hardness ของแป้งโดเพิ่มสูงขึ้นจากการผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 15% อย่างมีนัยสำคัญ

รูปที่ 4.2 ค่า Adhesiveness ของแป้งโดสูตรควบคุมมีค่าสูงสุด และจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเมล็ดลิ้นที่ผสมลงไป จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) การผสมเมล็ดลิ้นไม่มีผลต่อค่า Adhesiveness ของแป้งโดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าข้อมูลค่า Adhesiveness ของแป้งโดสูตรควบคุมที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนสูง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

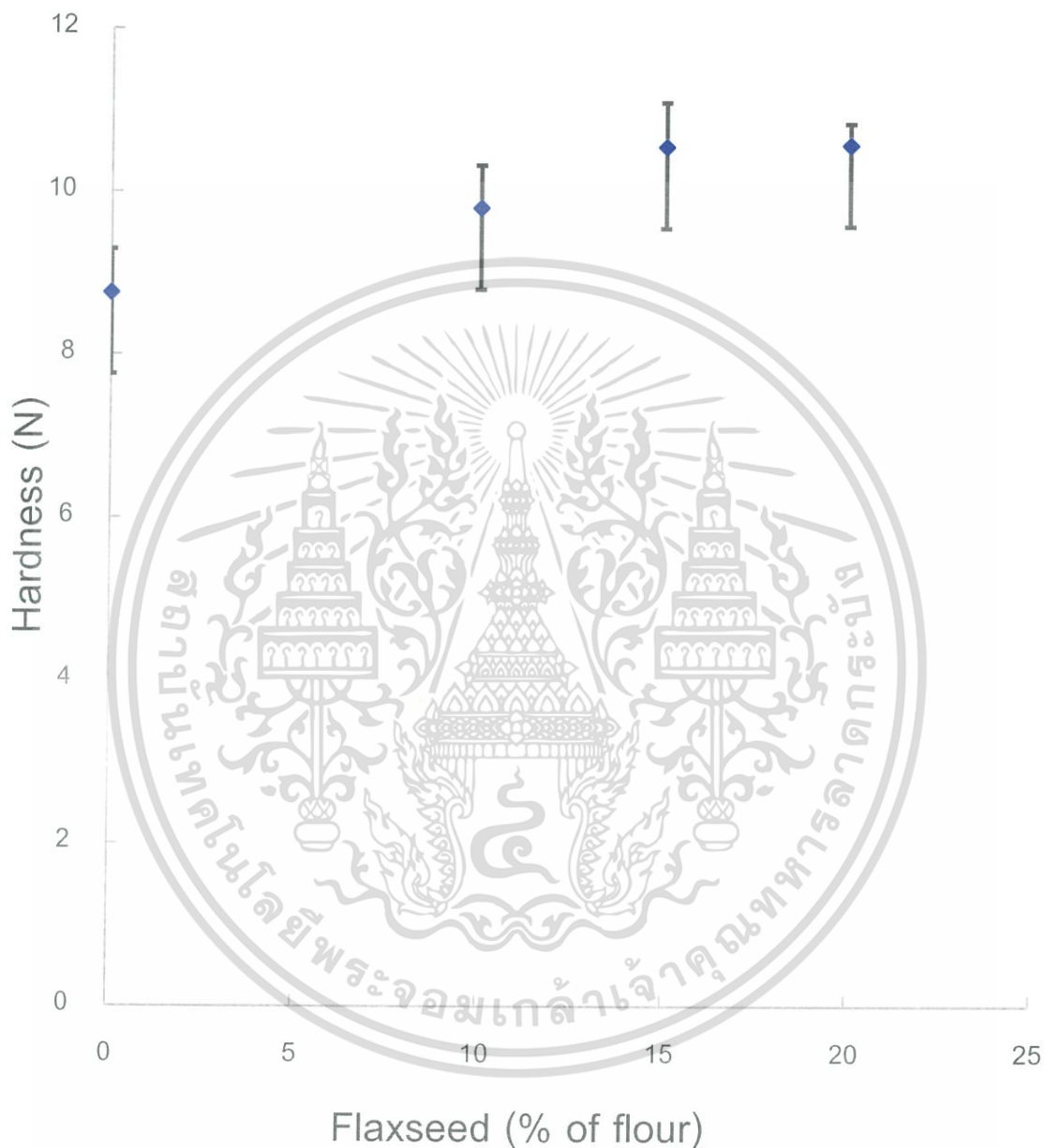
รูปที่ 4.3 ค่า Springiness ของแป้งโดสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด และจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเมล็ดลิ้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) ค่า Springiness ของแป้งโดสูตรผสมเมล็ดลิ้น 10% ไม่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุมและสูตรที่ผสมเมล็ดลิ้น 15% และ 20% อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อผสมเมล็ดลิ้นเพิ่มขึ้นในปริมาณ 15% ทำให้ค่า Springiness ของแป้งโดลดลงจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การผสมเมล็ดลิ้นเพิ่มขึ้นในปริมาณ 20% ไม่ได้มีผลให้ค่า Springiness ของแป้งโดลดลงจากการผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 15% อย่างมีนัยสำคัญ

รูปที่ 4.4 ค่า Cohesiveness ของแป้งโดสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุด และจะลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลิ้นโดยการผสมเมล็ดลิ้น 15% ทำให้ค่า Cohesiveness ของแป้งโดสูงกว่าสูตรที่ผสมเมล็ดลิ้น 10% และ 20% จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) ค่า Cohesiveness ของแป้งโดที่ผสมเมล็ดลิ้น 10% 15% และ 20% มีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ การผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณที่แตกต่างกัน 10% 15% และ 20% ไม่มีผลให้ค่า Cohesiveness ของแป้งโดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เนื้อสัมผัสของโดที่ผสมเมล็ดลิ้น 10% 15% และ 20% จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า แป้งโดมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไปเมื่อมีการผสมเมล็ดลิ้น Ayadi et al. (2009) รายงานว่า แป้งโดมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นเมื่อมีการผสม Cladodes จากต้น Opuntia ficus indica ซึ่งได้อธิบายว่า อาจเกิดจากความอ่อนแอของโปรตีนกลูเตนหรือระหว่างโปรตีนกลูเตนกับพอลิแซ็กคาไรด์ในแป้งสาลีทำให้คุณสมบัติทางรีโอโลยีและเนื้อสัมผัสของแป้งโดเปลี่ยนไปเนื่องจากการที่ใยอาหารเข้าไปแทรกในโครงสร้างกลูเตน โดยโปรตีนกลูเตนเกิดจากโมเลกุลไกลอะดินและกลูเตนินจับกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ จากการที่ผสมแป้งสาลีกับน้ำ ซึ่งกลูเตนจะมีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น สามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตโดยยีสต์และสามารถคงรูปร่างอยู่ได้ การผสมเมล็ดลิ้นลงในขนมปัง เมล็ดลิ้นจะเข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างของโด ซึ่งจะขัดขวางการรวมตัวของไกลอะดินและกลูเตนินทำให้กลูเตนเกิดได้น้อย ส่งผลให้ ค่า Hardness เพิ่มขึ้น ส่วนค่า Springiness Cohesiveness และ Adhesiveness ลดลง นอกจากนี้ เมล็ดลิ้นยังมีโครงสร้างที่แข็ง การเพิ่มปริมาณเมล็ดลิ้นในขนมปังอาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ค่า Hardness ของแป้งโดเพิ่มขึ้น (นุรีน และคณะ, 2556)



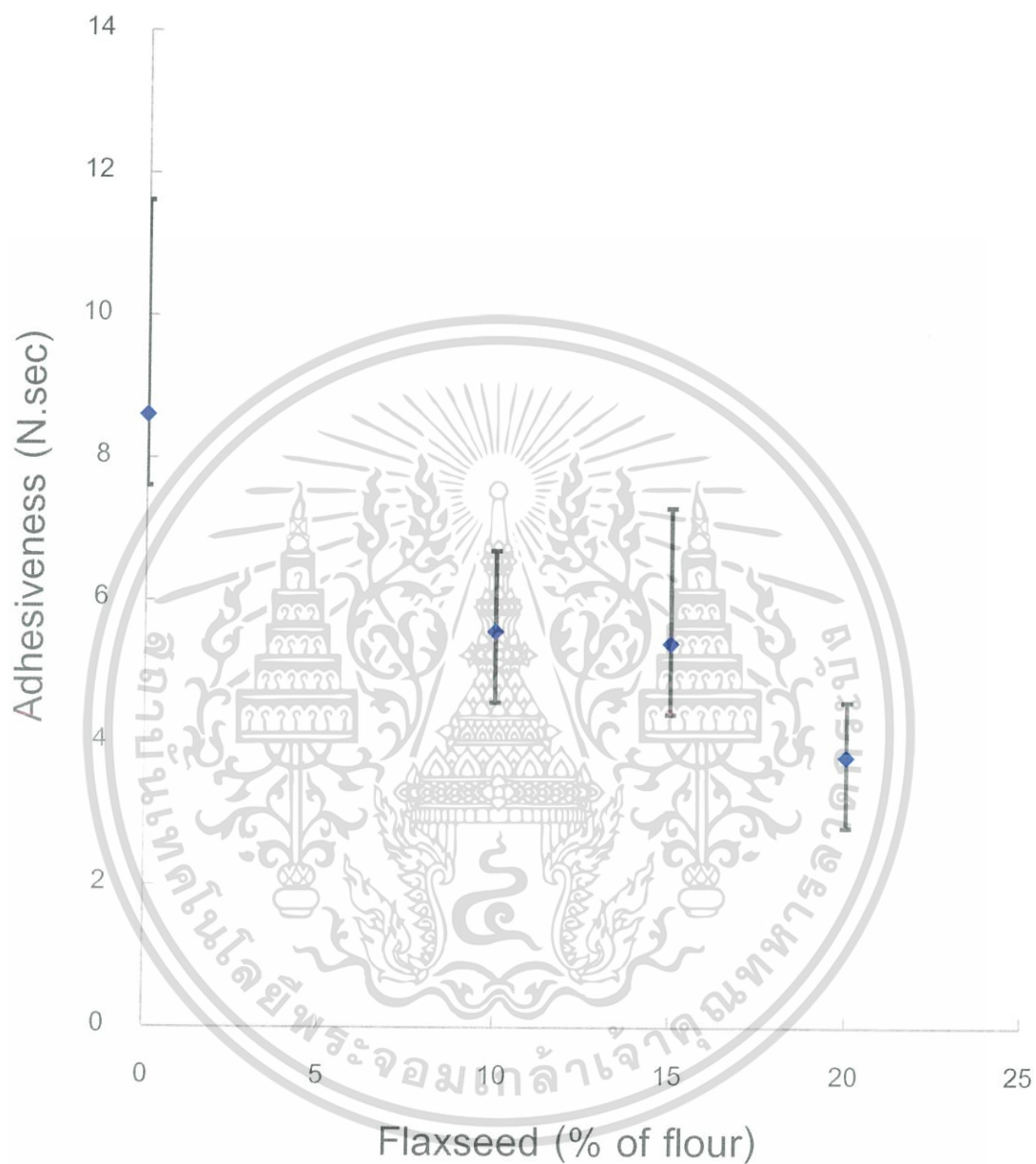
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Hardness ของแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

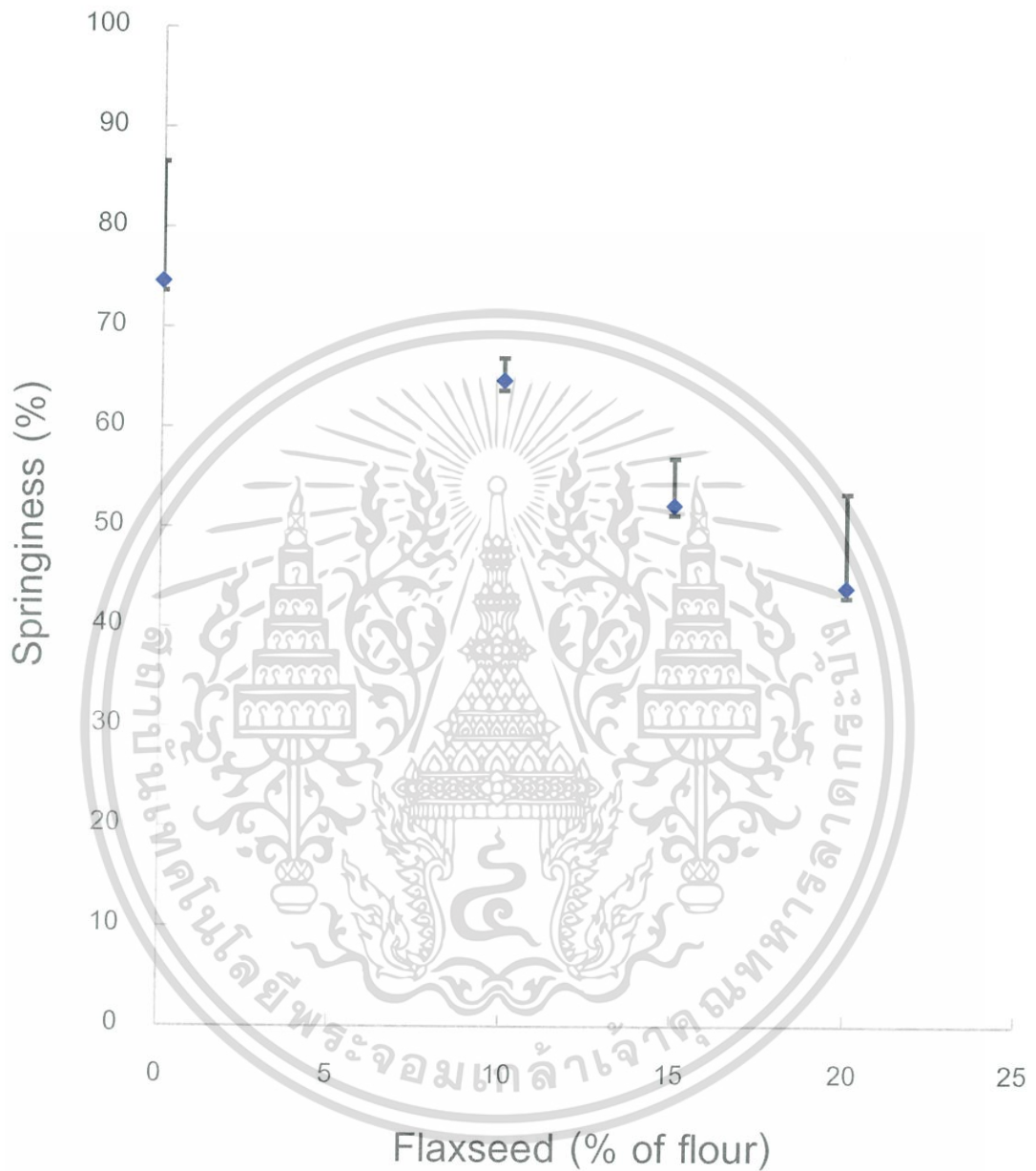
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Adhesiveness ของแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

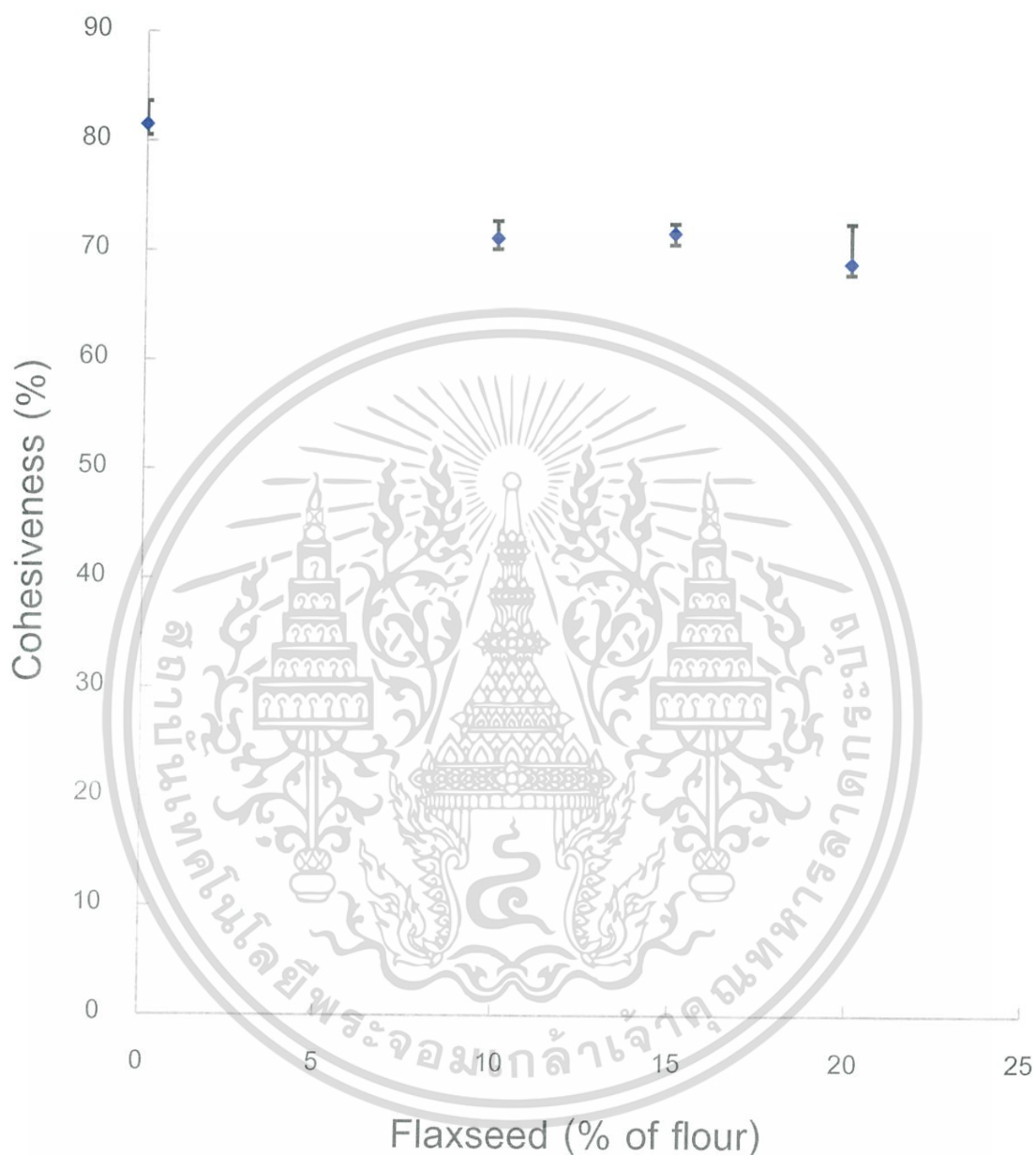
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Springiness ของแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Cohesiveness ของแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโดสด

สูตร	Hardness (N)	Cohesiveness (%)	Springiness (%)	Adhesiveness (N·s)
Control	8.76±0.53 ^a	81.51±2.10 ^a	74.61±11.88 ^a	8.60±3.00
FS10	9.80±0.52 ^{ab}	71.23±1.59 ^b	64.71±2.26 ^{ab}	5.56±5.57
FS15	10.55±0.54 ^b	71.72±0.88 ^b	52.24±4.69 ^b	5.40±1.90
FS20	10.58±0.26 ^b	68.98±3.63 ^b	43.99±9.43 ^b	3.81±0.77

หมายเหตุ : อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง^{a,b} หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4.2 อิทธิพลการแช่เย็นต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของแป้งโด

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแป้งโดผสมเมล็ดลินิน 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักแป้ง โดยเก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 วัน ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยใช้เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)

รูปที่ 4.5 ค่า Hardness ของแป้งโดทุกสูตรจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษายาวนานขึ้น ซึ่งค่า Hardness ของแป้งโดแช่เย็นมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยรูปแบบสมการ เป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 4.5

