อิทธิพลของส่วนผสมที่มีใยอาหารสูงต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

EFFECTS OF FIBER-RICH INGREDIENTS ON QUALITIES AND SENSORY CHARACTERISTICS OF BREAD

นายสิทธิชัย รติสราญจิต

นางสาวหทัยภัทร วัลลภาพันธุ์

นางสาวอลิสา สารการโกศล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

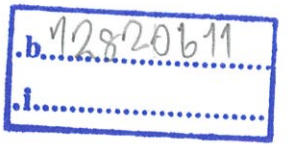
อิทธิพลของส่วนผสมที่มีใยอาหารสูงต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

EFFECTS OF FIBER-RICH INGREDIENTS ON QUALITIES AND SENSORY CHARACTERISTICS OF BREAD

นายสิทธิชัย รติสราญจิต

นางสาวหทัยภัทร วัลลภาพันธุ์

นางสาวอลิสา สารการโกศล



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

EFFECTS OF FIBER-RICH INGREDIENTS ON QUALITIES AND SENSORY CHARACTERISTICS OF BREAD

Mr. Sittichai Ratisaranjit

Miss Hathaipat Wallapapan

Miss Alisa Sankrankosol

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 2015

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **อิทธิพลของส่วนผสมที่มีใยอาหารสูงต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง**

EFFECTS OF FIBER-RICH INGREDIENTS ON QUALITIES AND SENSORY CHARACTERISTICS OF BREAD

นักศึกษาผู้ทำโครงงาน

1. นายสิทธิชัย รติสราญจิต
2. นางสาวหทัยภัทร วัลลภาพันธุ์
3. นางสาวอลิสา สารการโกศล

.....

(ดร. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อโครงงาน	อิทธิพลของส่วนผสมที่มีใยอาหารสูงต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง
นักศึกษา	นายสิทธิชัย รติสราญจิต
	นางสาวหทัยภัทร วัลลภาพันธุ์
	นางสาวอลิสา สารการโกศล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของกากใยอาหารต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง โดยผสมธัญพืชที่มีใยอาหารสูง ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วเขียว และเมล็ดลินินลงในขนมปัง ในปริมาณ 20% 30% และ 40% โดยน้ำหนักของแป้ง สูตรพื้นฐานของขนมปังประกอบด้วย แป้งสาลี เนย น้ำ เกลือ น้ำตาลและยีสต์ ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเทคนิค Texture Profile Analysis (TPA) และการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเพื่อตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังและการยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่า springiness ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น จากการทดลองพบว่าการผสมถั่วแดงมีผลให้ค่า hardness gumminess และ chewiness เพิ่มขึ้น และช่วยชะลออัตราการเกิด staling ได้ การผสมถั่วเขียวในขนมปังส่งผลให้ค่า hardness ลดลง และ cohesiveness เพิ่มขึ้น และการผสมเมล็ดลินินส่งผลให้ค่า gumminess เพิ่มขึ้น การผสมเมล็ดธัญพืชทั้งสามชนิดมีผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบขนมปังที่ผสมธัญพืชในปริมาณ 20% มากที่สุด

Project Title	EFFECTS OF FIBER-RICH INGREDIENTS ON QUALITIES AND SENSORY CHARACTERISTICS OF BREAD
Student	Mr. Sittichai Ratisaranjit
	Miss Hathaipat Wallapapan
	Miss Alisa Sankrankosol
Project Adviser	Dr. Eakasit Sritham
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic year	2015