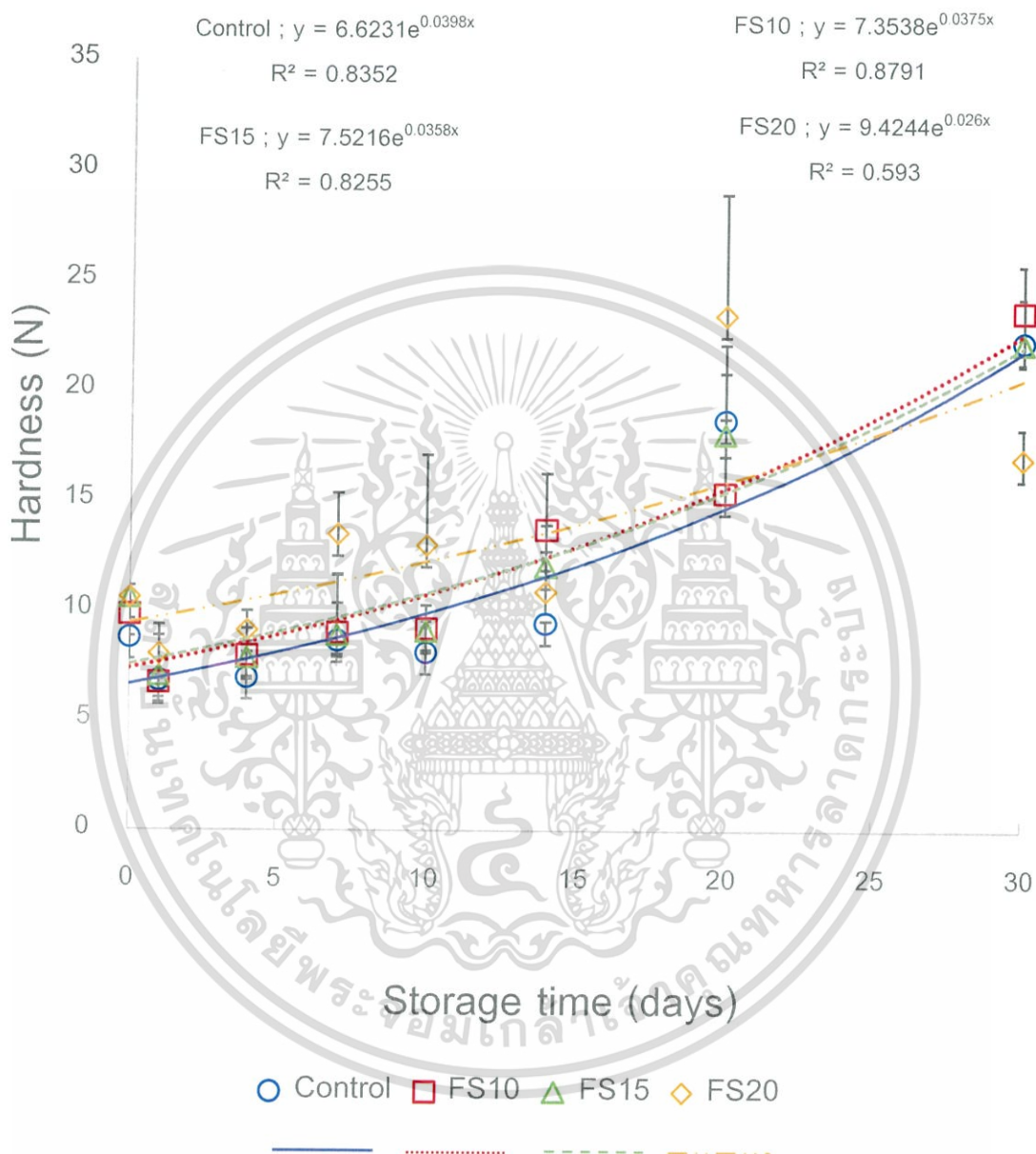
รูปที่ 4.6-4.7 ค่า Adhesiveness และ Springiness ของแป้งโดทุกสูตร ไม่มีเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของการแช่เย็นแต่จะลดลงหลังจากวันที่ 20 ทั้งนี้ การแช่เย็นทำให้ค่า Adhesiveness และ Springiness ของแป้งโดลดลง

รูปที่ 4.8 ค่า Cohesiveness ของแป้งโดทุกสูตรมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการแช่เย็นทำให้ ค่า Cohesiveness ของแป้งโดลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยรูปแบบสมการ เป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล แสดงไว้ดังรูปที่ 4.8

แป้งสาลีประกอบด้วย โพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง คือ อะราบินโนไซแลน ซึ่งมีความสามารถอุ้มน้ำได้ ถึง 10 เท่าของน้ำหนักตัวเองหรือ 30% ของความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งสาลี การแช่เย็นโดจะทำให้ของเหลวแยกตัวออกมาในรูป โดไซรัป เกิดจากที่อะราบินโนไซแลนถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ไซลานเนส (Simsek, 2009; Kim et al., 2017) จากผลการทดลองโดไซรัปจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเกิดโดไซรัปทำให้แป้งโดสูญเสียน้ำ การที่แป้งโดสูญเสียน้ำจะทำให้แป้งโดมีเนื้อสัมผัสที่แน่นขึ้น ส่งผลให้ค่า Cohesiveness Adhesiveness และ Springiness ของโดแช่เย็นมีค่าลดลง การที่ภายในตู้เย็นมีความชื้นต่ำ น้ำที่อยู่ในรูปไซรัปอาจจะระเหยไปในที่สุด อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่า Hardness ของโดเพิ่มขึ้น



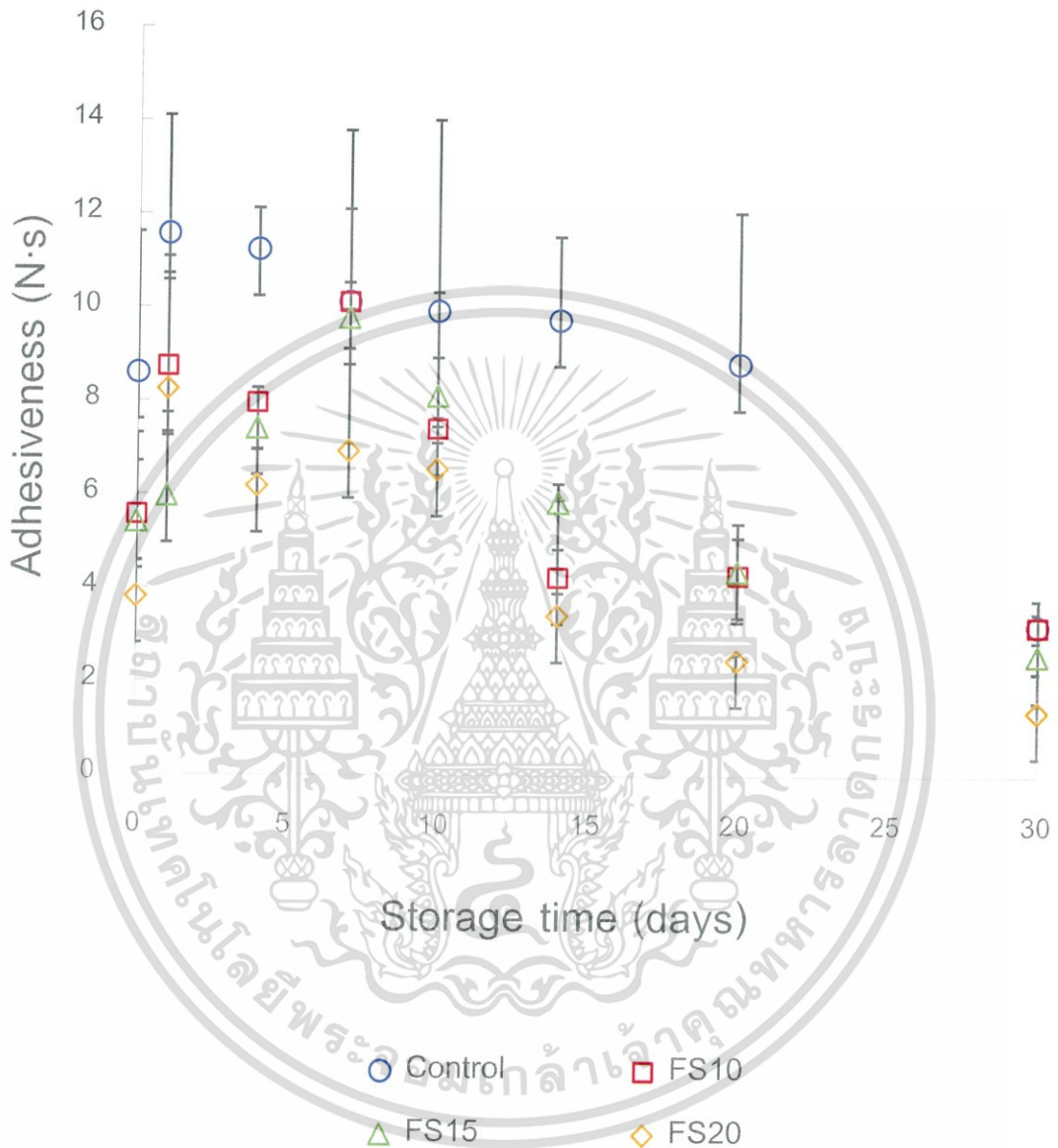
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า Hardness ของแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4° C

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

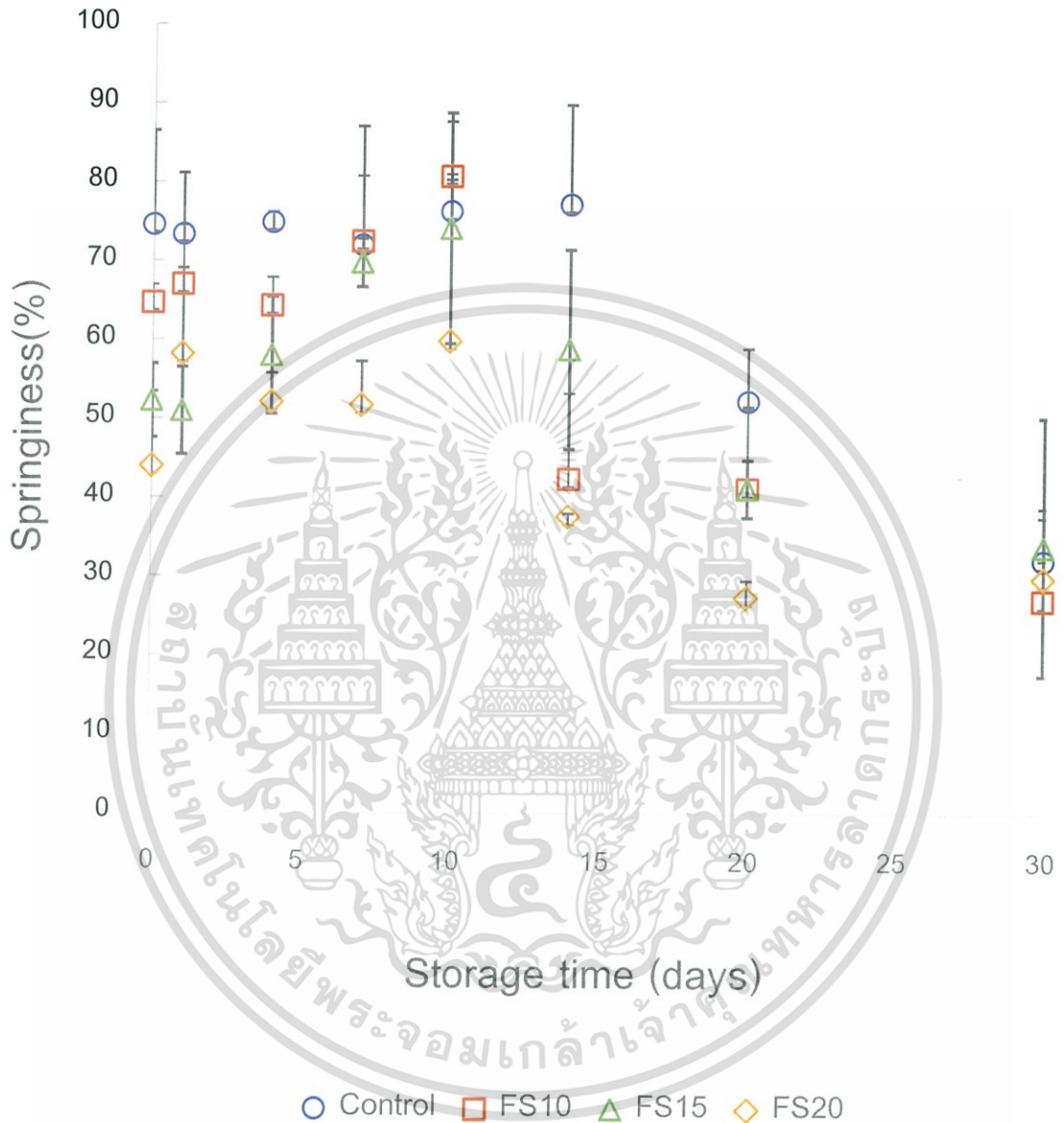
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่า Adhesiveness ของแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4° C

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

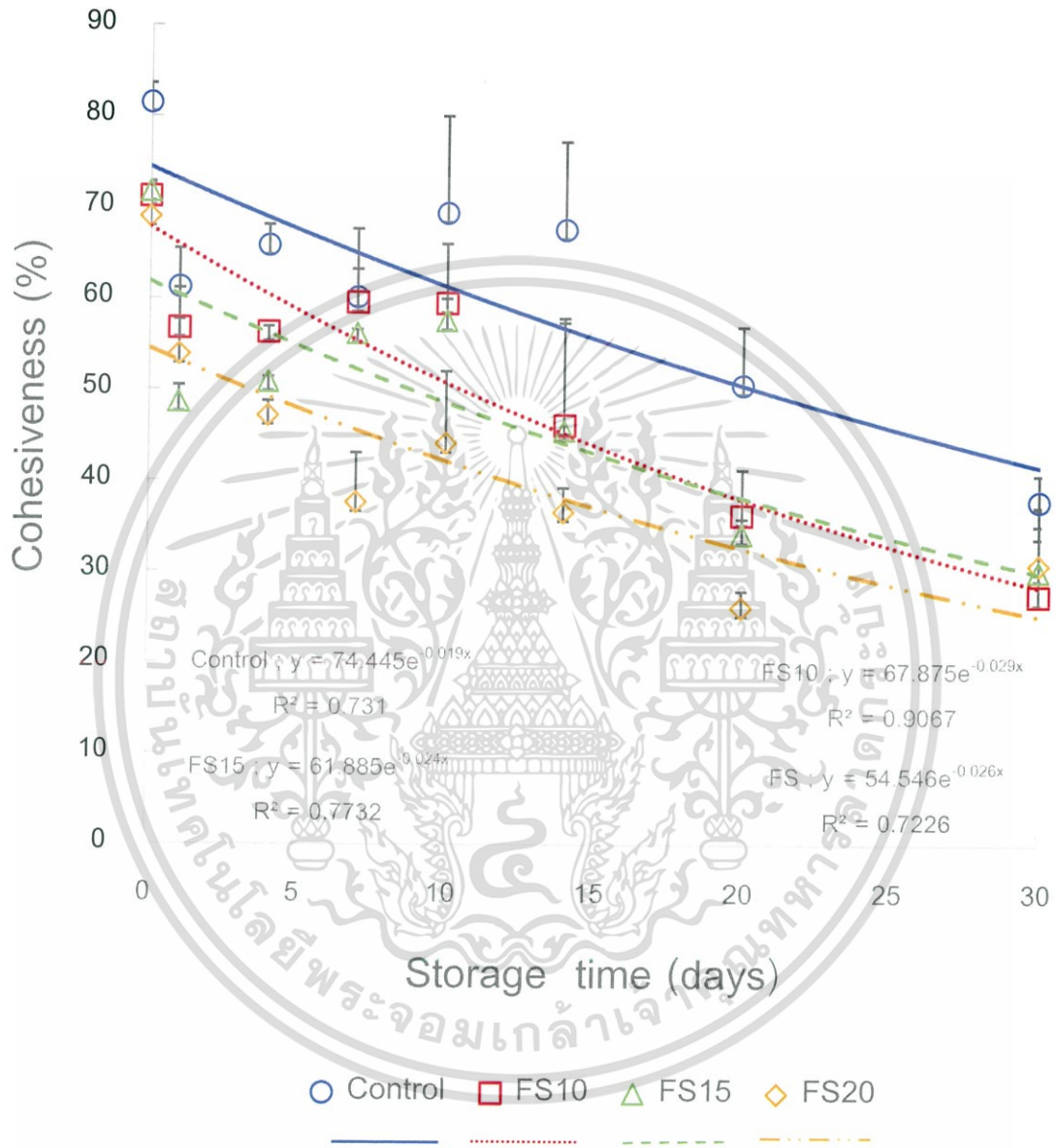
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่า Springiness ของแป้งโตแซเย็นที่อุณหภูมิ 4° C

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ของแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4° C

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของเมล็ดลิ้นต่อคุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากโตสต

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมปังที่มีการผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 10% 15% และ 20% ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA) แสดงไว้ในรูปที่ 4.9-4.14 ตามลำดับ

เห็นได้ว่าค่า Hardness ของขนมปังที่ไม่ผสมเมล็ดลิ้นมีค่าต่ำที่สุดประมาณ 19.3 N ซึ่งเมื่อผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 10% ทำให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้นเป็น 19.9 N ซึ่งไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดลิ้นเป็น 15% และ 20% ทำให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้นเป็น 22.84 และ 23.54 N ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) พบว่าการผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 10% ไม่ได้ทำให้ค่า Hardness ของขนมปังแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดลิ้นเป็น 15% ทำให้ค่า Hardness ของขนมปังเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุมและสูตรผสมเมล็ดลิ้น 10% อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การผสมเมล็ดลิ้นเพิ่มขึ้นเป็น 20% ไม่ได้ทำให้ค่า Hardness แตกต่างจากสูตรผสมเมล็ดลิ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า Springiness ในสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุดประมาณ 74.3% และลดลงตามปริมาณการผสมเมล็ดลิ้น เมื่อมีการผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 10% ทำให้ค่า Springiness ของขนมปังลดลงเหลือประมาณ 67.8% จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) แสดงให้เห็นว่า เมื่อผสมเมล็ดลิ้นเพียง 10% ทำให้ค่า Springiness ของขนมปังแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดลิ้นเป็น 15% และ 20% ไม่ได้ทำให้ค่า Springiness แตกต่างจากสูตรที่ผสมเมล็ดลิ้น 10% อย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลค่า Springiness ของขนมปังสูตรผสมเมล็ดลิ้น 10% มีความแปรปรวนสูงซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล

ค่า Gumminess ในสูตรควบคุมมีค่าประมาณ 979.9 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุด และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมเมล็ดลิ้น โดยการผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 10% ทำให้ค่า Gumminess เพิ่มขึ้นประมาณ 1033 แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) การผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 10% และ 15% ไม่ได้ทำให้ค่า Gumminess ของขนมปังแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผสมเมล็ดลิ้นเพิ่มขึ้นเป็น 20% ทำให้ค่า Gumminess มีค่าประมาณ 1317 ซึ่งมีความแตกต่างจากสูตรควบคุมและสูตรผสมเมล็ดลิ้น 10% และ 15% อย่างมีนัยสำคัญ

ค่า Chewiness ในสูตรควบคุมมีค่าประมาณ 583.2 ซึ่งต่ำที่สุด การผสมเมล็ดลิ้นทำให้ค่า Chewiness เพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นเป็น 1124.9 เมื่อมีการผสมเมล็ดลิ้นในปริมาณ 20% ซึ่งมากขึ้นเท่าตัว จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) ค่า Chewiness ของขนมปังสูตรควบคุมและสูตรผสมเมล็ดลิ้น 10% และ 15% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดลิ้นเป็น 20% ทำค่า Chewiness แตกต่างจากสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ อาจจะเป็นเพราะว่าข้อมูลค่า Chewiness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