ABSTRACT

This project was aimed at investigating the effects of dietary fiber fortification on qualities and sensory characteristics of bread. Fiber-rich grains including red kidney bean, green bean and flax seed were chosen to incorporate into bread for 20%, 30% and 40% weight of flour. The base recipe of bread consisted of flour, butter, water, salt, sugar and yeast. Texture Profile Analysis (TPA) and sensory test were conducted to determine textural characteristics and palatability. Shelf life was also studied by observing the change of springiness during storage at refrigerate temperature. Incorporating fiber-rich grains into bread resulted in the change of some textural characteristics. The incorporation of grains into bread did not affect the adhesiveness and springiness but did affect the specific volume. The addition of red kidney bean resulted in the increase of hardness, gumminess, and chewiness. It was also found that red kidney bean could slow down staling rate in bread. The hardness was decreased while the cohesiveness was increased upon the addition of green bean. Flaxseed only resulted in the increase of gumminess. The results obtained from sensory analysis suggested that, to maintain consumer acceptance, grains should not be added to bread more than 20%.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ดร. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษาตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ช่วยสั่งสอน อบรบ และมอบความรู้จนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ นักวิทยาศาสตร์ที่คอยช่วยเหลือ จัดเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และให้คำแนะนำในการทำการทดลอง รวมถึงขอขอบพระคุณ คุณสุธัญญา ถาดนาค เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ช่วยเหลือในเรื่องของสถานที่ในทำการทดลองตลอดการทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาร่วมสถาบันตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยไม่อาจกล่าวนามได้ทั้งหมดในที่นี้ ที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำแบบทดสอบ ให้คำแนะนำต่าง และความช่วยเหลือต่าง ๆ ตลอดจนถึงกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้คณะวิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้อนุมัติโครงงานและสนับสนุนการดำเนินงานจนสำเร็จ จนกระทั่งสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vii
สารบัญรูป	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สมมติฐาน	1
1.3 วัตถุประสงค์	1
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ธัญพืช	3
2.1.1 ถั่วแดง	3
2.1.2 ถั่วเขียว	4
2.1.3 เมล็ดลินิน	5
2.2 ขนมปัง	6
2.2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของขนมปัง	7
2.2.2 กระบวนการผลิตขนมปัง	10
2.2.3 ลักษณะของขนมปังที่มีคุณภาพ	13
2.2.4 การเสื่อมเสียของขนมปัง	14
2.3 ความไม่สดของขนมปัง	16
2.4 เนื้อสัมผัสอาหารและการวิเคราะห์	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 เนื้อสัมผัส	18
2.4.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส	18
2.4.3 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ	22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	26
3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่าง	26
3.1.1 วัตถุดิบ	26
3.1.2 อุปกรณ์	26
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	27
3.3 การทดสอบคุณภาพของขนมปัง	28
3.3.1 เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)	28
3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง	28
3.3.3 การวิเคราะห์ความชื้นของขนมปัง	28
3.4 การวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัส	28
3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	30
4.1 อิทธิพลของการผสมธัญพืชต่อคุณลักษณะทางกายภาพของขนมปัง	30
4.2 อิทธิพลของการผสมธัญพืชต่อเนื้อสัมผัสของขนมปัง	33
4.3 อิทธิพลของการผสมธัญพืชต่อการคืนตัวของแป้งของขนมปัง	46
4.4 อิทธิพลของการผสมธัญพืชต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและคุณภาพของขนมปัง	61
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปัง	67
ภาคผนวก ค ลักษณะของขนมปัง	69
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารอาหารในเมล็ดธัญพืช 100 กรัม	4
2.2 องค์ประกอบของแป้งสาลีชนิดต่างๆ (เปอร์เซนต์)	7
2.3 สเกลฮีโดนิกที่ใช้ในการทดสอบฮีโดนิก	19
2.4 สเกลพอดีที่ใช้ในการทดสอบสเกลพอดี	20
2.5 สเกลความตั้งซื้อที่ใช้ในการทดสอบความตั้งใจซื้อ	20
4.1 คุณลักษณะทางกายภาพของขนมปังผสมธัญพืช	33
4.2 สมบัติทางเนื้อสัมผัสของขนมปัง	45
4.3 ผลการวิเคราะห์ staling (ค่า springiness)	50
4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมปัง	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ถั่วแดง	3
2.2 ถั่วเขียว	5
2.3 เมล็ดลินิน	5
2.4 ขนมปัง	6
2.5 การเกิดกลูเตน	8
2.6 ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างกรดอะมิโน cysteine	10
2.7 เชื้อราที่เกิดขึ้นบนขนมปัง	14
2.8 ขนมปังที่เน่าเสียจากแบคทีเรีย	15
2.9 กลไกที่เกิดขึ้นในขนมปังระหว่างการเก็บรักษา	16
2.10 กระบวนการคืนตัวของแป้ง	17
2.11 แบบทดสอบสเกลรอยยิ้ม	20
2.12 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	22
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลา จากการทดสอบโดยเทคนิค Texture Profile Analysis	24
3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างขนมปัง	27
4.1 ผลของการผสมธัญพืชต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปัง	31
4.2 ผลของการผสมธัญพืชต่อความชื้นของขนมปัง	32
4.3 ผลของถั่วแดงต่อค่า hardness ของขนมปัง	34
4.4 ผลของถั่วแดงต่อค่า adhesiveness ของขนมปัง	35
4.5 ผลของถั่วแดงต่อค่า cohesiveness ของขนมปัง	35
4.6 ผลของถั่วแดงต่อค่า springiness ของขนมปัง	36
4.7 ผลของถั่วแดงต่อค่า gumminess ของขนมปัง	36
4.8 ผลของถั่วแดงต่อค่า chewiness ของขนมปัง	37
4.9 ผลของถั่วเขียวต่อค่า hardness ของขนมปัง	38
4.10 ผลของถั่วเขียวต่อค่า adhesiveness ของขนมปัง	38
4.11 ผลของถั่วเขียวต่อค่า cohesiveness ของขนมปัง	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ผลของถั่วเขียวต่อค่า springiness ของขนมปัง	39
4.13 ผลของถั่วเขียวต่อค่า gumminess ของขนมปัง	40
4.14 ผลของถั่วเขียวต่อค่า chewiness ของขนมปัง	40
4.15 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า hardness ของขนมปัง	41
4.16 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า adhesiveness ของขนมปัง	42
4.17 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า cohesiveness ของขนมปัง	42
4.18 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า springiness ของขนมปัง	43
4.19 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า gumminess ของขนมปัง	43
4.20 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า chewiness ของขนมปัง	44
4.21 ผลของการแช่เย็นขนมปังผสมถั่วแดงต่อค่า springiness ของขนมปัง	47
4.22 ผลของการแช่เย็นขนมปังผสมถั่วเขียวต่อค่า springiness ของขนมปัง	48
4.23 ผลของการแช่เย็นขนมปังผสมเมล็ดลินินต่อค่า springiness ของขนมปัง	49
4.24 คะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังผสมถั่วแดง	52
4.25 คะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังผสมถั่วเขียว	53
4.26 คะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังผสมเมล็ดลินิน	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาใส่ใจในด้านสุขภาพมากขึ้น ไม่ว่าจะด้วยวิธีการออกกำลังกายหรือการเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ซึ่งการเลือกบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) สูง เช่น ผัก ผลไม้ และธัญพืช เป็นหนึ่งในทางเลือกที่จะช่วยให้มีสุขภาพที่ดี เนื่องจากเส้นใยอาหารมีประโยชน์ต่อลำไส้ โดยจะช่วยกระตุ้นการขับถ่ายให้ดีขึ้น ป้องกันอาการท้องผูก และยังมีส่วนช่วยในการลดน้ำหนัก (วชิรา, 2553) ด้วยวิถีชีวิตที่เร่งรีบของคนเมือง เวลาในการเตรียมอาหารน้อยลง ผู้บริโภคส่วนหนึ่งหันไปรับประทานขนมปังแทน ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ขนมปังให้เลือกหลากหลายชนิด แต่ถ้าจะให้ดีกับสุขภาพควรเลือกรับประทานขนมปังโฮลวีทแทนขนมปังขาว เพราะจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ร่างกายจะค่อย ๆ ดูดซึมเพื่อเปลี่ยนแปลงมาใช้เป็นพลังงาน จึงไม่ส่งผลเสียต่อระบบจัดการน้ำตาลในเลือดอันเป็นสาเหตุของโรคเบาหวาน ทั้งยังมีเส้นใยอาหารซึ่งมีประโยชน์หลายประการดังได้กล่าวมา สำหรับธัญพืชที่มีเส้นใยอาหารสูง เช่น ถั่วแดง ถั่วเขียว และเมล็ดลินิน มีปริมาณใยอาหารต่อ 100 กรัม ประมาณ 24.9 16.3 และ 27.3 กรัม ตามลำดับ (USDA, 2015)

1.2 สมมติฐาน

การผสมเมล็ดธัญพืชที่มีกากใยอาหารสูงลงในขนมปัง จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง เนื่องจากกากใยอาหารที่แทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของขนมปัง จะทำให้พันธะของโปรตีนกลูเต็นในแป้งโดเกิดขึ้นได้น้อยลง