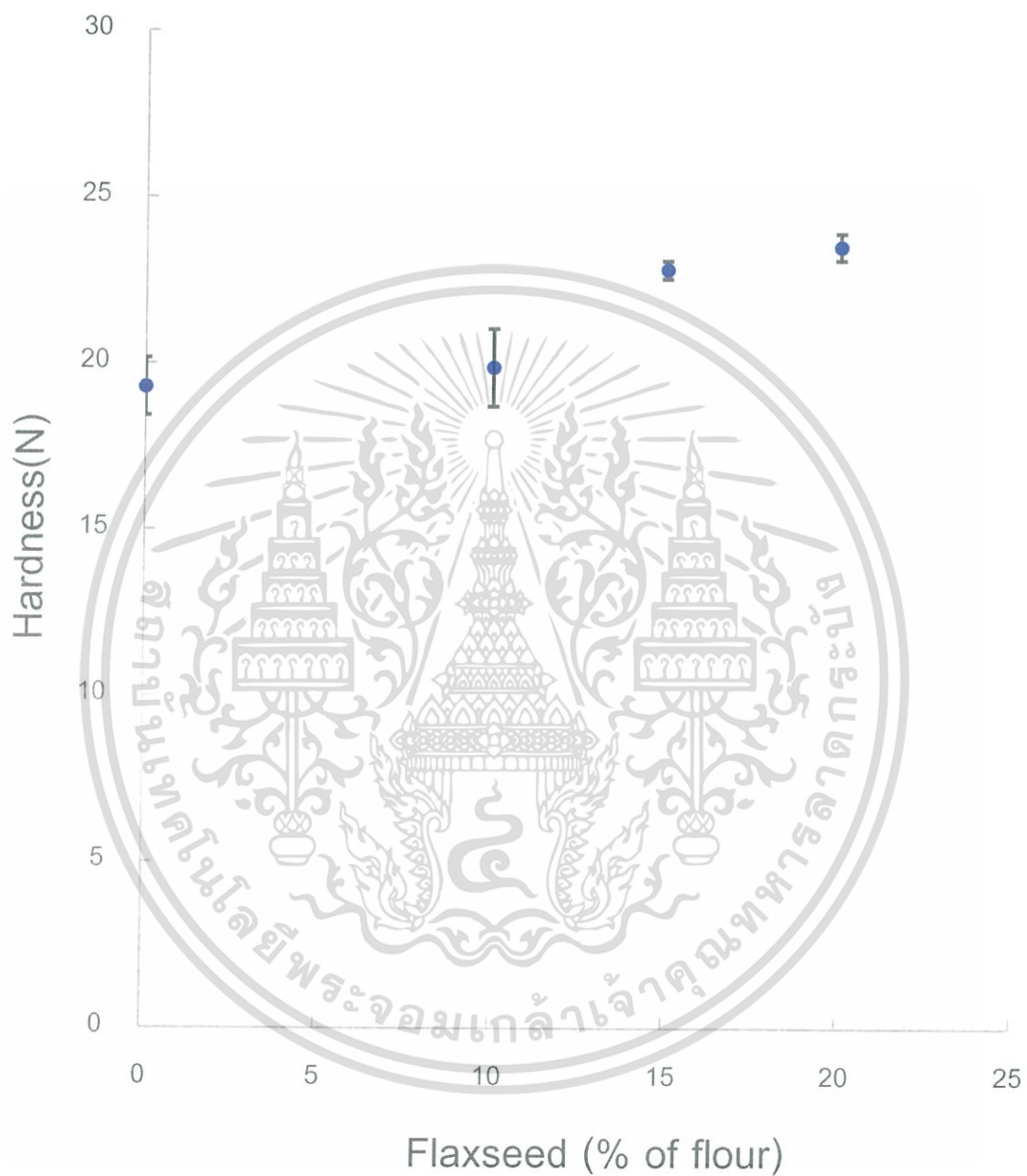
ของขนมปังสูตรผสมเมล็ดลินิน 10% และ 20% ค่อนข้างมีความแปรปรวนสูง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล

ความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมมีค่าสูงที่สุดประมาณ 42.2% และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10% และ 15% แต่อย่างไรก็ตามการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 20% ทำให้ค่าปริมาณความชื้นของขนมปังมีค่าสูงกว่าสูตรผสมเมล็ดลินิน 10% และ 15% แต่ต่ำกว่าสูตรควบคุม จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) ความชื้นของขนมปังทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูตรควบคุมมีค่าประมาณ $5.4 \text{ cm}^3/\text{g}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าสูตรทั้งหมด การผสมเมล็ดลินินทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง โดยเมื่อผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 10% 15% และ 20% ทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลงเหลือประมาณ 5.2 5.0 และ $4.54 \text{ cm}^3/\text{g}$ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูตรผสมเมล็ดลินินไม่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดลินินเป็น 15% ทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะแตกต่างจากสูตรควบคุมและสูตรผสมเมล็ดลินิน 10% อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสูตรผสมเมล็ดลินิน 20% ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังแตกต่างจากทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยทางคุณภาพของขนมปังจากแป้งโดสดสามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโดเนื่องจากการผสมเมล็ดลินิน ซึ่งเป็นที่ทราบกันแล้วว่าแป้งโดเกิดจากการจับตัวกันของโปรตีนไกลอะดินและกลูเตนินเกิดเป็นโครงสร้างกลูเตนที่มีความยืดหยุ่นสามารถยืดขยายตัวออกได้ การผสมเมล็ดลินินจะเข้าไปแทรกในโครงสร้างของโด ซึ่งจะขัดขวางการเกิดกลูเตน ทำให้กลูเตนเจือจาง ไม่คงทนต่อการหมัก และกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อย ส่งผลให้ขนมปังมีปริมาตรลดลง (Mercier et al., 2014) และเมื่อปริมาตรลดลงเนื้อขนมปังแน่นขึ้นทำให้ขนมปังมีความยืดหยุ่นน้อย ส่งผลให้ค่า Springiness ลดลง การเพิ่มขึ้นของค่า Hardness ของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินนั้นเป็นผลมาจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในโครงสร้างกลูเตนต่ำกว่า เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ในเมล็ดลินิน (Costa et al., 2012) การที่เกิดปริมาณกลูเตนได้น้อย จะส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บน้ำ ทำให้มีการสูญเสียน้ำไปมากในระหว่างกระบวนการอบส่งผลให้ขนมปังมีความชื้นลดลง นอกจากนี้การที่ขนมปังสูญเสียน้ำในระหว่างกระบวนการอบมาก ทำให้เนื้อขนมปังแน่นขึ้น ยังอาจจะเป็นสาเหตุที่เพิ่มขึ้นของค่า Hardness Chewiness และ Gumminess เนื่องจากความแน่นของขนมปังจะต้องใช้พลังงานมากในการเคี้ยวเพื่อให้ขนมปังพร้อมที่จะกลืนได้

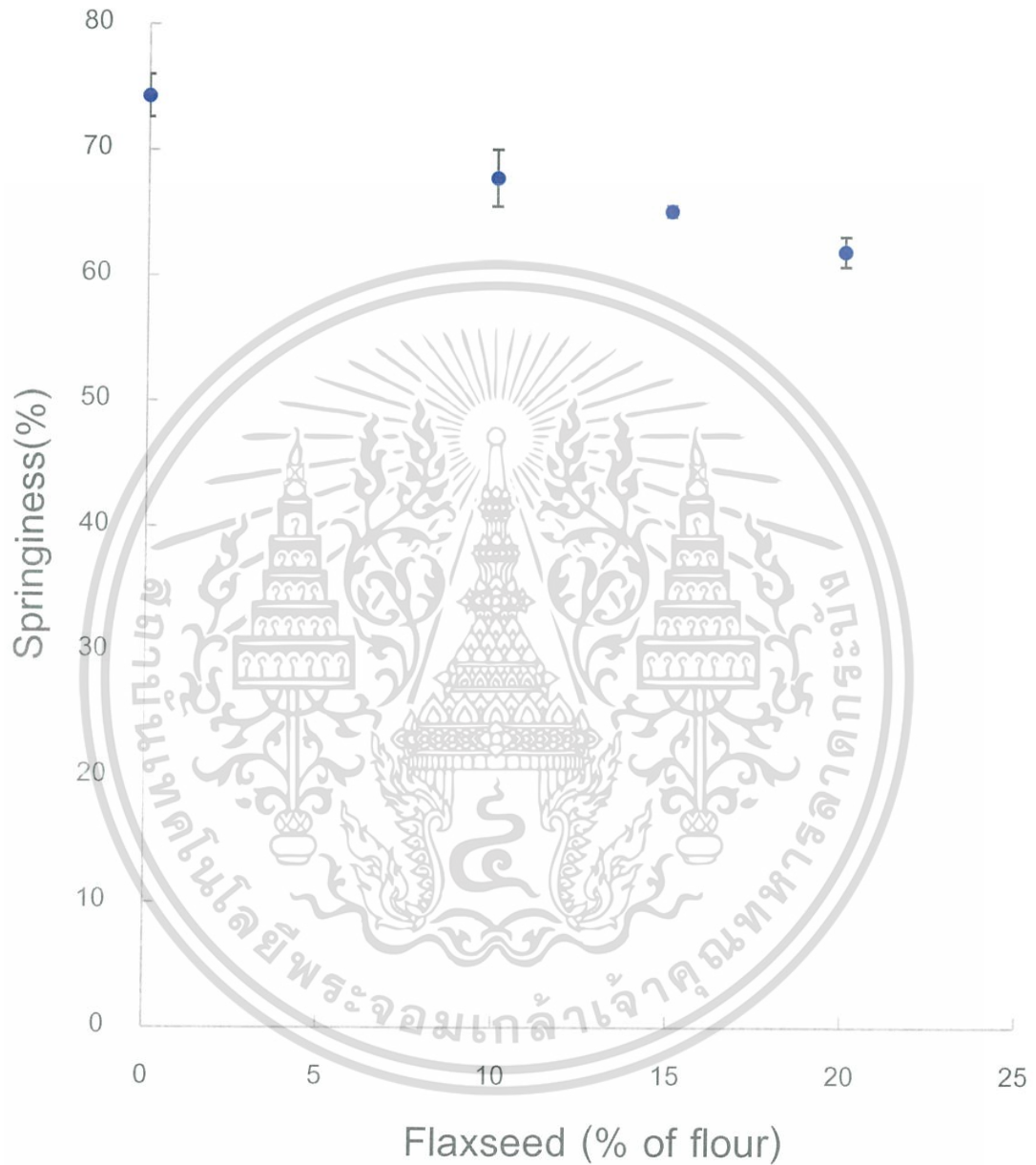
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Hardness ของขนมปังจากแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

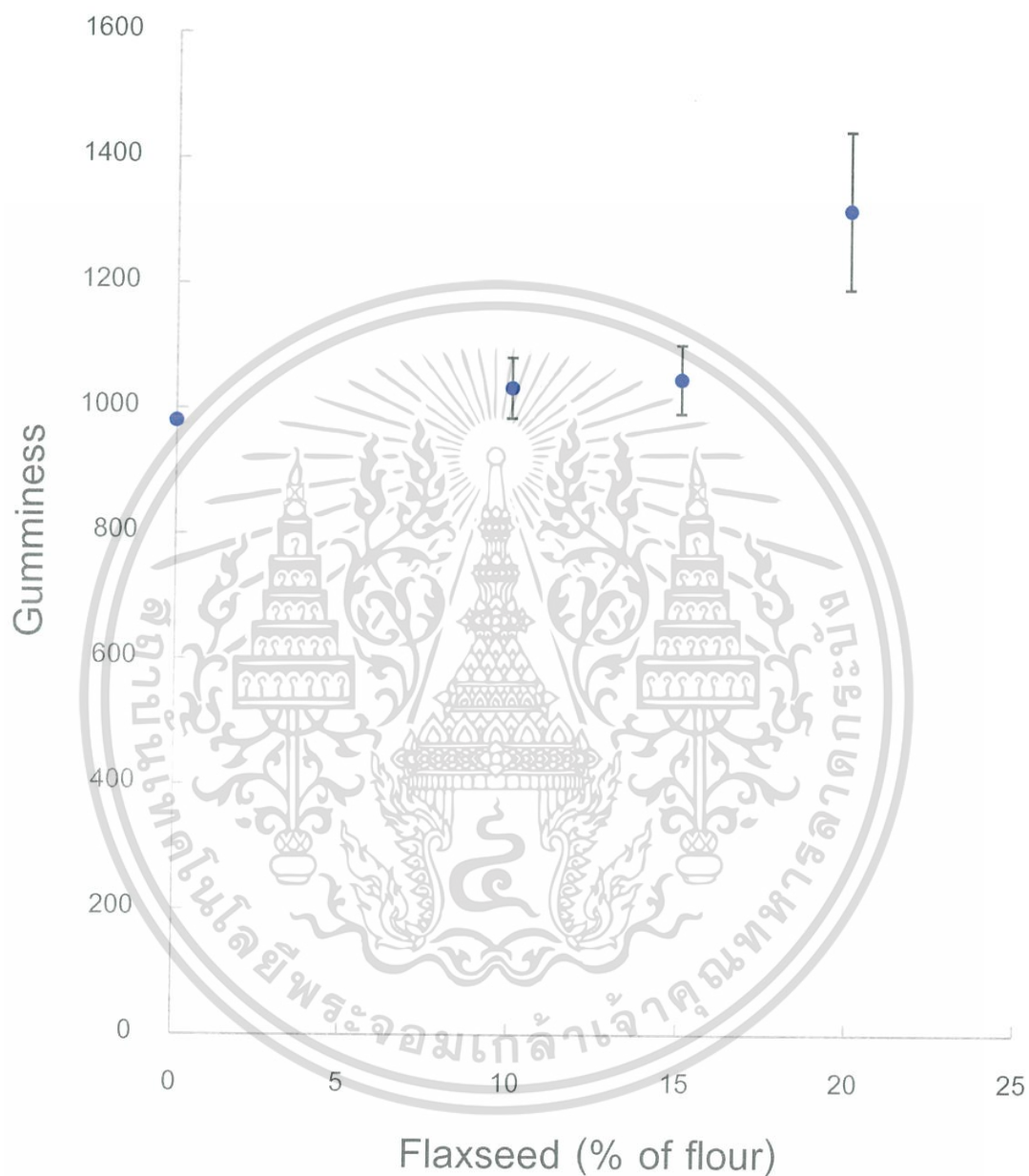
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Springiness ของขนมปังจากแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

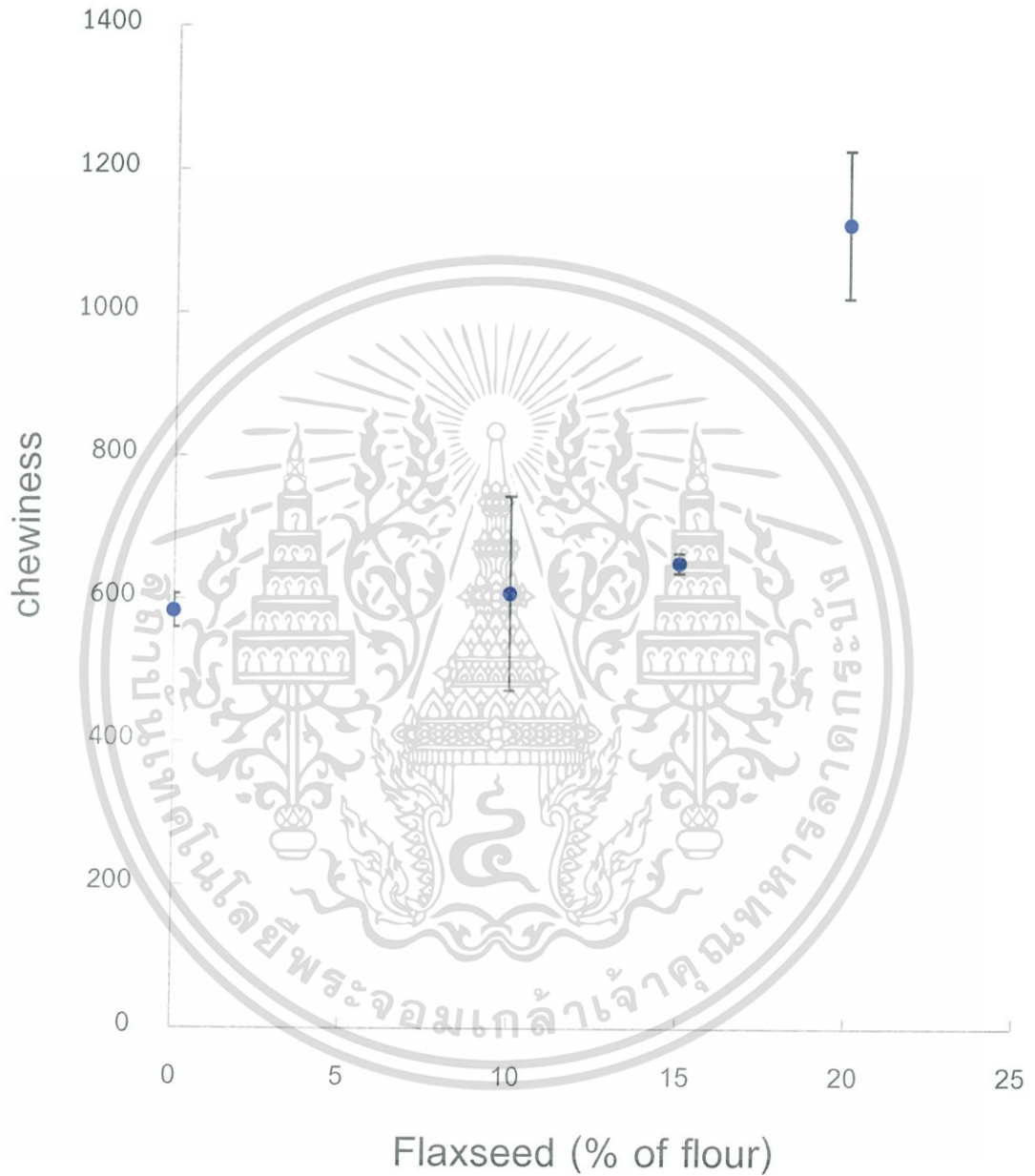
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Gumminess ของขนมปังจากแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

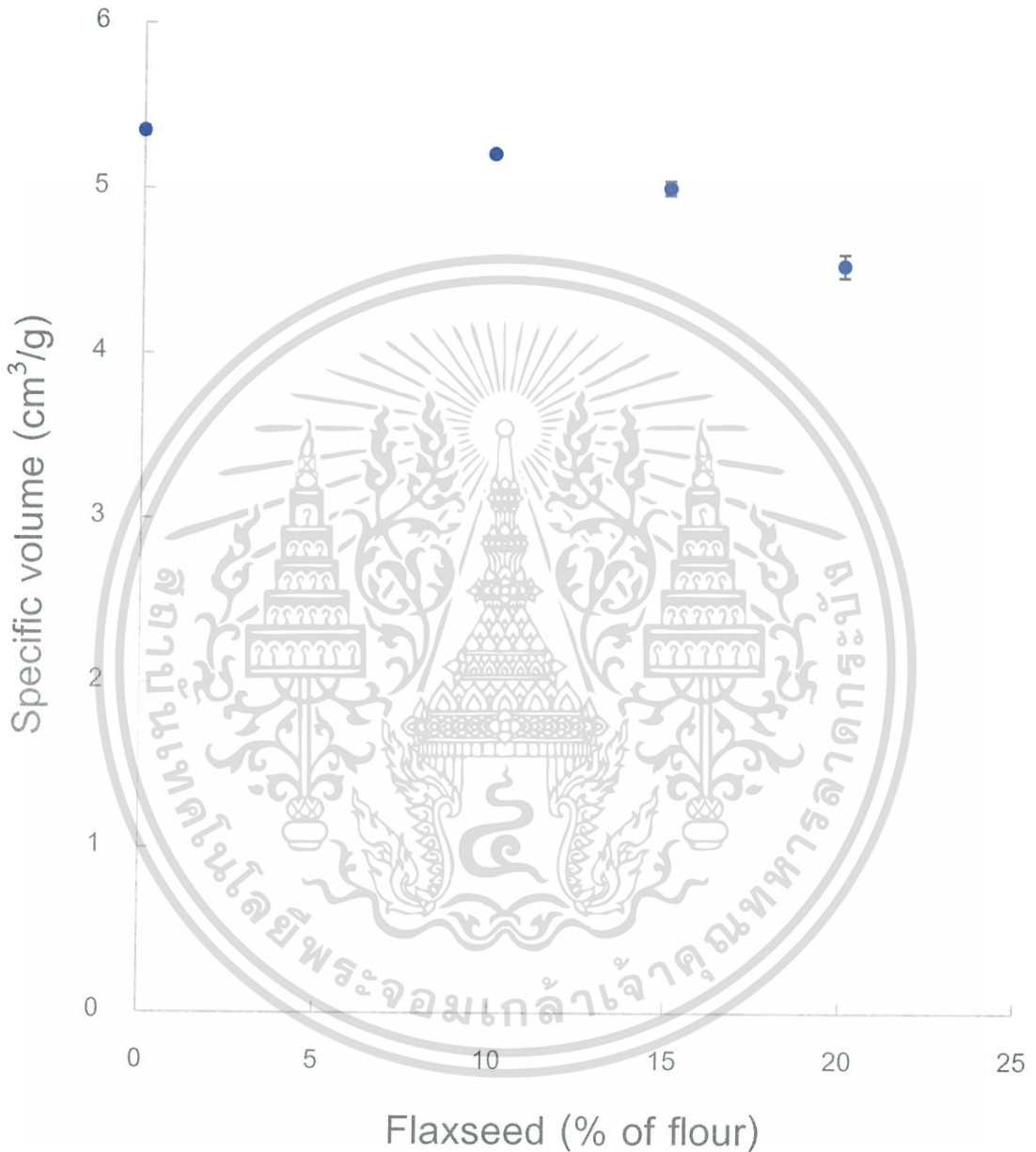
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Chewiness ของขนมปังจากแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

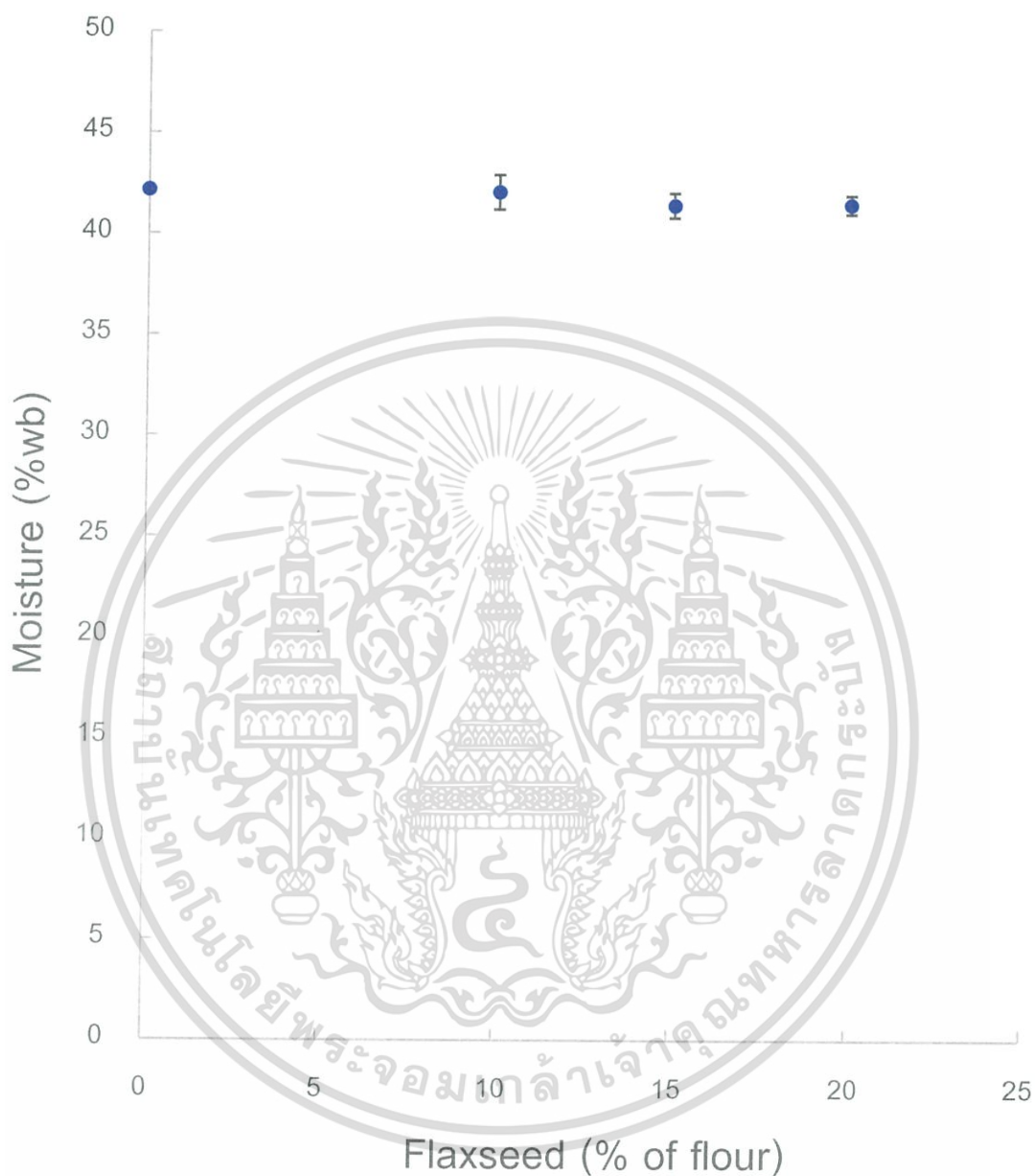
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลของเมล็ดลินินต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปังจากแป้งโดสด

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลของเมล็ดลินินต่อความชื้นของขนมปังจากแป้งโดสด

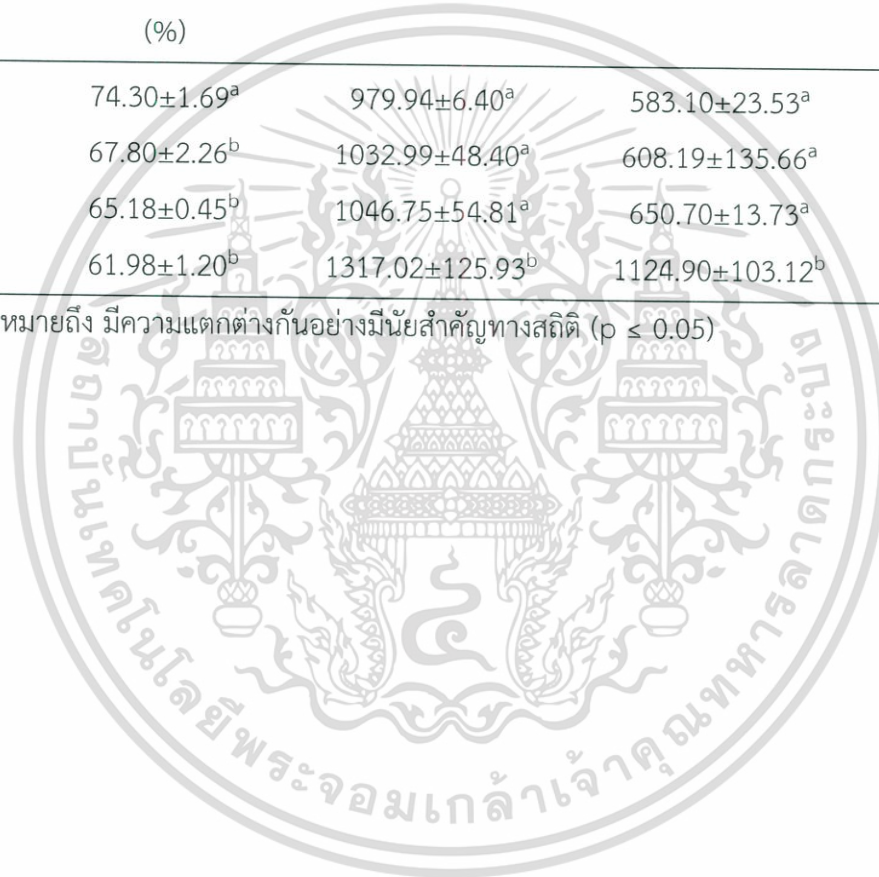
ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสด

สูตร	Hardness (N)	Springiness (%)	Gumminess	Chewiness	ปริมาตรจำเพาะ (cm ³ /g)	ความชื้น (% wb)
Control	19.28±0.86 ^a	74.30±1.69 ^a	979.94±6.40 ^a	583.10±23.53 ^a	5.35±0.03 ^a	42.17±0.19
FS10	19.89±1.17 ^a	67.80±2.26 ^b	1032.99±48.40 ^a	608.19±135.66 ^a	5.22±0.02 ^a	42.10±0.86
FS15	22.84±0.27 ^b	65.18±0.45 ^b	1046.75±54.81 ^a	650.70±13.73 ^a	5.01±0.04 ^b	41.46±0.61
FS20	23.54±0.40 ^b	61.98±1.20 ^b	1317.02±125.93 ^b	1124.90±103.12 ^b	4.54±0.07 ^c	41.52±0.46

a, b: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



4.4 ผลของเมล็ดลินินต่อคุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังผสมเมล็ดลินินที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 10 20 และ 30 วัน เป็นดังรูปที่ 4.15-4.20

จากการทดลองพบว่าการแช่เย็นแป้งโดมีผลทำให้มีค่า Hardness ของขนมปัง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกสูตร (รูปที่ 4.15) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งให้เห็นว่าค่า Hardness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็นวันที่ 0 10 และ 20 ของทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเก็บโดไว้เป็นเวลา 30 วัน ทำค่า Hardness ของขนมปังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนสูง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล

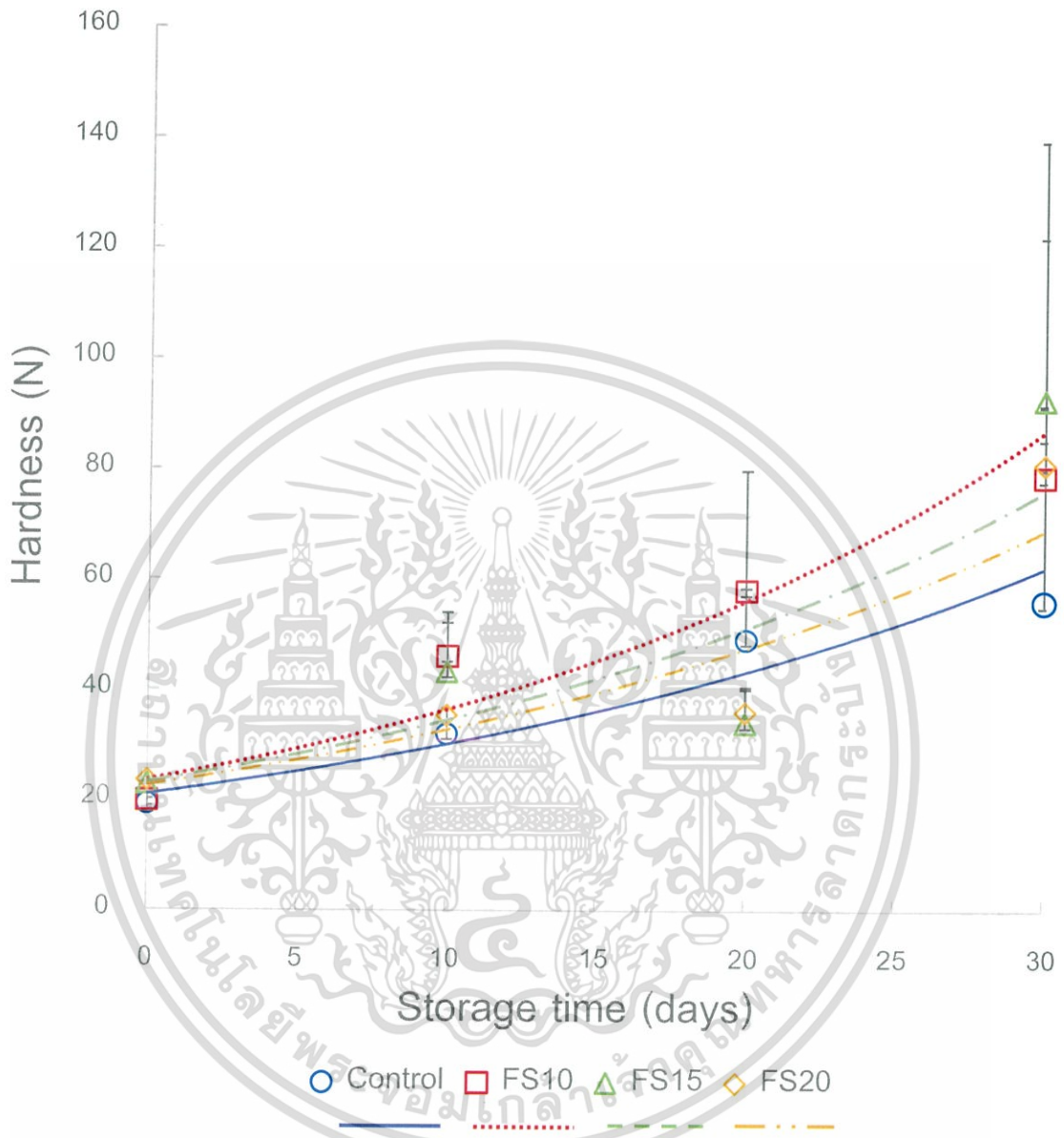
ค่า Springiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็นนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกสูตร จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) ค่า Springiness ของสูตรควบคุมและสูตรผสมเมล็ดลินิน 10% และ 20% ของขนมปังจากโดสด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเวลาการแช่เย็น 10 วันและ 20 วัน แต่เมื่อเวลาการแช่เย็นเป็น 20 วัน ไม่ได้ทำให้ค่า Springiness แตกต่างจากวันที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อวันเก็บรักษาโดเพิ่มเป็น 30 วัน ทำให้ค่า Springiness ของขนมปังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 15% ค่า Springiness ของขนมปังจากโดสดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเวลาการเก็บ 10 วัน แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้ค่า Springiness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า Gumminess ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดมีค่าต่ำที่สุด และขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็นนั้นมีแนวโน้มค่า Gumminess เพิ่มขึ้นในทุกสูตรตามระยะเวลาแช่เย็นแป้งโด จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) ค่า Gumminess ของขนมปังที่ผลิตจากโดสดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากขนมปังที่มีการแช่เย็นโดไว้ 10 วัน แต่เมื่อเวลาการแช่เย็นโดเพิ่มเป็น 10 วัน ค่า Gumminess ไม่มีความแตกต่างจาก 10 วัน อย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาการแช่เย็นเพิ่มเป็น 30 วัน ค่า Gumminess เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า Chewiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดมีค่า Chewiness น้อยที่สุด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่เย็นในขนมปังทุกสูตร โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเวลาการแช่เย็นเป็น 30 จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) ค่า Chewiness ของขนมปังทุกสูตรที่ระยะเวลาการแช่เย็นโด 10 วันไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากขนมปังที่ผลิตจากโดสด และขนมปังที่ผลิตจากการแช่เย็นโด 20 วัน แต่ค่า Chewiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็นที่ระยะเวลา 20 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากขนมปังที่ผลิตจากโดสด และเมื่อเวลาการแช่เย็นโดเป็น 30 วัน ค่า Chewiness ของขนมปังทุกสูตรมีความแตกต่างจากขนมปังที่ผลิตจากโดสดและจากโดแช่เย็นที่ 10 และ 20 วัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณความชื้นและปริมาตรจำเพาะ มีแนวโน้มลดลงในทุกสูตรเมื่อระยะเวลาการแช่เย็นโตเพิ่มขึ้น สำหรับขนมปังจากโดสดปริมาตรจำเพาะของสูตรควบคุม สูตรผสมเมล็ดลินิน 10 15 และ 20% มีค่าประมาณ 5.4 5.2 5.0 และ 4.5 cm^3/g ตามลำดับ และเมื่อมีการแช่เย็นโต 10 วันทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูตรควบคุม สูตรผสมเมล็ดลินิน 10 15 และ 20% ลดลงเป็น 2.0 2.4 2.2 และ 2.3 cm^3/g ตามลำดับ และจะลดลงอย่างมากเมื่อมีการแช่เย็นโตเป็นเวลา 30 วัน โดยปริมาตรจำเพาะของสูตรควบคุม ลดลงเป็น 0.4 cm^3/g ส่วนสูตรที่ผสมเมล็ดลินิน 10 15 และ 20% ลดลงเหลือประมาณ 0.3 cm^3/g จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ 4.3 เมื่อมีการแช่เย็นเพียง 10 วัน จะทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาณความชื้นของขนมปังทุกสูตรจะลดลงเมื่อมีการแช่เย็นโต โดยในสูตรควบคุมขนมปังจากโดสดมีปริมาณความชื้นสูงสุด แต่เมื่อมีการแช่เย็นโตผ่านไป 20 วัน ทำให้ปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมลดลงต่ำกว่าสูตรที่ผสมเมล็ดลินินทุกสูตร จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ปริมาณความชื้นของขนมปังทุกสูตร ที่ได้จากการแช่เย็นโต 10 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับขนมปังที่ได้จากโดสด แต่เมื่อเวลาการแช่เย็นโต เป็น 20 วัน ทำให้ปริมาณความชื้นแตกต่างจากขนมปังที่ผลิตจากโดสด และผลิตจากการแช่เย็นโต 10 วัน อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเวลาการแช่เย็นโตเป็น 30 วัน ไม่ได้ทำให้ค่าปริมาณความชื้นของขนมปังแตกต่างจากขนมปังที่ผลิตจากโดแช่เย็น 20 วัน อย่างมีนัยสำคัญ