1.3 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาผลของเมล็ดลินิน ถั่วแดง และถั่วเขียว ต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณภาพของขนมปัง

2) เพื่อศึกษาผลของเมล็ดลินิน ถั่วแดง และถั่วเขียวต่อคุณภาพในด้านความไม่สด (staling) ของขนมปัง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาผลของเมล็ดลินิน, ถั่วแดง และถั่วเขียวต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง โดยใช้ธัญพืชในปริมาณ 20% 30% และ 40% ของน้ำหนักแป้ง

2) ศึกษาปัจจัยทางคุณภาพของขนมปัง ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) โดยเทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)

3) ศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธีการทดสอบแบบฮีโดนิกสเกล (Hedonic Test)

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถอธิบายผลของปริมาณเมล็ดลินิน, ถั่วแดง และถั่วเขียวต่อคุณภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

2) ทราบปริมาณที่มากที่สุดของธัญพืชทั้งสามชนิดที่สามารถผสมในขนมปัง โดยที่คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสยังอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยังยอมรับได้

3) อธิบายผลของการผสมเมล็ดธัญพืชทั้งสามชนิดต่อการเกิด staling

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธัญพืช

ธัญพืช (Cereal grains) เป็นเมล็ดจากพืชวงศ์ *Gramineae* และ *Poaceae* ซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรบนโลก ซึ่งจะมีการบริโภคเมล็ดธัญพืชแตกต่างกันออกไปตามแต่ละท้องถิ่น สำหรับเมล็ดธัญพืชบางชนิดนั้นสามารถรับประทานได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการแปรรูป ขัดสี หรือผ่านการขัดสีที่น้อยมาก แต่สำหรับเมล็ดธัญพืชบางชนิดที่มีเปลือกแข็งจึงจำเป็นต้องผ่านการขัดสีหรือการแปรรูปก่อนนำมาบริโภค สำหรับเมล็ดธัญพืชที่สามารถรับประทานได้เลยมีตัวอย่างเช่น เมล็ดลินิน (Flax seed) และถั่วเมล็ดแห้งซึ่งมีโปรตีนสูง เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง เป็นต้น และเนื่องจากธัญพืชเหล่านี้ผ่านการขัดสีที่น้อยมากจึงสูญเสียสารอาหารที่สำคัญทางโภชนาการไปน้อยมาก ส่งผลให้เหมาะแก่การนำมาบริโภคทั้งโดยตรง และโดยทางอ้อม เช่น เพิ่มลงในอาหารอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณค่า เป็นต้น

2.1.1 ถั่วแดง

ถั่วแดง (Red Kidney bean) ดังแสดงในรูป 2.1 เป็นพืชตระกูลถั่วที่มีปมที่รากสำหรับช่วยในการจับไนโตรเจนจากอากาศมาใช้เป็นอาหาร นิยมปลูกตามพื้นที่สูงทางภาคเหนือที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย น่าน และแม่ฮ่องสอน เป็นต้น (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งหมาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559) โดยถั่วแดงเป็นธัญพืชที่มีโปรตีน และคุณค่าทางอาหารสูง โดยองค์ประกอบที่สำคัญของถั่วแดง ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดต ไขมัน และน้ำ ร้อยละ 25.33 58.33 0.45 และ 11.9 ตามลำดับ (คุณค่าทางโภชนาการแสดงไว้ในตารางที่ 2.1)

รูปที่ 2.1 ถั่วแดง (นิรนาม2, 2559)

ทั้งนี้ศาสตราจารย์ มาร์ค บริค (Prof. Mark Brick) ผู้ศึกษาด้านการใช้ประโยชน์จากถั่วในการป้องกันโรคจากมหาวิทยาลัยโคโลราโด (Colorado State University) ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความเห็นว่า กินโปรตีนจากถั่วแดงร่วมกับถั่วหลากชนิดบ่อยครั้งแทนโปรตีนจากเนื้อสัตว์จะทำให้น้ำหนักตัวลดลงพร้อมช่วยป้องกันปัญหาสุขภาพระยะยาวได้ เนื่องจากถั่วแดงมีใยอาหารสูง ช่วยดูดซับน้ำ และพองตัวได้ดี ทำให้การย่อยและดูดซึมอาหารช้าลง จึงรู้สึกอิ่มนาน กินจุบจิบลดลง ส่งผลให้น้ำหนักตัวลดตามลงมา (ธิษณา, 2559) อีกทั้งยังมีประโยชน์อีกมากมาย เช่น บำรุงระบบประสาท บำรุงลำไส้ ลดอาการบวมน้ำ ปรับสภาพเลือด บำบัดอาการประจำเดือนมาผิดปกติ เป็นต้น สำหรับอาหารที่นิยมนำถั่วแดงมาปรุงนั้น ได้แก่ ซุปถั่วแดง ถั่วแดงต้มน้ำตาล ขนมปังไส้ถั่วแดง ถั่วแดงต้มโรยบนสลัด เป็นต้น (ฉัตรภา, 2559)

ตารางที่ 2.1 สารอาหารในเมล็ดธัญพืช 100 กรัม

สารอาหาร	ถั่วเขียว	ถั่วแดง	เมล็ดลินิน
โปรตีน (g)	23.86	24.37	18.29
ไขมัน (g)	1.15	0.25	42.16
คาร์โบไฮเดรต (g)	62.62	59.8	28.88
เส้นใยอาหาร (g)	16.3	24.9	27.3
แคลเซียม (mg)	132	195	255
โซเดียม (mg)	15	11	30
คอลเรสเตอรอล (mg)	0	0	0
พลังงาน (kcal)	300	330	534

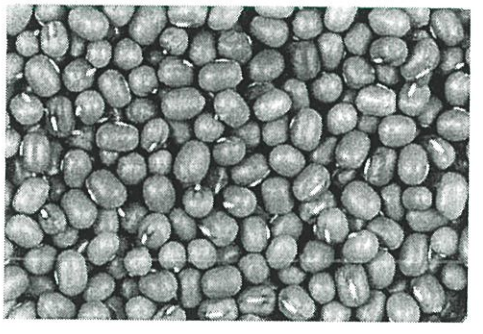
ที่มา: National Agricultural Library, 2559