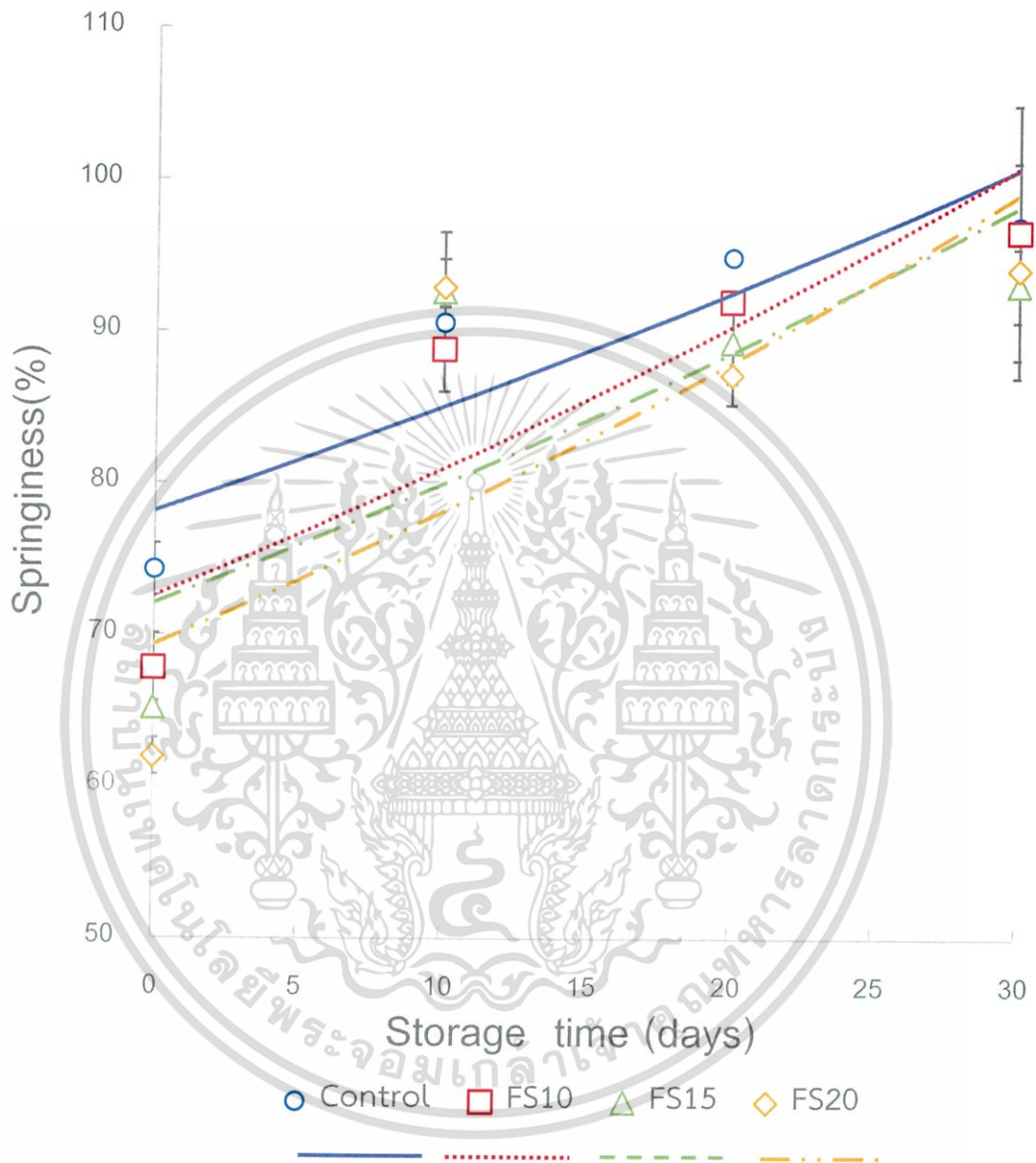
ปัจจัยคุณภาพของขนมปังที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการแช่เย็นโตก่อนนำมาอบเป็นขนมปังสามารถอธิบายได้โดย กลไกการเกิดโดไซรัป ในระหว่างการแช่เย็นโต เอนไซม์ไซลาเนสจะย่อยสลายอะราบินโนไซด์แลนซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ประมาณ 30% ของความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งสาลี ซึ่งทำให้สูญเสียน้ำในรูปของโดไซรัป (Tao et al., 2018) และอาจจะสูญเสียไปในรูปของความชื้นเนื่องจากตู้เย็นมีความชื้นต่ำ ทำให้ความชื้นของขนมปังลดลง และน้ำเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของยีสต์ การสูญเสียน้ำอาจจะทำให้ยีสต์ตายหรือการที่ยีสต์ใช้น้ำตาลในแป้งหมดไปแล้วทำให้ไม่สามารถผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง และจากการที่โดไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ ทำให้เมื่อผ่านกระบวนการอบขนมปังสูญเสียน้ำไปมาก ส่งผลให้เนื้อขนมปังแน่นขึ้น ค่า Hardness Gumminess และ Chewiness สูงขึ้น และการที่ ค่า Springiness เพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อเก็บไว้นานขนมปังจะแน่นและแข็งมาก เปรียบเสมือนของแข็งจึงไม่ทำให้เกิดการยุบตัวเมื่อโดนกดจึงไม่มีการคืนตัวของขนมปังสัมพันธ์กับค่า Hardness สัมพันธ์กับค่า Hardness



รูปที่ 4.15 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Hardness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น

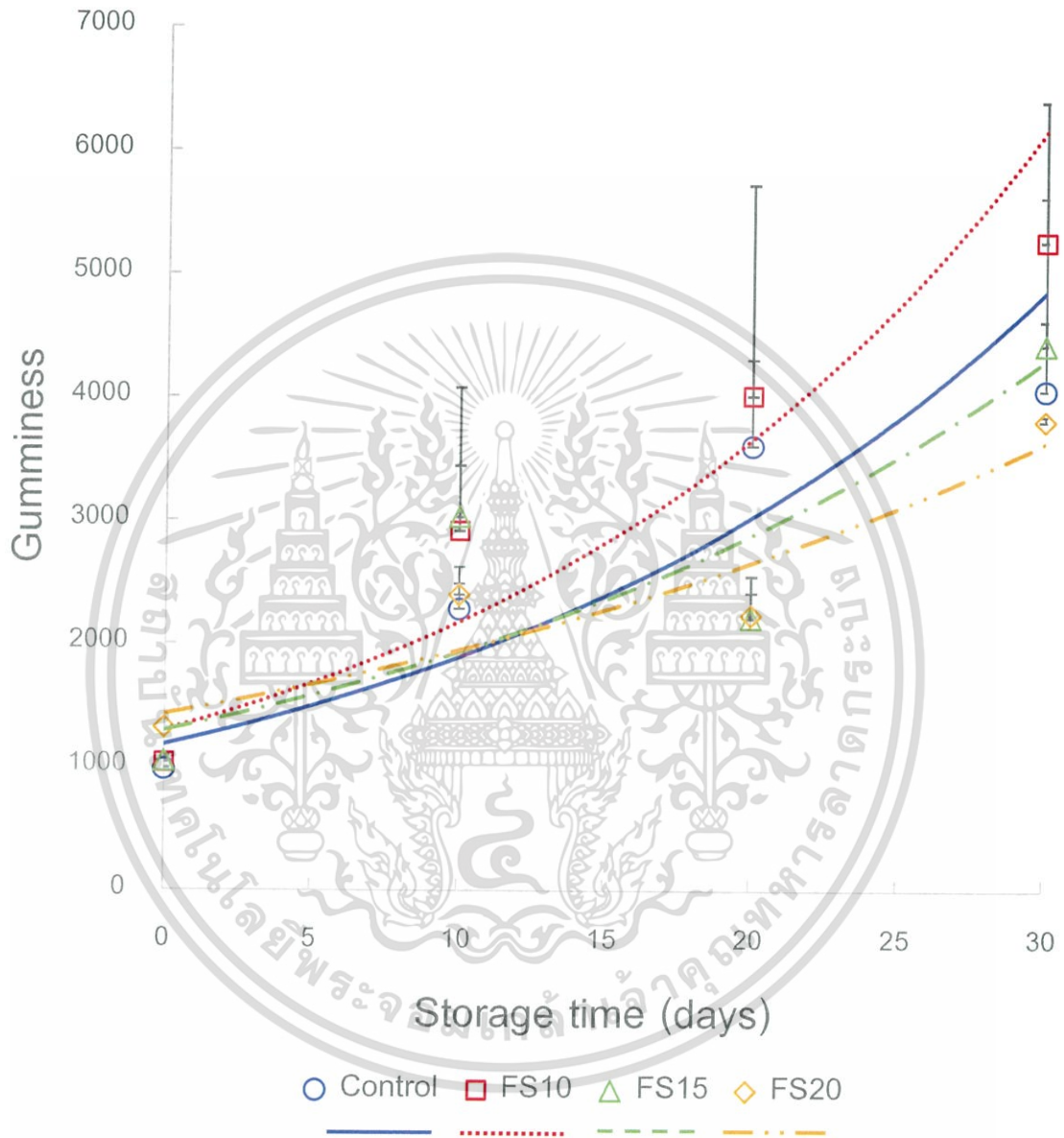
ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



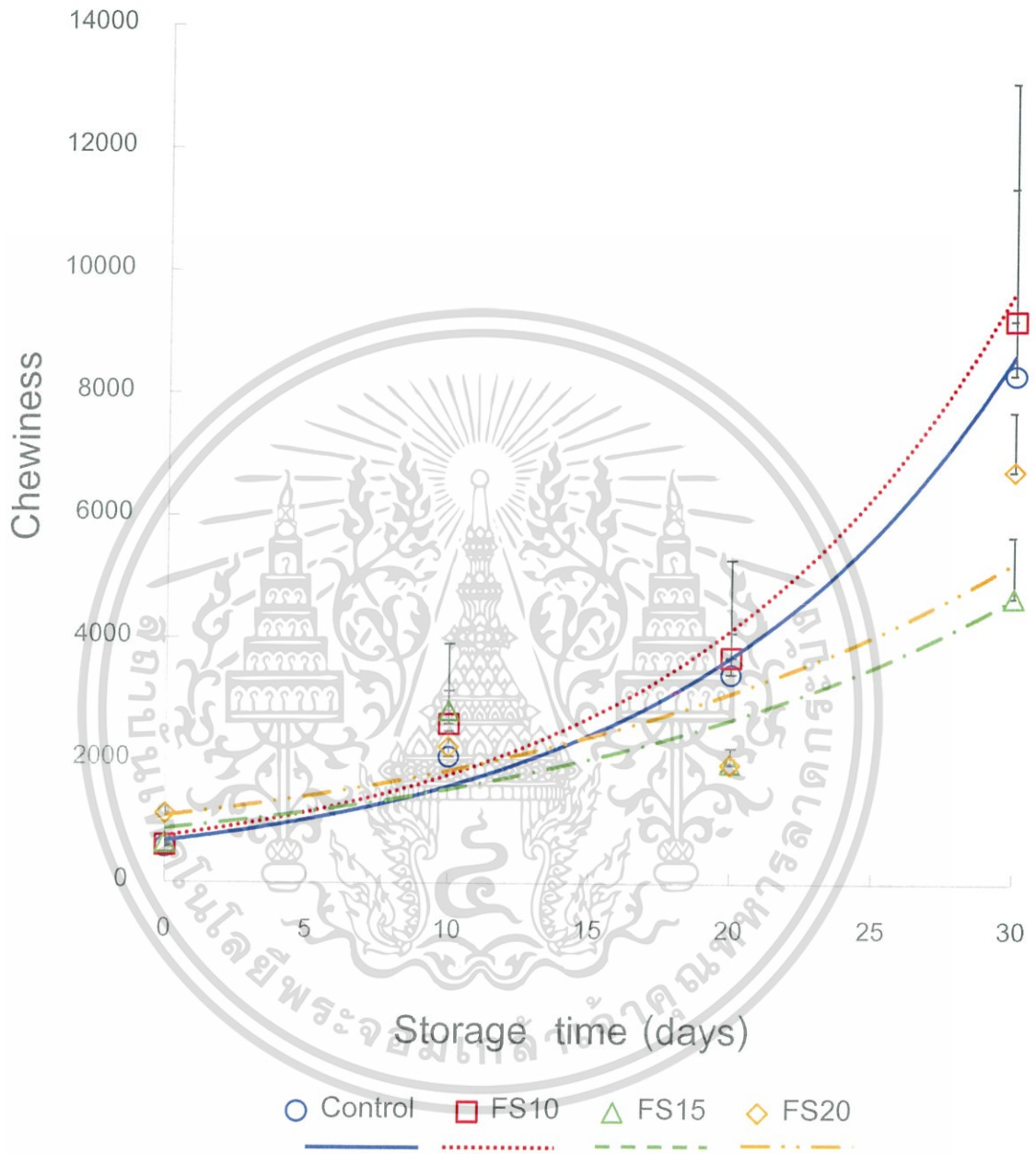
รูปที่ 4.16 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Springiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



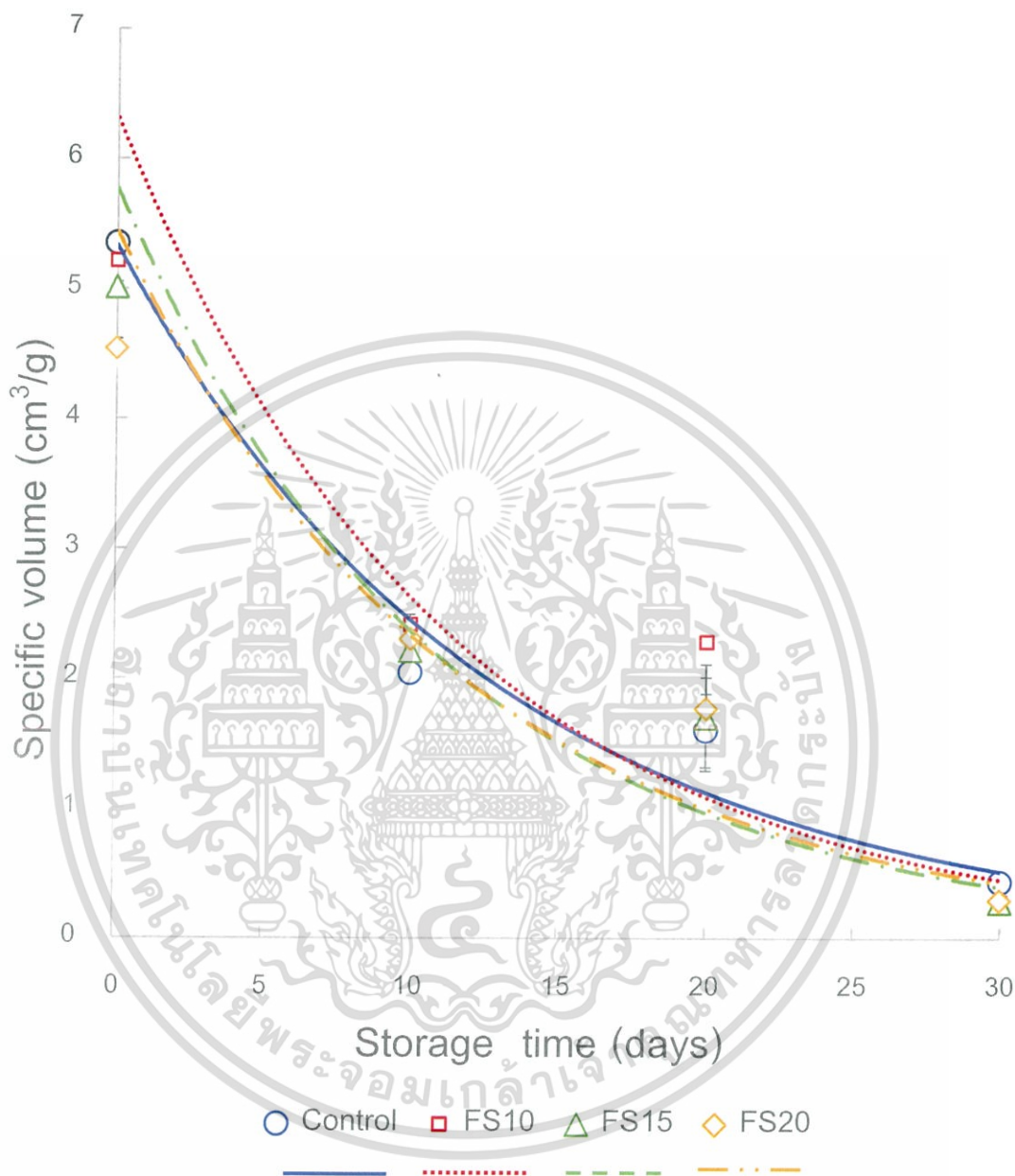
รูปที่ 4.17 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Gumminess ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า Chewiness ของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น
ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบน
มาตรฐาน

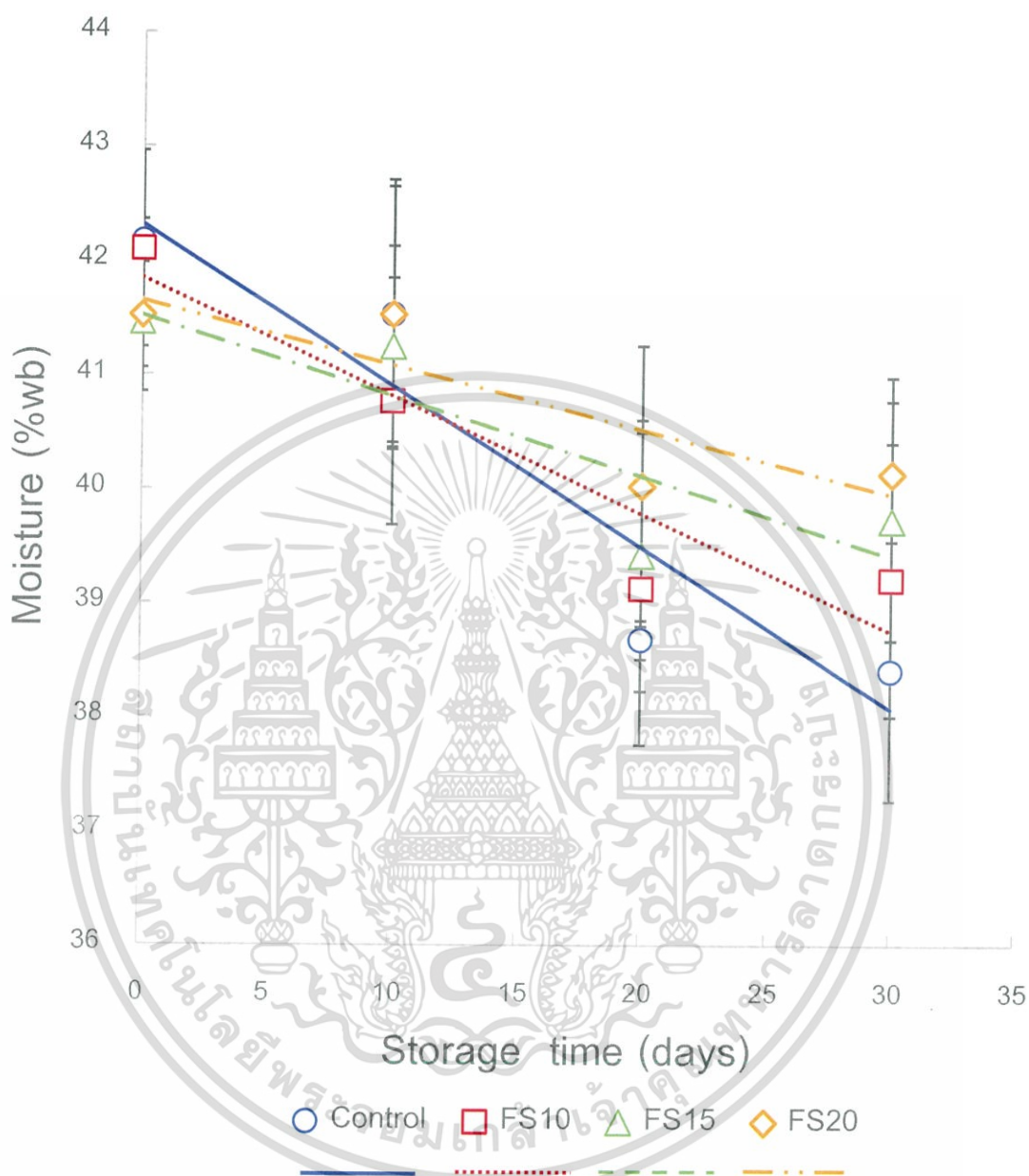
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลของเมล็ดลินินต่อปริมาตรจำเพาะขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ผลของเมล็ดลินินต่อความชื้นของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำและค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 คุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากโดสดและโดแช่เย็น