2.1.2 ถั่วเขียว

ถั่วเขียว (green bean) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Vigna radiata L.* อยู่ในวงศ์ *Leguminosae* มีถิ่นกำเนิดอยู่ที่ประเทศอินเดีย ลักษณะของถั่วเขียวจะมีสีเปลือกเป็นสีเขียว และเนื้อเป็นสีเหลือง ดังรูป 2.2 โดยองค์ประกอบทางโภชนาการที่สำคัญของถั่วเขียวนั้นประกอบไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดต ไขมัน และน้ำ ร้อยละ 23.86 62.62 1.15 และ 9.05 ตามลำดับ (คุณค่าทางโภชนาการแสดงไว้ใน

ตารางที่ 2.1) นอกจากนี้ถั่วเขียวยังมีเส้นใยอาหารสูงซึ่งเป็นส่วนที่ดีเพราะทำให้อิ่มเร็วและดูดซึมไขมันและน้ำตาลได้ จึงเหมาะกับผู้ที่ต้องการลดความอ้วน (Fon, 2559)

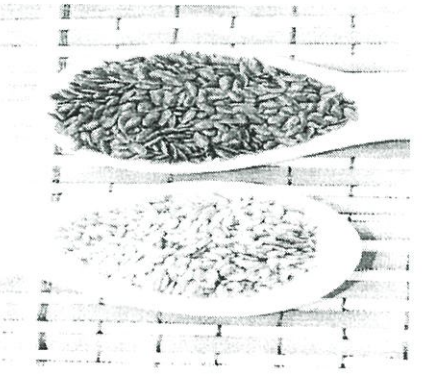
โดยถั่วเขียวนั้นจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย เนื่องจากเป็นพืชที่มีการส่งออกสูงที่สุดในโลกในระยะกว่า 10 ปีที่ผ่านมา ซึ่งเฉลี่ยมูลค่าได้ปีละประมาณ 1,500 ล้านบาท นอกจากนี้เกษตกรบางแห่งยังนิยมปลูกถั่วเขียวแซมกับพืชชนิดอื่นด้วย เนื่องจากในปมรากถั่วเขียวมีแบคทีเรียจำพวก *rhizobium spp.* เข้าไปอาศัยอยู่และสามารถตรึงเอาไนโตรเจนจากอากาศ มาสร้างเป็นสารประกอบไนโตรเจนซึ่งใช้เป็นสารอาหารของพืชได้นั่นเองนอกจากนี้ในตำราแพทย์แผนจีนยังได้กล่าวถึงสรรพคุณทางยาของถั่วเขียวไว้มากมาย เช่น ขับปัสสาวะ รักษาฝี แก้ร้อนในกระหายน้ำ ตาอักเสบ อาเจียน เป็นต้น (ไชยา, 2539)



รูปที่ 2.2 ถั่วเขียว (นิรนาม3, 2559)

2.1.3 เมล็ดลินิน

เมล็ดลินิน (Flax seed) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Linum usitatissimum L.* อยู่ในวงศ์ *Linaceae* ลักษณะของเมล็ดลินินนั้นจะคล้ายคลึงกับงา แต่มีขนาดใหญ่กว่า ดังรูป 2.3



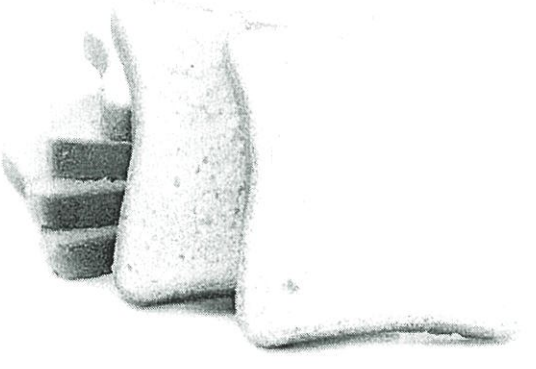
รูปที่ 2.3 เมล็ดลินิน (นิรนาม4, 2559)

เมล็ดลินินนั้นจะมีสายพันธุ์หลัก ๆ อยู่ 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สีน้ำตาล และพันธุ์สีทอง โดยมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบบริเวณตะวันออกของทะเลเมดิเตอร์เรเนียนและเอเชียตะวันตก สำหรับองค์ประกอบทางโภชนาการที่สำคัญของเมล็ดลินินนั้นประกอบไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และน้ำ ร้อยละ 18.29 28.88 42.16 และ 6.96 ตามลำดับ (คุณค่าทางโภชนาการแสดงไว้ในตารางที่ 2.1) นอกจากนี้เมล็ดลินินยังอุดมไปด้วยวิตามิน A B C D และ E รวมไปถึงเกลือแร่ต่าง ๆ และยังมีโปรตีนเกือบทุกชนิดที่ร่างกายต้องการ

ทั้งนี้มหาวิทยาลัยดุ๊ก (Duke University) มีผลวิจัยว่าเมล็ดลินินในการดูแลผู้ป่วยมะเร็งเต้านมและมะเร็งต่อมลูกหมาก เนื่องจากเมล็ดลินินสามารถหยุดยั้งการเจริญเติบโตของมะเร็งต่อมลูกหมาก ลดความรุนแรงของเบาหวาน ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดคงที่ (Ivory, 2015) นอกจากนี้เมล็ดลินินยังมีประโยชน์อื่น ๆ อีกเช่น ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ ช่วยระบบขับถ่าย บำรุงตับ เป็นต้น (นิรนาม4, 2559)

2.2 ขนมปัง

ขนมปัง (Bread) เป็นอาหารที่เกิดจากการนำเอาแป้งสาลี น้ำ และยีสต์ หรือผงฟู รวมไปถึงส่วนผสมอื่น ๆ ที่ใส่เพื่อปรุงแต่ง สี กลิ่นและรสชาติ ซึ่งจะใส่แตกต่างกันออกไปตามขนมปังแต่ละชนิด จากนั้นนำมานวดผสมให้เข้ากันและนำไปอบ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อน ภายในเป็นรูพรุน ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งหากใช้ส่วนผสมที่ต่างกันก็จะให้ลักษณะของขนมปังที่ได้ไม่เหมือนกัน ส่งผลให้เกิดเป็นขนมปังชนิดต่าง ๆ เช่น ขนมปังหวาน ขนมปังไรน์ ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังโฮลวีท เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ขนมปัง