สูตร	ขนมปัง	Hardness (N)	Springiness (%)	Gumminess	Chewiness	ปริมาตรจำเพาะ(cm ³ /g)	ความชื้น (%wb)
Control	แป้งโดสด	19.29±0.86 ^a	74.30±1.69 ^a	979.94±6.40 ^a	583.10±23.53 ^a	5.35±0.02 ^a	42.17±0.19 ^a
	แป้งโดแช่เย็น 10 วัน	32.01±4.64 ^a	90.60±1.08 ^b	2284.67±0202.35 ^b	2071.80±158.21 ^{ab}	2.04±0.03 ^b	41.53±1.18 ^a
	แป้งโดแช่เย็น 20 วัน	49.15±09.38 ^a	94.93±0.23 ^b	3608.92±0699.75 ^b	3426.41±671.38 ^b	1.60±0.28 ^c	38.68±0.17 ^b
	แป้งโดแช่เย็น 30 วัน	55.95±29.29 ^b	97.02±0.53 ^c	4060.77±1563.96 ^c	8328.93±3054.47 ^c	0.43±0.00 ^d	38.41±1.14 ^b
FS10	แป้งโดสด	19.89±1.17 ^a	67.80±2.26 ^a	1032.99±48.40 ^a	608.19±135.66 ^a	5.22±0.02 ^a	42.10±0.86 ^a
	แป้งโดแช่เย็น 10 วัน	46.03±8.00 ^a	88.83±2.78 ^b	2916.34±0529.11 ^b	2609.83±0537.23 ^{ab}	2.41±0.07 ^b	40.77±1.08 ^a
	แป้งโดแช่เย็น 20 วัน	58.14±21.68 ^a	92.03±0.51 ^b	4015.10±01708.8 ^b	3699.41±1591.33 ^b	2.28±0.02 ^c	39.13±1.37 ^b
	แป้งโดแช่เย็น 30 วัน	78.69±12.64 ^b	96.62±8.36 ^c	5266.70±1135.02 ^c	9216.79±3880.09 ^c	0.28±0.06 ^d	39.21±1.20 ^b
FS15	แป้งโดสด	22.84±0.27 ^a	65.18±0.45 ^a	1046.75±54.81 ^a	650.70±13.73 ^a	5.01±0.04 ^a	41.46±0.61 ^a
	แป้งโดแช่เย็น 10 วัน	43.18±8.87 ^a	92.60±3.95 ^b	3028.95±1048.50 ^b	2825.30±1090.99 ^{ab}	2.21±0.02 ^b	41.25±0.88 ^a
	แป้งโดแช่เย็น 20 วัน	34.03±6.49 ^a	89.33±2.68 ^b	2210.23±0341.31 ^b	1970.60±245.52 ^b	1.70±0.41 ^c	39.42±1.19 ^b
	แป้งโดแช่เย็น 30 วัน	92.68±46.72 ^b	93.13±2.42 ^b	4428.34±0194.95 ^c	4686.05±0997.40 ^c	0.28±0.04 ^d	39.73±1.05 ^b
FS20	แป้งโดสด	23.54±0.40 ^a	61.98±1.20 ^a	1317.02±125.93 ^a	1124.90±103.12 ^a	4.54±0.07 ^a	41.52±0.46 ^a
	แป้งโดแช่เย็น 10 วัน	35.38±1.25 ^a	92.90±1.88 ^b	2399.46±223.08 ^b	2230.36±254.95 ^{ab}	2.30±0.06 ^b	41.53±1.12 ^a
	แป้งโดแช่เย็น 20 วัน	36.00±4.12 ^a	87.20±1.97 ^b	2235.40±180.07 ^b	1945.23±108.29 ^b	1.77±0.24 ^c	40.03±1.23 ^b
	แป้งโดแช่เย็น 30 วัน	80.96±40.96 ^b	94.13±7.07 ^c	3812.65±042.43 ^c	6753.40±968.56 ^c	0.29±0.04 ^d	40.14±0.85 ^b

a, b : อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5 ผลของเมล็ดลินินต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

รูปที่ 4.21 แสดงผลคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน

การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านสี พบว่าผู้ทดสอบชื่นชอบสีในสูตรควบคุมมากที่สุด โดยผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.3 คะแนน ซึ่งแปลผลได้ว่าผู้ทดสอบมีความชอบสีในสูตรควบคุมในระดับชอบมาก จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) พบว่า การผสมเมล็ดลินินในปริมาณความเข้มข้น 20% ของน้ำหนักแป้ง ส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคมีความแตกต่างจากสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านกลิ่น พบว่าค่ากลิ่นในสูตรผสมเมล็ดลินิน 20% มากที่สุด ผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 คะแนน ซึ่งแปลผลได้ว่าผู้ทดสอบมีความชอบกลิ่นในสูตรควบคุมในระดับชอบมาก และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) พบว่าการผสมเมล็ดลินินในขนมปังนั้นไม่ได้ส่งผลต่อการยอมรับด้านกลิ่นของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ

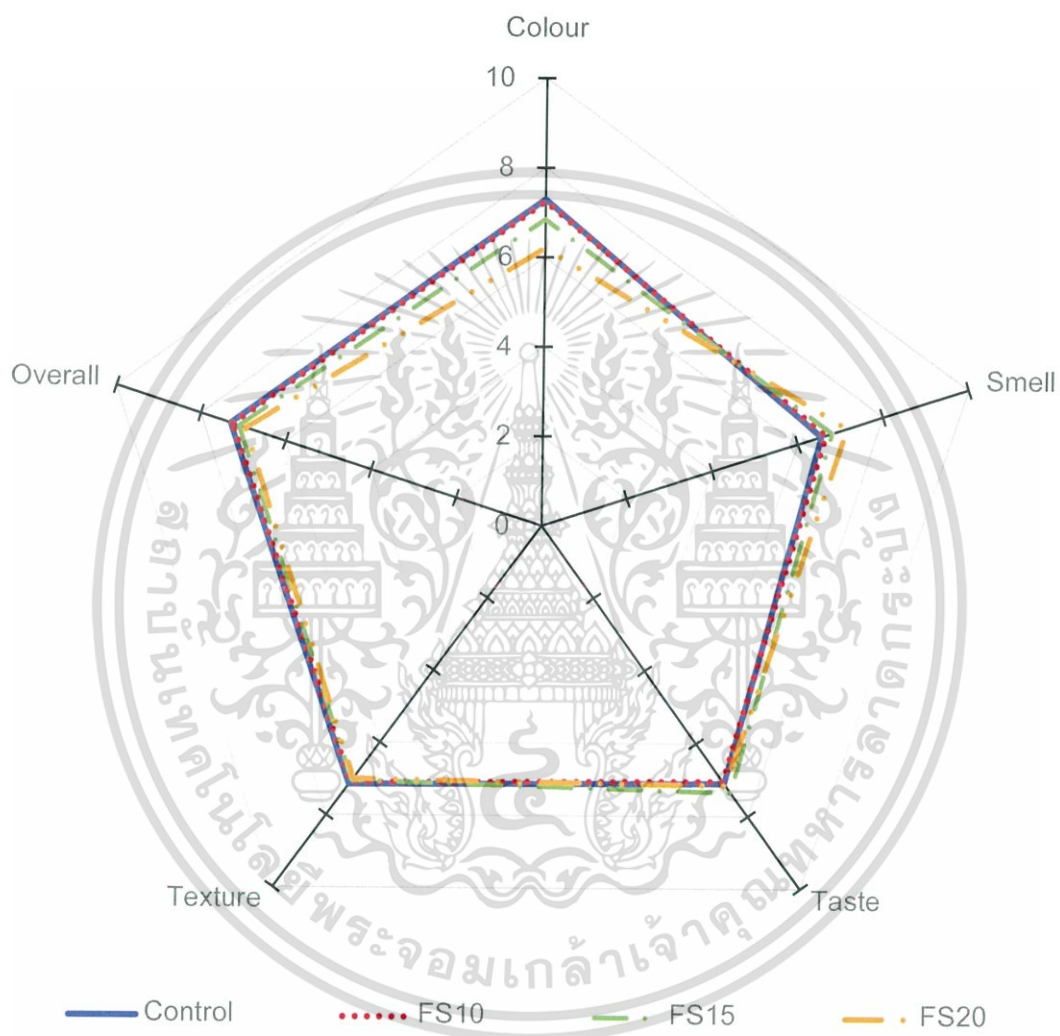
การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่าผู้บริโภคชื่นชอบรสชาติในสูตรควบคุมมากที่สุด ผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.1 คะแนน ซึ่งแปลผลได้ว่าผู้ทดสอบมีความชอบรสชาติในสูตรควบคุมในระดับชอบมาก และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) พบว่า การผสมเมล็ดลินินไม่ได้ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคด้านรสชาติอย่างมีนัยสำคัญ

การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส พบว่าผู้บริโภคชื่นชอบเนื้อสัมผัสในสูตรควบคุมมากที่สุด ผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยประมาณ 7.2 คะแนน ซึ่งแปลผลได้ว่าความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผู้ทดสอบในสูตรควบคุมอยู่ในระดับชอบมาก จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) พบว่า การผสมเมล็ดลินินไม่ได้ส่งผลต่อการยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัสของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ

การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนในด้านความชอบโดยรวมของขนมปังจากทุกสูตรเท่ากัน คือ 7.3 คะแนน ซึ่งแปลผลได้ว่าผู้ทดสอบมีความชอบในระดับชอบมาก และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) พบว่าปริมาณเมล็ดลินินที่ผสมลงในขนมปังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 4.21 สังเกตได้ว่าขนมปังสูตรควบคุมมีคะแนนเฉลี่ยของความชื่นชอบในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม จากผู้ทดสอบสูงกว่าสูตรที่ผสมเมล็ดลินินทั้ง 3 สูตร อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบให้คะแนนเฉลี่ยของความชื่นชอบด้านรสชาติในขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 15% สูงที่สุด

การยอมรับของผู้บริโภคเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินทางด้านสีลดลง ขนมปังปกติจะมีสีขาวอมเหลืองเมื่อผสมเมล็ดลินินขนมปังมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากสีของเมล็ดลินินที่ผสมลงไปมีสีเข้ม (Mercier et al., 2014)



รูปที่ 4.21 คะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังผสมเมล็ดลินิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสด

สูตร	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
Control	7.30±0.14 ^a	7.20±0.00	7.10±0.28	7.15±0.35	7.30±0.14
FS10	7.25±0.21 ^a	6.65±0.07	7.05±0.21	7.10±0.00	7.25±0.07
FS15	6.85±0.21 ^a	6.80±0.71	7.35±0.50	7.05±0.07	7.10±0.00
FS20	6.20±0.14 ^b	7.15±0.21	7.15±0.07	7.00±0.00	6.95±0.07

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

4.6 ผลของเมล็ดลินินที่มีต่ออัตราการ Staling ของขนมปัง

การเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของขนมปังที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 68 ชั่วโมง (รูปที่ 4.22) ค่า Firmness ของขนมปังในช่วง 44 ชั่วโมงแรกของการเก็บรักษาจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Firmness จะค่อย ๆ เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งค่า Firmness ของสูตรที่ผสมเมล็ดลินิน 10% และ 15% มีค่า ต่ำกว่าสูตรควบคุมและสูตรที่ผสมเมล็ดลินิน 20% แต่เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 19 ชั่วโมง ค่า Firmness ของสูตรควบคุมมีค่าสูงกว่าสูตรที่ผสมเมล็ดลินินตลอดจนช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงถึงอัตราการ Staling ที่เร็วที่สุด ส่วนขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 20% มีค่าต่ำสุดในวันเริ่มต้นแต่ เมื่อผ่านไป 19 ชั่วโมงตลอดจนช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา ค่า Firmness ของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 20% มีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุมตลอดจนช่วงสุดท้ายของการเก็บรักษา

การอธิบายอัตราการ Staling ด้วยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ Avarami โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear regression) โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของ k และ n เป็น 0.5 (นูริน และคณะ, 2556) ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงไว้ดังตารางที่ 4.5

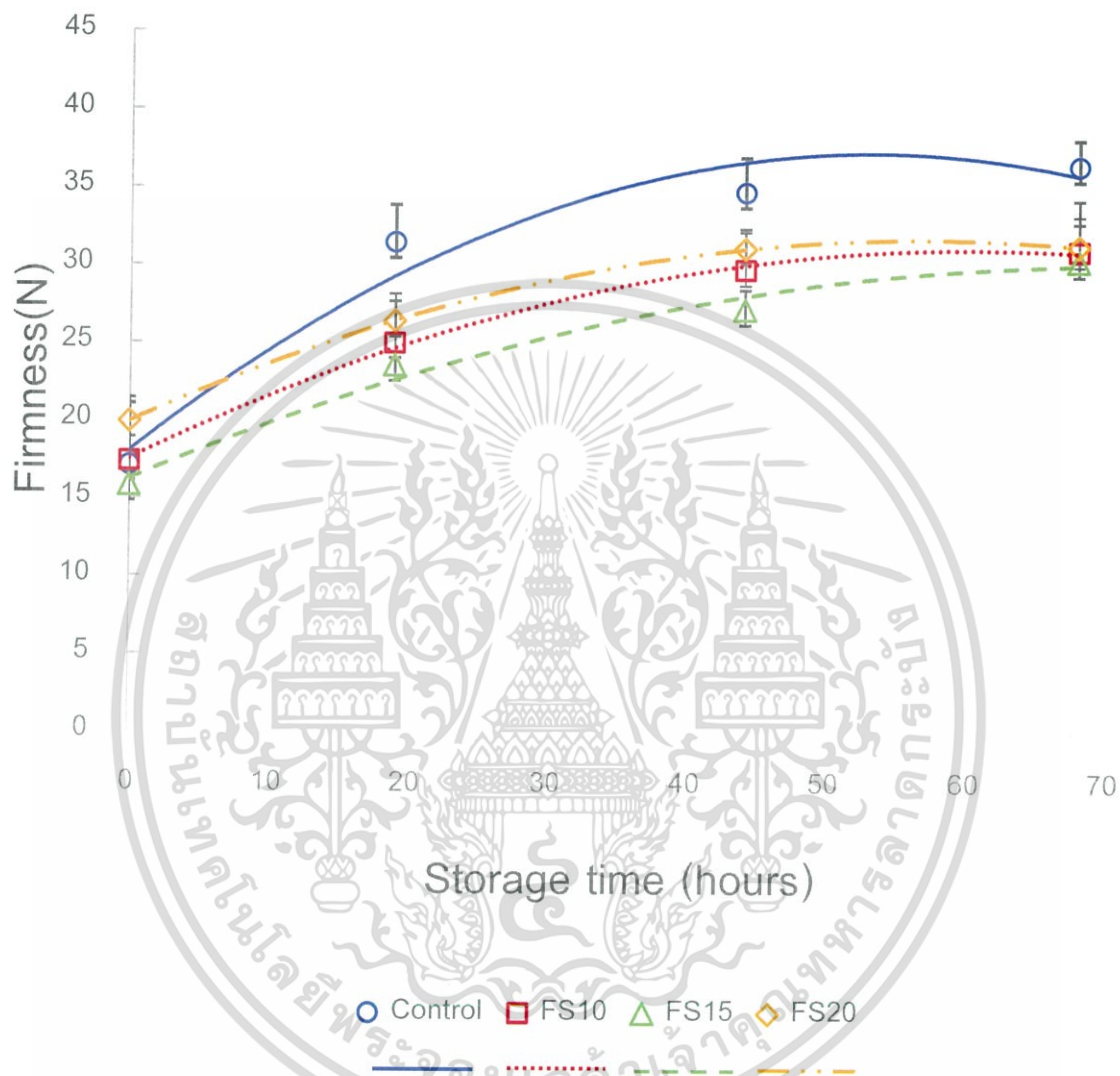
จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการ Avarami (ตารางที่ 4.5) ค่า k ของขนมปังสูตรควบคุมมีค่ามากกว่า สูตรไม่ผสมเมล็ดลินิน และเมื่อปริมาณเมล็ดลินินเพิ่มขึ้นเป็น 20% ค่า k ที่ได้มีค่าต่ำสุด บ่งชี้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Firmness ช้าลง (Rosell and Santos, 2010) ซึ่งสัมพันธ์กับการเติบโตของผลึกของโมเลกุลแป้ง ส่วนค่า n ของสูตรควบคุมมีค่าต่ำสุด และเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมเมล็ดลินิน และมีค่ามากที่สุดเมื่อผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 20% ค่า n ที่แตกต่างกันบ่งชี้ว่า การก่อผลึกเริ่มต้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งค่า n มากกว่า 1 หมายถึง การก่อผลึกมีความสม่ำเสมอระหว่างการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการวิจัยของ (Ding et al., 2019) ผสมแอลกอฮอล์น้ำตาลลงในขนมปังในปริมาณ 2% 4% และ 6% ของน้ำหนัก

แป้งและเก็บรักษาขนมปังไว้ที่อุณหภูมิ 25°C ผลสรุปที่ได้คือ แอลกอฮอล์น้ำตาล(Maltitol) ช่วยยับยั้งการคืนตัวของโมเลกุลแป้ง และจากการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ Avrami ค่า k ลดลงเมื่อปริมาณแอลกอฮอล์น้ำตาลเพิ่มขึ้น และค่า n มีค่ามากกว่า 1 และเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอลกอฮอล์น้ำตาล ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองนี้ ซึ่งการผสมเมล็ดลินินที่มีองค์ประกอบของใยอาหารสูงอาจจะเข้าไปปรับปรุงโครงสร้างของผลึกภายในผลิตภัณฑ์

ค่าครึ่งชีวิตคำนวณได้จากสัมประสิทธิ์ของสมการ Avrami (ตารางที่ 4.5) จะเห็นว่าค่าครึ่งชีวิตของสูตรควบคุมมีค่าต่ำสุด และค่าครึ่งชีวิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผสมเมล็ดลินินในปริมาณเพิ่มขึ้น ค่าครึ่งชีวิตของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินมีค่ามาก แสดงว่าอัตราการ Staling เกิดได้ช้ากว่า (วรศักดิ์ และนิรันดร์, 2559) แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าครึ่งชีวิตของขนมปังสูตรควบคุมและสูตรผสมเมล็ดลินินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า เมล็ดลินินไม่ได้ช่วยชะลออัตราการ Staling ในการทดลองนี้น่าจะเป็นเพราะว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาสั้นเกินไปและช่วงระยะเวลาการสุ่มตรวจน้อย ทำให้ข้อมูลที่ใช้นำมาวิเคราะห์น้อยข้อมูลจึงมีความแปรปรวนสูง แต่อย่างไรก็ตาม ค่าครึ่งชีวิตของขนมปังสูตรที่ผสมเมล็ดลินินมีค่าสูงกว่าสูตรควบคุมประมาณ 1 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่า Firmness ของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ Avrami และค่าครึ่งชีวิต

Formula	$F_0(N)$	$F_\infty(N)$	$k(h^{-n})$	n	R^2	Half-life (Hours)
Control	17.12	36.47	0.127 ± 0.01	0.800 ± 0.87	0.94	8.34 ± 0.97
FS10	15.86	31.00	0.018 ± 0.06	1.305 ± 0.96	0.93	16.40 ± 8.51
FS15	15.81	27.36	0.032 ± 0.03	1.063 ± 1.20	0.93	18.05 ± 7.29
FS20	19.92	29.82	0.003 ± 0.18	1.871 ± 1.50	0.87	18.34 ± 5.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการผสมเมล็ดลีนินอบบดลงในขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1.) การผสมเมล็ดลีนินส่งผลให้ค่า Hardness ของแป้งโดสูงขึ้น แต่ค่า Springiness และ Cohesiveness ลดลง โดยจะเห็นได้ชัดเมื่อมีการผสมเมล็ดลีนินในปริมาณ 20% ของน้ำหนักแป้ง อย่างไรก็ตาม การผสมเมล็ดลีนินไม่ได้ส่งผลต่อค่า Adhesiveness ของแป้งโด
- 2.) การแช่เย็นแป้งโดส่งผลให้แป้งโดมีค่า Hardness สูงขึ้น แต่ค่า Cohesiveness ลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าทั้งสองไม่เป็นเชิงเส้น ส่วนค่า Adhesiveness และ Springiness ไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเริ่มต้น แต่จะลดลงหลังจากวันที่ 20 ของการแช่เย็นโด
- 3.) การผสมเมล็ดลีนินส่งผลให้ขนมปังมีค่า Hardness Chewiness และ Gumminess สูงขึ้นแต่ค่า Springiness และปริมาตรจำเพาะลดลง โดยจะเห็นได้ชัดเมื่อผสมเมล็ดลีนินในปริมาณ 15% ของน้ำหนักแป้ง อย่างไรก็ตามการผสมเมล็ดลีนินไม่ได้มีผลต่อปริมาณความชื้นของขนมปัง
- 4.) ขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดมีคุณภาพที่ดีกว่าขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็น การแช่เย็นแป้งโดส่งผลให้ขนมปังมีค่า Hardness Springiness Chewiness และ Gumminess สูงขึ้น แต่ปริมาตรจำเพาะและความชื้นลดลง
- 5.) การผสมเมล็ดลีนินส่งผลให้การยอมรับด้านสีของขนมปังลดลง แต่ไม่ได้มีผลต่อการยอมรับด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผู้บริโภค
- 6.) การผสมเมล็ดลีนินไม่ได้มีผลต่ออัตราการ Staling ของขนมปังที่เก็บในอุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตาม ค่าครึ่งชีวิตของขนมปังที่ผสมเมล็ดลีนินสูงกว่าสูตรที่ไม่มีเมล็ดลีนินประมาณ 1 เท่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