2.2.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของขนมปัง

- แป้งสาลี

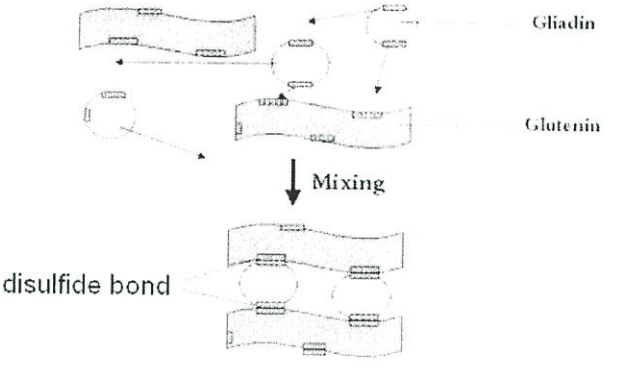
แป้งสาลีจัดเป็นส่วนพื้นฐานที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด โดยในแป้งสาลีนั้นมีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน น้ำ ซึ่งสัดส่วนนั้นจะแตกต่างกันตามชนิดของแป้งสาลี ดังตารางที่ 2.2 โดยแป้งสาลีนั้นประกอบด้วยโปรตีนสำคัญอยู่ 2 ชนิดได้แก่ กลูเตนินและไกลอะดิน ซึ่งเมื่อนำแป้งสาลีมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้โปรตีนทั้งสองชนิดนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยกลูเตนินจะทำให้โครงสร้างแข็งแรง และไกลอะดินจะกลายเป็นสารที่อ่อนและมีลักษณะที่ยืดหยุ่นได้ดี

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแป้งสาลีชนิดต่าง ๆ (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดของแป้งสาลี	น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต
แป้งสาลีทั้งรำ (whole wheat)จากข้าวสาลีชนิดแข็ง	12	13.3	2.0	71.0
แป้งรวมจากทุกขั้นโม่ (Straight) จากข้าวแข็ง	12	11.8	1.2	74.5
แป้งรวมจากทุกขั้นโม่จากข้าวชนิดอ่อน	12	9.7	1.0	76.9
แป้งเอนกประสงค์	12	10.5	1.0	76.1
แป้งเค้ก	12	7.5	0.8	79.4

ที่มา: ศิริลักษณ์, 2525

เมื่อโปรตีนกลูเตนินและไกลอะดินมารวมตัวกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) จะทำให้เกิดกลูเตน ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งมีลักษณะยืดหยุ่นได้ดีเนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีนไกลอะดิน และสามารถกักเก็บก๊าซที่ขึ้นฟูไว้ได้เนื่องจากคุณสมบัติความแข็งแรงของโปรตีนกลูเตนินนั่นเอง



รูปที่ 2.5 การเกิดกลูเตน (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

- น้ำ

น้ำจัดเป็นหนึ่งในส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากน้ำมีหน้าที่รวมตัวกับโปรตีนในแป้งสาลีทำให้เกิดกลูเตน นอกจากนั้นยังช่วยละลายส่วนผสมอื่น ๆ เช่น เกลือ น้ำตาล ให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ช่วยกระจายยีสต์ในการหมักก้อนแป้งโด และทำให้แป้งสตาร์ชเกิดการพองตัวอีกด้วย นอกจากนี้หากใช้น้ำที่มีคุณภาพต่างกันก็จะทำให้คุณสมบัติของก้อนแป้งโดนั้นต่างกันด้วย เช่น น้ำที่มีฤทธิ์เป็นเบสมากเกินไปจะขัดขวางการทำงานของยีสต์ให้แย่ลง เป็นต้น

- ยีสต์

ยีสต์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เป็นพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* โดยมีหน้าที่สำคัญ ได้แก่ ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู ช่วยทำให้เกิดรสชาติในผลิตภัณฑ์ ช่วยในด้านการเปลี่ยนรูปร่างและความหนืดของก้อนแป้งโด ซึ่งผลต่าง ๆ นี้เกิดขึ้นจากการหมักตัวของยีสต์กับน้ำตาลในส่วนผสม ซึ่งมีสมการการหมักดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CO_2 + 2C_2H_5OH \qquad (2.1)$$

ความเร็วในการหมักของยีสต์นั้นจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ แต่ถ้าหากอุณหภูมิสูงกว่า 41 °C จะทำให้การหมักช้าลง และยีสต์จะสามารถทำงานได้ดีที่สุดในช่วงที่ก้อนแป้งโดมีอุณหภูมิ 38 °C นอกจากนี้ยีสต์มีสามารถในการทำงานได้ในทช่วง pH ที่กว้าง แต่จะทำงานได้ดีที่สุดในช่วง pH 4.0 – 6.0 ซึ่งในช่วงนี้เป็นช่วงที่ก้อนแป้งโดขึ้นฟูด้วยยีสต์นั่นเอง

สำหรับยีสต์ที่ใช้การทำเบเกอรี่นั้นมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ 1) ยีสต์สด เป็นยีสต์ที่ผลิตขึ้นโดยการเลี้ยงแบบอัดรวมกันกับอาหารของยีสต์ซึ่งเปียกและเป็นก้อนแข็ง จากนั้นจึงนำมาห่อด้วยวัสดุที่กันน้ำได้เช่น กระดาษตะกั่ว หรือ ถุงพลาสติก เป็นต้น โดยยีสต์สดนั้นจะมีความชื้นอยู่ประมาณ 70% และควรเก็บไว้ในตู้เย็นเนื่องจากการทำงานของยีสต์จะช้าลงที่อุณหภูมิต่ำ ยีสต์สดเป็นยีสต์ที่มีราคาถูกและให้กลิ่นรสที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร 2) ยีสต์แห้งชนิดเม็ด เป็นยีสต์ที่ผลิตขึ้นโดยการนำเอายีสต์สดมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ จนมีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 8% มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ ควรเก็บไว้ในที่แห้งและเย็น 3) ยีสต์แห้งชนิดผง สำหรับยีสต์ชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับยีสต์ชนิดเม็ดแต่จะเป็นผงละเอียดกว่า มีความสามารถในการหมักสูง และมีความพิเศษกว่ายีสต์ชนิดอื่นตรงที่ไม่ต้องละลายน้ำก่อนใช้ สามารถผสมได้โดยตรงทันทีกับส่วนผสมอื่น ๆ

ทั้งนี้ยีสต์ทั้งสามชนิดมีอัตราในการหมักและกลิ่นรสที่ต่างกัน โดยยีสต์สดนั้นจะมีอัตราการหมักต่ำที่สุดแต่ให้กลิ่นรสดีที่สุด ยีสต์แห้งชนิดผงนั้นจะมีอัตราการหมักสูงที่สุดแต่ให้กลิ่นรสน้อยที่สุด และยีสต์แห้งชนิดเม็ดนั้นมีอัตราการหมักและกลิ่นรสอยู่ในระดับปานกลางของยีสต์สดและยีสต์แห้งชนิดผง

- น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติคือ เป็นผลึก มีรสหวานและสามารถละลายน้ำได้ดี โดยจัดอยู่ในสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต สำหรับน้ำตาลที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้นจะเป็นน้ำตาลทรายละเอียด มีหน้าที่คือเป็นอาหารให้กับยีสต์ในกระบวนการหมัก แต่ถ้าใช้น้ำตาลในปริมาณสูงเกินไปจะทำให้เป็นการขัดขวางกระบวนการหมักแทนเนื่องจากผลของแรงดันออสโมติค (Osmotic pressure) ที่เกิดขึ้นต่อเซลล์ยีสต์

- เกลือ

เกลือเป็นแร่ธาตุซึ่งส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือเกลือแกง สำหรับเกลือที่ใส่ลงในขนมปังนั้นมีหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการหมักไม่ให้มีอัตราการหมักที่สูงจนเกินไปโดยใช้ผลจากแรงดันออสโมติค ซึ่งหากไม่ใส่เกลือลงไปเลยจะทำให้กระบวนการหมักนั้นเกิดขึ้นเร็วเกินไป ส่งผลทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่หยาบ และรสชาติของขนมปังที่ได้นั้นจะจืดชืด

- ไขมัน

ไขมันที่นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้น ผลิตมาจากทั้งพืชและสัตว์ โดยตัวอย่างไขมันที่ได้จากสัตว์ เช่น เนยสด และตัวอย่างไขมันที่ได้จากพืช เช่น มะพร้าว งา ปาล์ม เป็นต้น สำหรับไขมันมีหน้าที่ช่วยหล่อลื่นเนื้อกลูเตนทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นในการหมักสามารถแพร่กระจายและขยายตัว

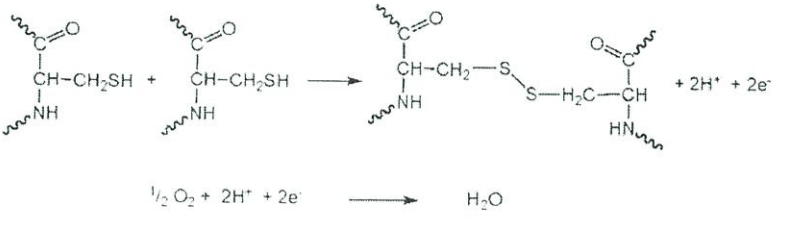
ได้สะดวกขึ้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื้อของขนมปังดีขึ้น สำหรับไขมันที่ใช้ในขนมปังควรเป็นไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เนื่องจากจะทำให้ยืดอายุการเก็บให้นานขึ้น

2.2.2 กระบวนการผลิตขนมปัง

- การผสม

การผสมคือการนำส่วนประกอบต่าง ๆ มาทำให้เกิดการรวมตัวและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยเริ่มแรกของการผสมส่วนผสมบางส่วนจะเกาะกันเป็นก้อน และบางส่วนจะมีลักษณะแฉะและหยาบ เมื่อดึงขึ้นมาจะเหนียวติดมือ ในเวลาต่อมาส่วนผสมต่าง ๆ จะเริ่มรวมตัวกันเป็นก้อนมากขึ้น และเมื่อทำการผสมต่อไปเรื่อย ๆ จะทำให้ได้ก้อนแป้งที่มีลักษณะเรียบเนียน มีความยืดหยุ่น เมื่อดึงขึ้นมาไม่เหนียวติดมือและสามารถแผ่ออกเป็นแผ่นบางได้ โดยเราจะเรียกก้อนแป้งที่มีลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่า ก้อนแป้งโด

การผสมสำหรับในการทำขนมปังมีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อให้ส่วนประกอบต่าง ๆ เข้ากันและทำให้เกิดกลูเตน เนื่องจากแป้งสาลีจะประกอบไปด้วยโปรตีนกลูเตนิน และไกลอะดินในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน เมื่อเริ่มการผสมน้ำจะค่อย ๆ แพร่เข้าไปในเม็ดแป้งอย่างช้า ๆ ทำให้โปรตีนกลูเตนิน และไกลอะดิน เกิดพันธะไดซัลไฟด์จากปฏิกิริยารีด็อกซ์ (Redox reaction) ระหว่างกรดอะมิโน cysteine ของโปรตีนทั้งสองชนิด ดังรูปที่ 2.6 นอกจากนี้โปรตีนทั้งสองชนิดยังสามารถเกิดแรงระหว่างโมเลกุลได้อีกด้วยเนื่องจากพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นพันธะนอนโควาเลนท์ (non-covalent bond) โดยจะเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างกรดอะมิโน glutamic และ poline ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนทั้งสองชนิดทำให้แป้งโดมีความแข็งแรง คงตัว และไม่ยุบตัว และการเกิดแรงระหว่างโมเลกุลดังกล่าวสามารถผันกลับได้ ทำให้เมื่อหยุดนวดแป้งแล้วพักส่วนผสมไว้ ส่วนผสมจะคลายตัว แต่เมื่อกลับมานวดใหม่อีกครั้งก็จะทำให้ส่วนผสมมีความแข็งแรง เหนียว และยืดหยุ่นดังเดิม



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยารีด็อกซ์ระหว่างกรดอะมิโน cysteine (Klaus, 2559)

โดยการผสมนั้นควรจะหยุดเมื่อได้ลักษณะของแป้งโดที่เหมาะสมดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งหากได้แป้งโดที่มีลักษณะเหมาะสมแล้วยังทำการผสมต่อจะทำให้แป้งโดนั้นเริ่มเหลว และมีอุณหภูมิภายในสูงขึ้น ทำให้เมื่อดึงขึ้นมาจะติดมือ ซึ่งทำให้แป้งโดขาดได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องมาจากการผสมที่นานเกินไปจะทำให้กลูเตนภายในแป้งโดเกิดการฉีกขาด ส่งผลทำให้ขนมปังที่ได้มีปริมาตรต่ำ เนื่องมาจากการกักเก็บก๊าซต่ำเพราะโครงสร้างของกลูเตนภายในแป้งโดฉีกขาด