คณะผู้จัดทำโครงการวิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปดังนี้

- 1.) ควรมีการวิเคราะห์หาปริมาณของใยอาหารและกรดไขมันโอเมก้า 3 เพื่อเป็นข้อมูลในการระบุปริมาณสารอาหารในขนมปังที่มีการผสมเมล็ดลินิน และเพื่อระบุปัจจัยการเปลี่ยนแปลงในโดและในขนมปังเนื่องจากปริมาณใยอาหาร
- 2.) ควรมีการวัดการเกิดโดไซรัป ในโดที่มีการแช่เย็น เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ของขนมปังที่ผลิตจากโดแช่เย็น
- 3.) ควรมีการฝึกฝนผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสให้มีความแม่นยำ และติดตามผลการฝึกฝนสม่ำเสมอ
- 4.) ควรมีการวัดค่า Firmness ของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องให้ระยะเวลาการสุ่มตรวจถี่ขึ้น เพราะจำนวนข้อมูลมีผลต่อการวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ขวัญชนก พจนานุกรม และ สุวีรา ศรีกันชัย. 2553. “พืชชาลดต้นทุน.” ปรินญาณินพนธ์ศิลปศาสตรบัณฑิต ภาควิชาการโรงแรมและการท่องเที่ยว, มหาวิทยาลัยสยาม.
- จุฑามาศ พีรพัชระ และ วรลักษณ์ ปัญญิตติพงศ์. 2559. “การใช้ประโยชน์จากเนื้อตาลสุกของชุมชน จังหวัดเพชรบุรีเพื่อผลิตขนมปัง.” วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 10 (1), หน้า 168-178.
- ธนากร รติธรรมธร. (2559, พฤษภาคม – สิงหาคม). “ผลของการให้ความร้อนและการทำให้เย็นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของการย่อยแป้ง.” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 21 (2), หน้า 246-259.
- ธรรมชาติ วงศ์รัตนมนตรี, ธิติภูษั วรวุฒิ, ยุภภัทร์ ศักดาวัฒนกุล และ วิจิตรา ต่อตรงนิสาร. 2557. “อิทธิพลของเมล็ดลินินและพลังงานจำเพาะในการนวดต่อการขึ้นฟูและสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด. ปรินญาณินพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิรนาม1. 2562. What is Flaxseed. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://healthgossip.co/what-is-flaxseed/>.
- นุรีน ทรงศรี, เบญญาภา หงส์ชัชวาล และ ปฐมพงศ์ มารุตเสถียร. 2556. “อิทธิพลของเมล็ดลินินและการแช่เย็นต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโดและคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ.” ปรินญาณินพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปฏิภาณ จุ่นจ่าง และ ชวนัฐ จันท์งาม. 2559. “ผลของปริมาณงาขี้ม่อนที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของโดและขนมปังหลังการอบ.” ปรินญาณินพนธ์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พรรณทิพา เจริญไทยกิจ. 2555. การพัฒนาขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวเหนียว. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนธ์. 2559. Texture/เนื้อสัมผัส. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0523/ Texture-เนื้อสัมผัส](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0523/Texture-เนื้อสัมผัส).
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. การประเมินทางประสาทสัมผัส. เชียงใหม่ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วรศักดิ์ เพชรวโรทัย และ นิรันดร์ ภู่อันติ. 2559. “พฤติกรรมและจลนศาสตร์การเกิดผลึกของพอลิแล็กไทด์ผ่านกระบวนการก่อผลึกแบบเนื้อผสมและการเสริมสภาพพลาสติก.” วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 44(3), หน้า 458-474.
- สรภาพ เกตุดี และ สิริพล อนันตวรกุล. (2549, เมษายน - กรกฎาคม). “การศึกษาจลนพลศาสตร์การตกผลึก.” วารสารวิศวกรรมสาร มก., 58 (19), หน้า 1-11.
- สวรักษ์ จันทรเทพธิมากุล. 2551. “คุณสมบัติทางรีโอโลยีของโดและผลิตภัณฑ์อาหารเข้าสำเร็จรูป.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สิทธิชัย รติสรายุจิต, หทัยภัทร วัลลภาพันธุ์ และ อลิสสา สรการโกศล. 2558. “อิทธิพลของส่วนผสมที่มีใยอาหารสูงต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุจิตรา เรืองรัมย์, กนกวรรณ จัตวงษ์ และ อบเชย วงศ์ทอง. “การพัฒนาสูตรขนมปังแซนด์วิชโดยใช้รำข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลี.” วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 13(1), หน้า 123-138.
- สุนทรี วราอุบล และ บุศราภา ลิมานนท์. 2548. “สมบัติทางกายภาพและการประยุกต์ใช้สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรในไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ลดไขมัน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สุนีย์ ชลนาทิจกุล. 2540. “การผลิตโดขนมปังแช่เยือกแข็ง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- AACC. 1983. *Approved methods of the AACC*. 8th ed. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists Method 08-01, 44-15A, 4613, 54-20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- AACC. 2000. **Approved methods of the AACC**. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists International.
- Amigo, J.M., Alvarez, A.O., Engelsens, M.M., Lundkvist, H. and Engelsens, S.B. 2016. “Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic α -amylases. Part 1: Spatial distribution and kinetic modeling of hardness and resilience.” **Food Chemistry**, 208(2016): 318–325.
- Arif, S., Ahmed, M., Chaudhry, Q. and Hasnain, A. 2018. “ Effects of water extractable and unextractable pentosans on dough and bread properties of hard wheat cultivars.” **LWT-Food Science and Technology**, 97(2018): 736-742.
- Arufe, S., Chiron, H., Dore, J., Auzeloux, S.I., Saulnier, L. and Valle, D.G. 2017. “Processing and rheological properties of wheat flour dough and bread containing high levels of soluble dietary fibers blends.” **Food Research International**, 97(2017): 123-132.
- Ayadi, M.A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M. and Attia, H. 2009. “Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. ” **Industrial Crops and Products**, 30(2009): 40-47.
- Canalis, B.M.S., Leon, A.E. and Ribotta, P.D. 2019. “Incorporation of dietary fiber on the cookie dough. Effects on thermal properties and water availability.” **Food Chemistry**, 271(2019): 309-317.
- Chinachoti, P. and Vodovotz, Y. 2001. **Bread staling**. Florida : CRC Press LLC.
- Collar, C., Jimenez, T., Conte, P. and Piga, A. 2015. “Significance of thermal transitions on starch digestibility and firming kinetics of restricted water mixed flour bread matrices.” **Carbohydrate Polymers**, 122(2015): 169-179.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ding, H.H., Qian, K., Goff, D.H., Wang, Q. and Cui, W.S. 2018. "Structural and conformational characterization of arabinoxylan from flaxseed mucilage." *Food Chemistry*, 254(2018): 266-271.
- Ding, S., Peng, B., Li, Y. and Yang, J. 2019. "Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol." *Food Chemistry*, 283(2019): 123-130.
- Edel L.A., Aliani, M. and Pierce, N.G. 2015. "Stability of bioactives in flaxseed-fortified foods." *Food Research International*, 77(2015): 140-155.
- Edwards, W.P. 2007. *The science of bakery products*. Cambridge : RSCPublishing.
- Eliasson, C.A. and Larsson, K. 1993. *Cereals in breadmaking*. New York : Mercel Dekker.
- Faridi, H. and Faubion, M.J. 1990. *Dough rheology and baked product texture*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Gaikwad, S. and Arya, S.S. 2018. "Influence of frozen storage on quality of multigrain dough, par baked and ready to eat *Thalipeeth* with additives." *LWT-Food Science and Technology*, 93(2018): 350-356.
- Kaur, P., Sharma, P., Kumar, V., Panghal, A., Kaur, J. and Gat, Y. 2017. "Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, (2017).
- Kim, J.H., Song, Y., Lee, S., Lee, K.P., Lee, B.H. and Yoo, S.H. 2017. "Wheat dough syruing in cold storage is related to structural changes of starch and non-starch polysaccharides." *Food Research International*, 99(2017): 569-602.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Marpalle, P., Sonawane, S.K. and Arya, S.S. 2014. "Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread." **Food Science and Technology**, 58(2014): 614-619.
- Martinez, M.M., Diaz, A. and Gomez, M. 2014. "Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibers on gluten-free dough rheology and bread-making." **Journal of Food Engineering**, 142(2014): 49-56.
- Matz, A.S. 1992. **Bakery technology and engineering**. 3rd ed. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Mercier, S., Villeneuve, S., Moresoli, C., Mondor, M., Marcos, B. and Power, K.A. 2014. "Flaxseed-enriched cereal-based products: A review of the impact of processing conditions." **Food Science and Food safety**, 13(2015).
- Monteau, Y.J., Purlis, E., Besbes, E., Jury, V. and Bail, L.A. 2017. "Water transfer in bread during staling: Physical phenomena and modeling." **Journal of Food Engineering**, 211(2017): 95-103.
- Pejcz, E., Szychaj, R., Budzisz, W.A. and Gil, Z. 2018. "The effect of *Plantago* seeds and husk on wheat dough and bread functional properties." **LWT-Food Science and Technology**, 96(2018): 371-377.
- Pourabedin, M., Aarabi, A. and Rahbaran, S. 2017. "Effect of flaxseed flour on rheological properties, staling and total phenol of Iranian toast." **Journal of Cereal Science**, 76(2017): 173-178.
- Rosell, M.C. and Santos, E. 2010. "Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread." **Journal of Food Engineering**, 98(2010): 273-281.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Saha, S., Gupta, A., Singh, S.R.K., Bhati, N., Singh, K.P., Mahajan, V. and Gupta, H.S. 2011. "Composition and variety influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit." *LWT-Food Science and Technology*, 44(2011): 616-621.
- Shah, N.N., Raut, A., Yedage, L.S., Bhanage, M.B. and Singhal, S.R. 2018. "Synthesis and evaluation of n-octenyl succinylated guar gum as an anti-staling agent in bread." *Food Science and Technology*, 93(2018): 368-375.
- Simsek, S. and Ohm, J.B. 2009. "Structural changes of arabinoxylans in refrigerated dough." *Carbohydrate Polymers*, 77(2009): 87-94.
- Simsek, S., Whitney, K., Ohm, J.B. and Mergoum, M. 2011. "Refrigerated dough quality of hard red spring wheat: Effect of genotype and environment on dough syruing and arabinoxylan production." *Cereal Chemistry*, 88(2011).
- Sivam, S.A., Waterhouse, S.D., Quek, Y.S. and Perera, O.C. 2010. "Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review." *Journal of Food Science*, 75(2010).
- Tao, H., Xiao, Y., Wu, F. and Xu, X. 2018. "Optimization of additives and their combination to improve the quality of refrigerated dough." *LWT-Food Science and Technology*, 89(2018): 482-488.
- Tebben, L., Shen, Y. and Li, Y. 2018. "Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality." *Trends in Food Science and Technology*, 87(2018): 10-24.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณลักษณะของแป้งโดและคุณภาพของขนมปัง

ก.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแป้งโด (Ayadi et al., 2009)

อุปกรณ์

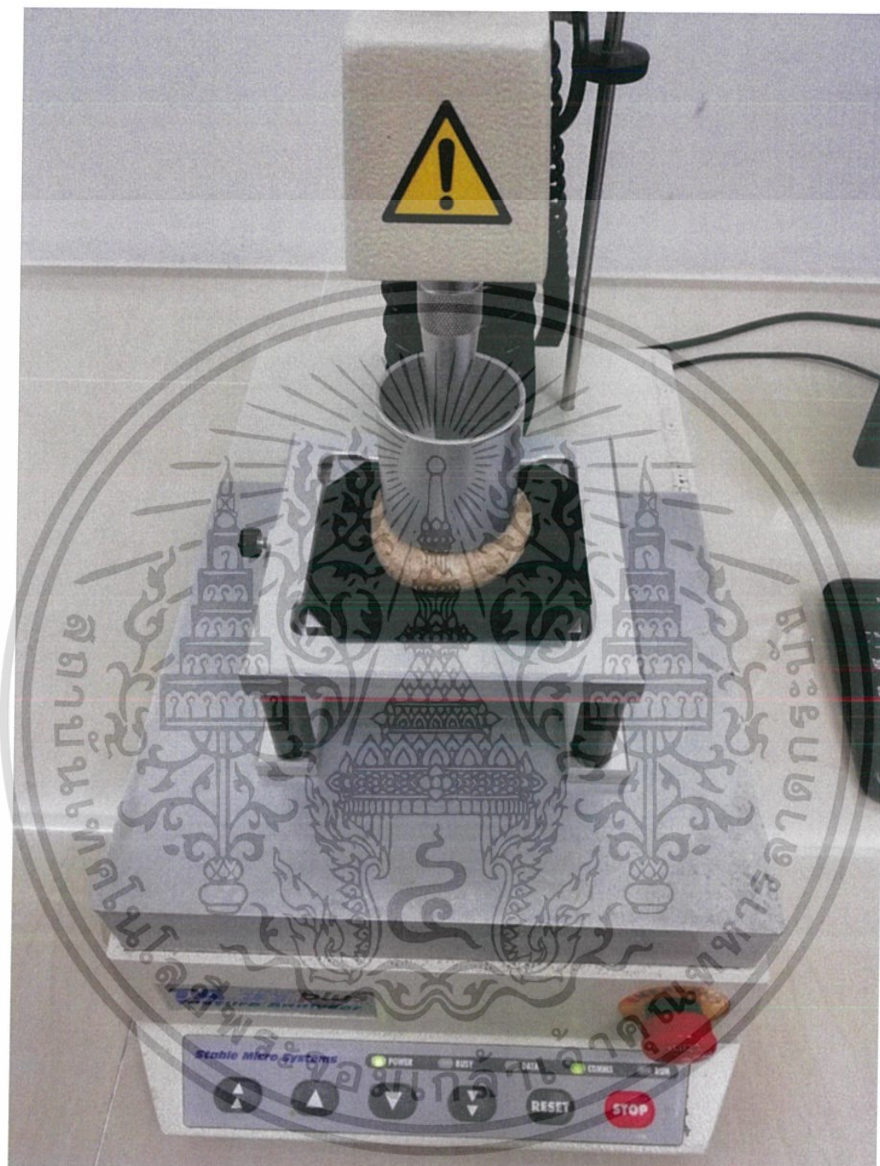
1. พิมพ์รูปทรงกระบอก
2. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส หัวทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm (P/50) Load cell 50 kg

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักแป้งโดประมาณ 30 กรัม ใส่ในพิมพ์ทรงกระบอก กดในหน้าโดเรียบที่สุด
2. ทดสอบสมบัติเชิงรีโอโลยีของแป้งโดโดยการวัดเนื้อสัมผัสของแป้งโดที่เซแรงกดตัวอย่างลงไปเป็น 50% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Typical Texture Expert™ รายละเอียดการตั้งค่ามีดังนี้

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. วางชิ้นตัวอย่างตรงกลางหัววัด วัดซ้ำโดยการเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง (วัดซ้ำ 3 ตัวอย่าง/สูตร)



รูปที่ ก. 1 ลักษณะการวางชิ้นตัวอย่างของแบ่งโต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมปัง

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส
2. หัวกดแบบทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm (P/50) Load cell 50 kg
3. ไม้บรรทัด
4. มีดแบบฟันเลื่อย

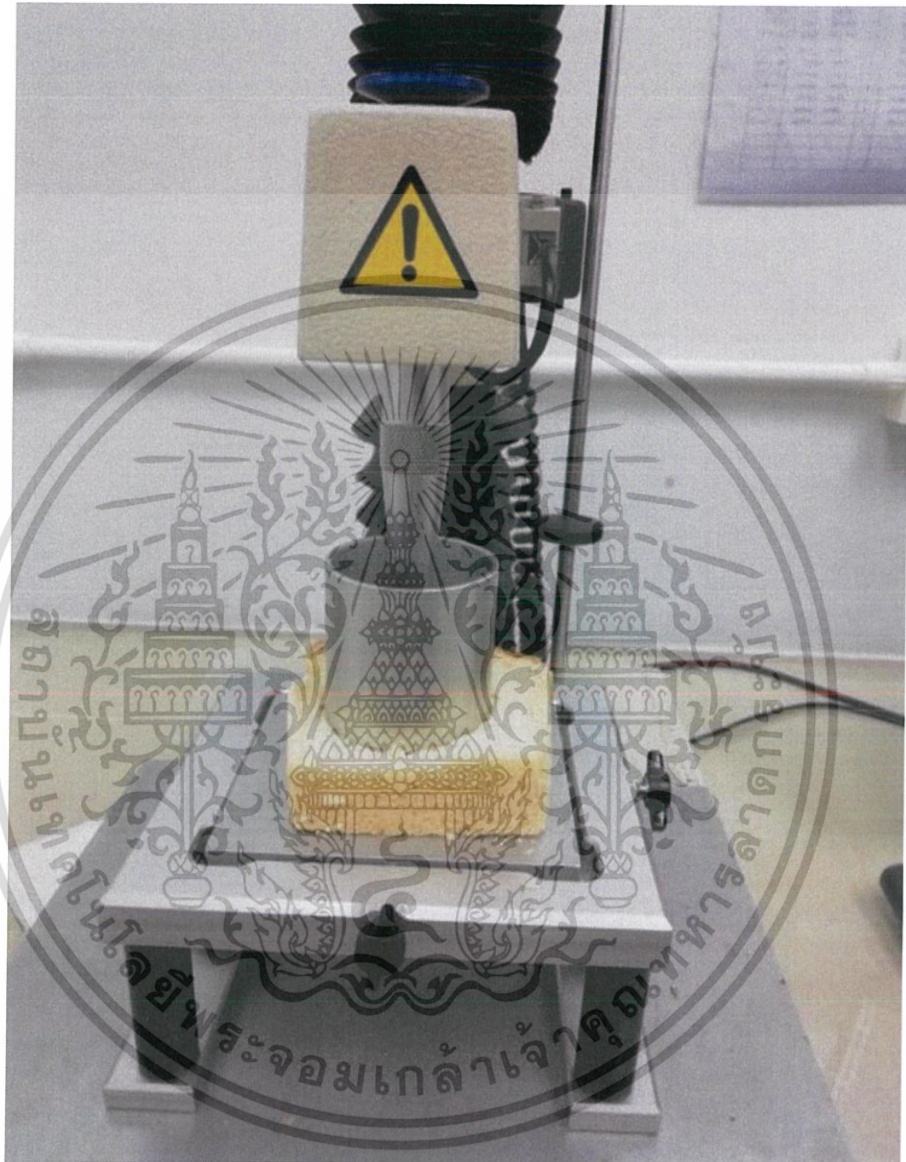
วิธีการทดลอง

1. ตัดขนมปังเป็นแผ่นหนาขนาด 2 cm
2. ทดสอบเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยการวัดแรงที่ใช้ในการกด ตัวอย่างขนมปังโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Typical Texture Expert™ โดยมีรายละเอียดการตั้งค่า 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. ใช้หัวกดแบบทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm (P/50)
4. วางตัวอย่างให้อยู่กึ่งกลางของหัวกด ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง (ทำ 2 ซ้ำ/สูตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. 2 ลักษณะการวัดเนื้อสัมผัสของชนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 3 การวิเคราะห์ค่า Firmness ของขนมปัง (Ding et al., 2019)

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส
2. หัวกดทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm (P/50) Load cell 50 kg
3. ไม้บรรทัด
4. มิตหันขนมปังแบบฟันเลื่อย