- การหมัก

หลังจากทำการผสมจนได้ก้อนแป้งโดที่มีลักษณะเหมาะสมแล้ว จะต้องหมักก้อนแป้งโดทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจสังเกตได้จากก้อนแป้งโดจะมีปริมาตรประมาณสองเท่าจากเดิม โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการหมักคือ 30 °C ซึ่งหากมีอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ ยีสต์จะสามารถเจริญได้ดีขึ้น แต่จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการก็จะสามารถเจริญได้ดีขึ้นด้วย โดยปกติแล้วในระหว่างการหมักนั้นจะต้องป้องกันไม่ให้ผิวหน้าแป้งโดแห้ง อาจทำโดยนำไปหมักในที่ที่มีอากาศชื้นหรือใช้แผ่นพลาสติกคลุมปิดภาชนะที่ใช้หมัก และอีกหนึ่งวิธีที่สามารถใช้ทดสอบแป้งโดที่หมักว่ามีลักษณะที่เหมาะสมนั้นก็คือ ใช้นิ้วมือกดลงไปเล็กน้อย หากแป้งโดที่หมักเหมาะสมแล้วจะเห็นได้ว่ารอยกดจะหายไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแป้งโดมีความยืดหยุ่น แต่ทั้งนี้ระยะเวลาสำหรับการหมักนั้นก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของยีสต์ น้ำตาล เกลือ โครงสร้างของกลูเตน และอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักด้วย

นอกจากยีสต์จะช่วยให้ขึ้นฟูในการหมักแล้ว ยีสต์ยังมีส่วนช่วยในเรื่องกลิ่นรสของขนมปังอีกด้วยส่งผลทำให้ขนมปังที่ผลิตนั้นมีกลิ่นรสที่เฉพาะตัว โดยมีสาเหตุเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักที่นอกเหนือจาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทานอล นั่นก็คือกรดอินทรีย์ ซึ่งในการหมักได้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้นอีกหลายชนิด เช่น กรดแลคติก กรดแอซีติก กรดบิวทีริก เป็นต้น ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับเอทานอลจะทำให้ได้สารประกอบเอสเตอร์ ชนิดต่าง ๆ เช่น Acetaldehyde, Furfural, Benzaldehyde เป็นต้น ซึ่งสารประกอบเอสเตอร์เหล่านี้เป็นสารที่ทำให้ขนมปังนั้นมีกลิ่นเฉพาะตัว นอกจากนั้นปริมาณของยีสต์ยังส่งผลต่อสีของเปลือกขนมปังอีกด้วย เนื่องจากยีสต์จะย่อยแป้งและน้ำตาลในระหว่างการหมัก โดยแป้งจะถูกย่อยเป็นน้ำตาลเดกซ์ทริน ซึ่งเมื่อถูกความร้อนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไรเซชัน ซึ่งเป็นหนึ่งในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

หลังจากที่ได้แป้งโดที่หมักจนได้ที่แล้วจะต้องนำแป้งโดนั้นมากดไล่อากาศออกสาเหตุเพื่อ 1) ไล่อากาศที่อยู่ภายในแป้งโด 2) ทำให้อุณหภูมิภายในมีความสม่ำเสมอกันทั่วทั้งก้อน 3) เพื่อทำให้ยีสต์และส่วนผสมนั้นได้กระจายตัวใหม่และมีความสม่ำเสมอกันมากขึ้น 4) เพื่อกระจายโพรงอากาศให้สม่ำเสมอกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อเนื้อของขนมปังในภายหลังการอบเสร็จสิ้น

หลังจากกดไล่อากาศแล้ว จะต้องนำแป้งโดมาตัดแบ่งให้ได้ขนาด แล้วจึงจัดวางลงในพิมพ์ขนมปัง จากนั้นนำแป้งโดมาหมักอีกครั้ง ซึ่งมีปฏิกิริยาการหมักเหมือนการหมักครั้งแรก แต่จะเป็นไปเร็วกว่า เนื่องจากมียีสต์อยู่ในแป้งโดมากกว่าการหมักครั้งแรก โดยสำหรับการหมักในครั้งนี้จะหมักจนแป้งโดมีปริมาตรประมาณ 3 ใน 4 ของพิมพ์ขนมปัง

- การอบ

สำหรับในระหว่างการอบนั้นแป้งโดจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเนื่องมาจากอากาศที่อยู่ภายในแป้งโดนั้นขยายตัวทำให้โครงสร้างของกลูเตนถูกเหยียดออก เป็นผลทำให้ปริมาตรของแป้งโดเพิ่มสูงขึ้น และขนมปังสุก สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของขนมปังด้วย เช่น ขนมปังขาว จะใช้อุณหภูมิในการอบอยู่ที่ 204 – 232 °C แต่ขนมปังหวานนั้นจะใช้อุณหภูมิเพียง 177 – 191 °C สาเหตุเนื่องจากขนมปังหวานนั้นประกอบด้วยน้ำตาลปริมาณสูง หากใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้เปลือกนอกของขนมปังนั้นไหม้ก่อนที่เนื้อข้างในจะสุก เป็นต้น แต่ทั้งนี้หากใช้อุณหภูมิที่ต่ำเกินไป จะทำให้โปรตีนเกิดการแข็งตัว และเม็ดแป้งจะพองตัวได้ช้า ซึ่งจะส่งผลทำให้เนื้อของขนมปังเสียไป และถ้าหากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ขนมปังนั้นสามารถเพิ่มปริมาตรได้น้อยลง เนื่องมาจากขนมปังเกิดกะโหลกเร็วเกินไป

ในขั้นตอนการอบนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้ ในระยะแรกจะเป็นช่วงที่ขนมปังมีการขยายตัวมากที่สุด สาเหตุเนื่องจากก๊าซภายในแป้งโดจะขยายตัวอย่างรวดเร็ว และยีสต์จะถูกเร่งให้ทำงานเร็วขึ้นภายใต้อุณหภูมิการอบที่สูง ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก โดยการขยายตัวอย่างรวดเร็วของแป้งโดในระยะนี้อาจเรียกอีกอย่างว่า การดีดฟูในเตาอบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของโครงสร้างกลูเตนและการขยายตัวของก๊าซ นอกจากนั้นยีสต์จะถูกทำลายลงในระยะนี้ โดยอุณหภูมิใจกลางของขนมปังที่จะสามารถทำลายยีสต์ทั้งหมดภายใน 10 นาที คืออุณหภูมิประมาณ 60 °C