วิธีการทดลอง

1. หั่นขนมปังเป็นแผ่นหนา 2 cm
2. ทดสอบค่า Firmness ของขนมปังโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยวัดแรงสูงสุดในการกดครั้งแรกบนชิ้นตัวอย่างขนมปัง โดยกดลงไปเป็นระยะทาง 50% ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Typical Texture Expert™ โดยมีรายละเอียดการตั้งค่า 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. วางชิ้นตัวอย่างขนมปังตรงกลางหัวกด วัดซ้ำโดยการเปลี่ยนตัวอย่างขนมปังใหม่ทุกครั้ง (วัดซ้ำ 3 ตัวอย่าง/สูตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 4 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง (AACC Standard 10-05)

อุปกรณ์

1. เมล็ดฝักกาดขาว
2. ภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่กว่าก้อนขนมปัง ไม่ต้องมีฝาปิด
3. ถาดสำหรับวางภาชนะ
4. ไม้บรรทัดสำหรับปาดเมล็ดฝักกาดขาวส่วนเกิน
5. เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
6. อุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นเมล็ดฝักกาดขาว ได้แก่ ภาชนะทราบปริมาตร เครื่องชั่ง

วิธีการทดลอง

1. วัดความหนาแน่นของเมล็ดฝักกาดขาว โดยนำเมล็ดฝักกาดขาวใส่ลงภาชนะทราบปริมาตรจนเต็ม โดยไม่มีการอัดให้แน่น ปาดเมล็ดฝักกาดขาวส่วนเกินออก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาค่าความหนาแน่นรวม โดยความหนาแน่นของฝักกาดขาวเท่ากับ น้ำหนักของฝักกาดขาวในภาชนะทราบปริมาตรหารด้วยปริมาตรของภาชนะ
2. เมื่อขนมปังเสร็จแล้ว นำออกจากพิมพ์แล้วพักให้เย็นตัวลง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักวางภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมไว้กลางถาด เทเมล็ดฝักกาดขาวใส่ภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมจนล้น ใช้ไม้บรรทัดปาดเอาเมล็ดงาขาวส่วนเกินออก โดยปาดจากตรงกลางออกไปทางด้านข้างสองด้าน นำเมล็ดฝักกาดขาวส่วนที่เกินออก เทเมล็ดฝักกาดในภาชนะรูปสี่เหลี่ยมเก็บไว้
3. นำขนมปังใส่ลงในภาชนะทรงสี่เหลี่ยม เทเมล็ดฝักกาดขาวที่เตรียมไว้ก่อนหน้าใส่ลงในภาชนะทรงสี่เหลี่ยมให้เต็ม ปาดเอาเมล็ดงาขาวส่วนที่เกินออก
4. ชั่งน้ำหนักเมล็ดฝักกาดขาวส่วนที่เกิน
5. คำนวณหาปริมาตรของเมล็ดฝักกาดขาวที่ถูกแทนที่ได้จาก

$$\text{ปริมาตรของเมล็ดฝักกาดขาว} = \frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดฝักกาดขาวส่วนเกิน}}{\text{ความหนาแน่นของเมล็ดฝักกาดขาว}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คำนวณค่าปริมาตรจำเพาะโดย

$$\text{ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง (cm}^3/\text{g)} = \frac{\text{ปริมาตรของเมล็ดผักกาดขาวส่วนเกิน}}{\text{น้ำหนักของขนมปัง}}$$

7. ทำการวิเคราะห์ซ้ำโดยเปลี่ยนตัวอย่างของขนมปังใหม่ทุกครั้ง (ทำ 2 ซ้ำ/สูตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี (AACC Standard 44-15A)

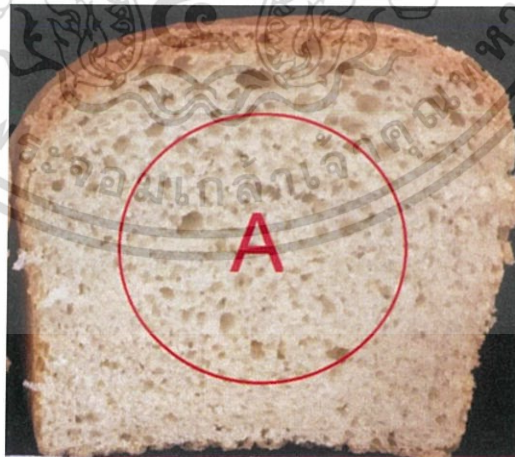
อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. ภาชนะอลูมิเนียม มีฝาปิด
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2-5 กรัม จากบริเวณ A ดังรูปที่ ก.3 ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแล้ว
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งที่ตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทำให้เย็นใน desiccator และชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาค่าความชื้นจากสมการ

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



รูปที่ ก. 3 บริเวณขึ้นตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์หาความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธีฮีโดนิค (Hedonic test)

อุปกรณ์

1. แบบทดสอบ
2. ปากกา
3. ตัวอย่างขนมปัง

วิธีการทดลอง

1. คัดเลือกผู้ทดสอบจำนวน 10 คน โดยคัดเลือกจากการให้ผู้ทดสอบแต่ละคนได้ทำการทดสอบในสถานที่ต่าง ๆ ดังนี้ทดสอบatabอดสี ทดสอบการแยกกลิ่น ทดสอบการแยกรสพื้นฐาน คือ หวาน เปรี้ยว เค็ม โดยผู้ที่ผ่านการคัดเลือกมาเป็นผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจะต้องผ่านสถานีการทดสอบตั้งแต่ 80% หรือ 4 สถานี ขึ้นไป
2. อบรมผู้ทดสอบเรื่องการให้คะแนนในแต่ละหัวข้อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการทดสอบ
3. เสนอตัวอย่างขนมปัง (รูปที่ ก.4) และแบบทดสอบ (รูปที่ ก.6) ให้แก่ผู้ทดสอบ
4. ผู้ทดสอบทำการประเมินความชอบในแต่ละคุณลักษณะ
5. ผู้ทดสอบส่งตัวอย่างคืนพร้อมแบบทดสอบ
6. นำผลจากการทดสอบไปวิเคราะห์



รูปที่ ก. 4 ตัวอย่างขนมปังที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ ก. 5 การอบรมและคัดเลือกผู้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมปัง

ชื่อ-นามสกุล.....อายุ.....ชุดที่.....วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

โดยกำหนดให้

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง
 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย
 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส			
	586	954	781	826
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

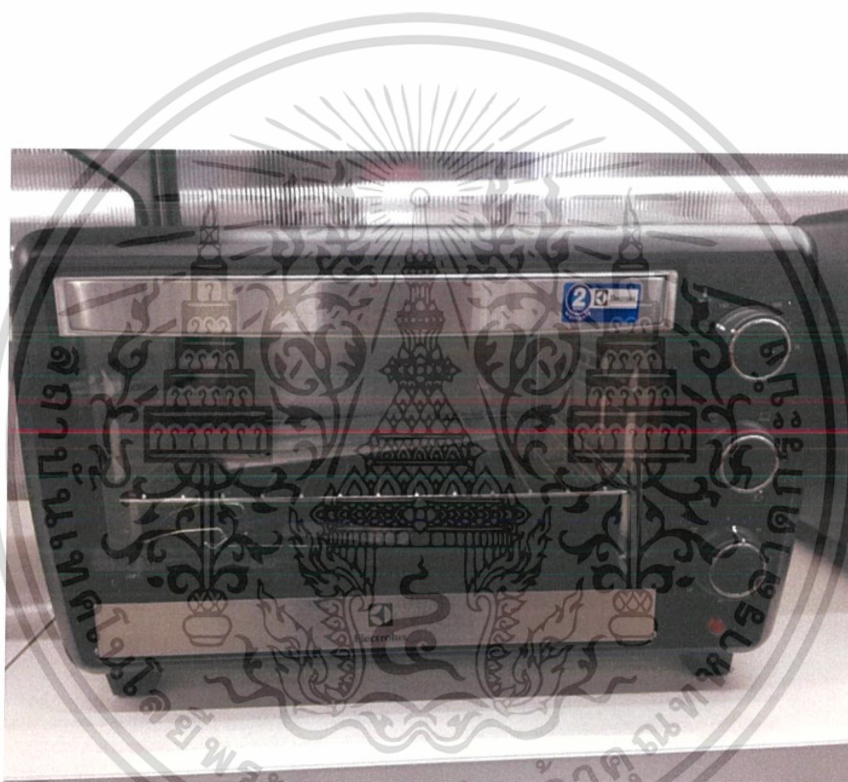
.....

รูปที่ ก. 6 ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปัง

ข. 1 เตอบขนมปัง



รูปที่ ข. 1 เตอบไฟฟ้าอเนกประสงค์ Electrolux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. 2 เครื่องปั่นผสม



รูปที่ ข. 2 เครื่องปั่นผสม

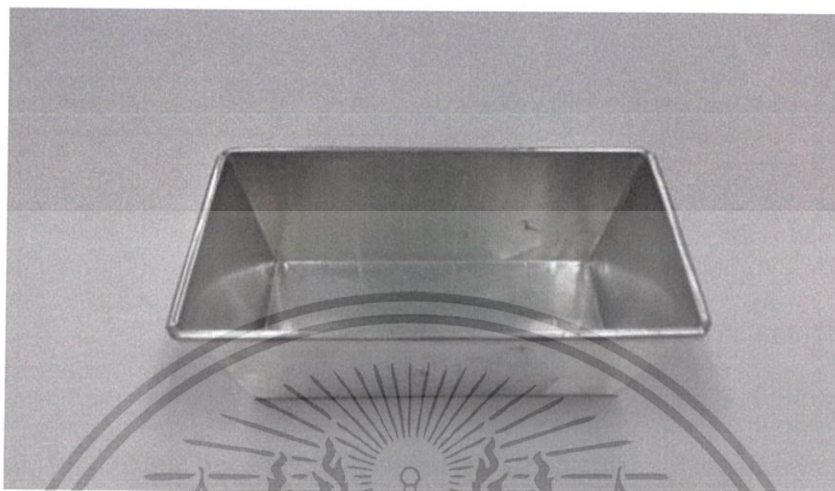
ข. 3 เครื่องปั่นแห้ง



รูปที่ ข. 3 เครื่องปั่นแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. 4 พิมพ์ขนมปัง



รูปที่ ข. 4 พิมพ์ขนมปัง

ข. 5 มีดฟันเลื่อย

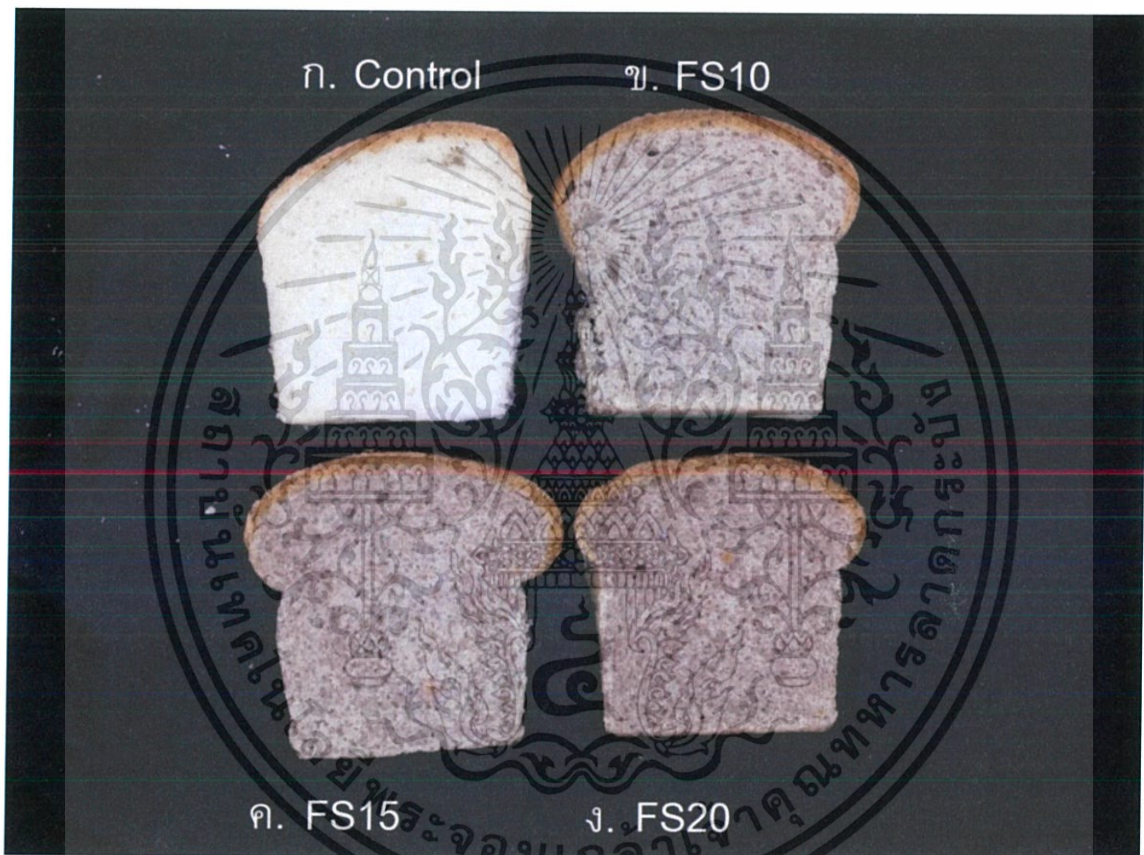


รูปที่ ข. 5 มีดฟันเลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ลักษณะของขนมปัง

ค. 1 ลักษณะภายในของขนมปัง



รูปที่ ค. 1 ลักษณะภายในของขนมปัง ก. สูตรควบคุม และสูตรผสมเมล็ดลินิน ข. 10% ค. 15% ง. 20% ของน้ำหนักแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. 2 ลักษณะภายนอกของขนมปังจากโดสด



รูปที่ ค. 2 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ไม่ผสมเมล็ดลินิน



รูปที่ ค. 3 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 10% ของน้ำหนักแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



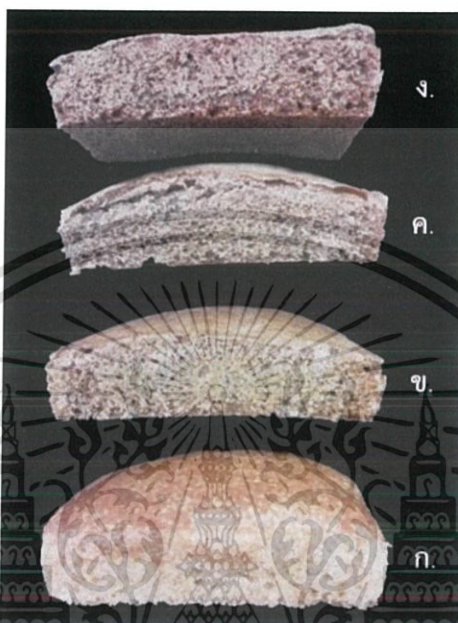
รูปที่ ค. 4 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 15% ของน้ำหนักแป้ง



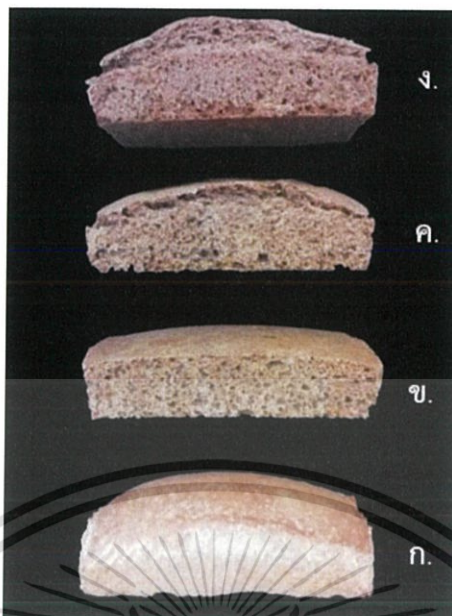
รูปที่ ค. 5 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 20% ของน้ำหนักแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. 3 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดแช่เย็น



รูปที่ ค. 6 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผลิตจากโดแช่เย็น 10 วัน ก. สูตรควบคุม และ สูตรผสมเมล็ด
ลินิน ข. 10% ค. 15% ง. 20%



รูปที่ ค. 7 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผลิตจากโดแช่เย็น 20 วัน ก. สูตรควบคุม และ สูตรผสมเมล็ด
ลินิน ข. 10% ค. 15% ง. 20%



รูปที่ ค. 8 ลักษณะภายนอกของขนมปังที่ผลิตจากโดแช่เย็น 30 วัน ก. สูตรควบคุม และ สูตรผสมเมล็ด
ลินิน ข. 10% ค. 15% ง. 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ง.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสของแป้งโดสด

Hardness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	6.631	3	2.210	9.641	0.005
Error	1.834	8	0.229		
Total	8.465	11			

Adhesiveness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	36.076	3	12.025	3.311	0.078
Error	29.052	8	3.631		
Total	65.128	11			

Springiness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	1641.526	3	547.175	8.504	0.007
Error	514.750	8	64.344		
Total	2156.276	11			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cohesiveness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	278.820	3	92.940	17.788	0.001
Error	41.799	8	5.225		
Total	320.619	11			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสด

Hardness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	26.860	3	8.953	15.276	0.012
Error	2.344	4	0.586		
Total	29.204	7			

Springiness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	163.992	3	54.664	22.669	0.006
Error	9.646	4	2.411		
Total	173.638	7			

Gumminess

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	137413.611	3	45804.537	8.623	0.032
Error	21248.110	4	5312.027		
Total	158661.721	7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chewiness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	396208.198	3	132069.399	17.739	0.009
Error	29780.824	4	7445.206		
Total	425989.022	7			

ความชื้น

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	0.839	3	0.280	1.358	0.375
Error	0.824	4	0.206		
Total	1.663	7			

ปริมาตรจำเพาะ

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	0.754	3	0.251	124.925	0.000
Error	0.008	4	0.002		
Total	0.762	7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพของขนมปังที่ผลิตจากแป้งโดสดและแป้งโดแช่เย็น

Hardness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	619.094	3	206.365	0.583	0.635
Day	12959.131	3	4319.710	12.201	0.000
interaction	1859.323	9	206.591	0.583	0.792
Error	5664.911	16	354.057		
Total	21102.459	31			

Springiness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	968.685	3	322.895	1.533	0.245
Day	49562.127	3	16520.709	78.412	0.000
interaction	1371.509	9	152.390	0.723	0.682
Error	3371.069	16	210.692		
Total	55273.390	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gumminess

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	3243227.759	3	1081075.920	1.96	0.161
Day	44095364.290	3	14698454.760	26.652	0.000
interaction	5355575.269	9	595063.919	1.079	0.428
Error	8823953.168	16	551497.073		
Total	61518120.490	31			

Chewiness

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	10397637.220	3	3465879.074	1.790	0.190
Day	185267854.200	3	61755951.390	31.903	0.000
interaction	19644604.630	9	2182733.848	1.128	0.399
Error	30971693.540	16	1935730.846		
Total	246281789.500	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	1.687	3	0.562	1.153	0.358
Day	39.878	3	13.293	27.248	0.000
interaction	5.163	9	0.574	1.176	0.372
Error	7.806	16	0.488		
Total	54.534	31			

ปริมาตรจำเพาะ

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	0.458	3	0.153	7.114	0.003
Day	92.430	3	30.810	1435.527	0.000
interaction	1.037	9	0.115	5.369	0.002
Error	0.343	16	0.021		
Total	94.268	31			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านความชอบของผู้บริโภค

งข

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	1.550	3	0.517	15.897	0.011
Error	0.130	4	0.033		
Total	1.680	7			

กลิน

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	0.430	3	0.143	1.042	0.465
Error	0.550	4	0.137		
Total	0.980	7			

รสชาติ

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	0.104	3	0.035	0.369	0.781
Error	0.375	4	0.094		
Total	0.479	7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อสัมผัส

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	0.025	3	0.008	0.256	0.854
Error	0.130	4	0.032		
Total	0.155	11			

ความชอบโดยรวม

ANOVA

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	0.150	3	0.050	6.667	0.049
Error	0.030	4	0.007		
Total	0.180	7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้