ในระยะที่สองของการอบนั้นจะกินเวลากว่าครึ่งของระยะเวลาอบทั้งหมด และอุณหภูมิใจกลางของขนมปังจะสูงถึงประมาณ 98 – 99 °C โดยในระยะนี้โปรตีนกลูเตนจะเกิดการแข็งตัว และเม็ดแป้งจะมีการขยายตัวขึ้นในระหว่างการอบ โดยระดับการขยายตัวของเม็ดแป้งนั้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ใช้ และอุณหภูมิใจกลางของขนมปัง

ในระยะสุดท้ายของการอบ โครงสร้างภายในของขนมปังจะเริ่มคงที่ พื้นผิวหน้าของขนมปังจะแห้งและมีสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลาร์ด (Maillard reaction) โดยระดับความเป็นสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมของขนมปัง เช่น ถ้าในสูตรขนมปังไม่มีการใช้นมผงและใช้น้ำตาลน้อย ขนมปังที่ได้ก็จะมีสีน้ำตาลอ่อน เป็นต้น

ในระหว่างการอบจะมีการระเหยเกิดขึ้น ซึ่งการระเหยนี้จะส่งผลทำให้ความชื้นภายในขนมปังลดลงจากประมาณ 45% เป็น 35% และการระเหยที่เกิดขึ้นระหว่างการอบจะมีลักษณะคือ น้ำจากผิวนอกจะระเหยออกไปก่อนจากนั้นน้ำภายในขนมปังจึงจะถูกส่งขึ้นมาผิวหน้าและระเหยออกไป จึงส่งผลทำให้เนื้อขนมปังมีความชื้นสูงกว่าผิวขนมปังนั่นเอง

2.2.3 ลักษณะของขนมปังที่มีคุณภาพ

- ลักษณะภายนอก

ลักษณะภายนอกของขนมปังนั้นสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า โดยขนมปังที่มีลักษณะที่ดีนั้นจะต้องมีปริมาตรไม่มากหรือน้อยจนเกินไป รูปร่างเสมอกันทั้งสองด้าน สีของเปลือกนอกเป็นสีน้ำตาลแดง สำหรับปริมาตรของขนมปังนั้นสามารถควบคุมได้จากการปรับสภาพของโดที่มีโครงสร้างของกลูเตนที่ถูกต้อง ทำให้เกิดก๊าซขึ้นในระหว่างอบ นอกจากนั้นในการพักตัวครั้งสุดท้ายจะต้องมีสภาวะที่เหมาะสม มีอุณหภูมิและความชื้นที่ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป ปริมาตรของขนมปังเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากหากขนมปังที่ได้มีขนาดที่เล็กจะทำให้ขนมปังดูไม่น่าทานและไม่ดึงดูดลูกค้าเท่ากับขนมปังที่มีขนาดใหญ่ และรูปร่างที่เสมอกันทั้งสองด้านนั้นเกิดจากโดที่มีการหมัก การขึ้นรูป และการพักตัวครั้งสุดท้ายที่เหมาะสม โดยขนมปังที่มีรูปร่างที่ไม่ดีนั้นอาจเกิดจากการใช้พิมพ์ที่ไม่เหมาะสมกับน้ำหนักของขนมปัง (Malinee139, 2559)

- ลักษณะภายใน

ลักษณะภายในของขนมปังนั้นสามารถสังเกตได้หลายวิธี เช่น รส กลิ่น หรือสีของเนื้อขนมปัง โดยเนื้อขนมปังภายในควรมีลักษณะเป็นมันเงา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่ใช้ คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณน้ำ เกลือและไขมันที่ผสมลงไปด้วย นอกจากนี้วิธีการหมักและนวดที่ถูกต้องจะช่วยทำให้ลักษณะภายในของขนมปังนั้นออกมาดีด้วย โดยความมันเงานั้นสามารถสังเกตได้โดยการทำการตัดแบ่งขนมปังและนำไปสังเกตในที่ที่สว่าง หากผิวหน้าของขนมปังสะท้อนแสงกลับมาจะเรียกว่าเนื้อขนมปังนั้นมีความมันเงา (นูรีน และคณะ, 2556)

ลักษณะภายในที่สำคัญของขนมปังอีกอย่างหนึ่งคือ รสและกลิ่น โดยปัจจัยที่จะมีผลต่อรสและกลิ่นนั้นมีอยู่หลายประการ ตัวอย่างเช่น วัตถุดิบที่มีคุณภาพจะทำให้ได้กลิ่นรสที่ดีกว่า และกระบวนการผลิต เช่น ในกระบวนการหมักหากหมักแป้งโดทิ้งไว้นานเกินไปจะทำให้เกิดกลิ่นยีสต์ที่แรงเกินไปและมีรสเปรี้ยวเกิดขึ้น แต่ถ้าหากหมักได้พอดีจะทำให้ได้กลิ่นของขนมปังที่ดี เนื้อภายในของขนมปังจะเรียบเนียน และมีความยืดหยุ่นที่ดี เป็นต้น (เพ็ญพิชญา และคณะ, 2547)

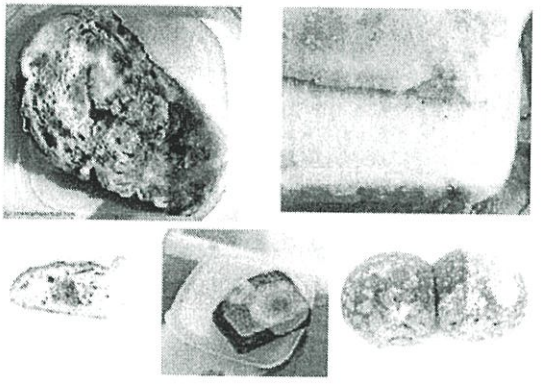
2.2.4 การเสื่อมเสียของขนมปัง

การเสื่อมเสียของขนมปัง คือการเสื่อมหรือการลดลงของคุณภาพของขนมปัง ทางด้านกายภาพจะทำให้สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส มีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ทำให้ขนมปังนั้นไม่เป็นที่ต้องการ ไม่ปลอดภัย หรือการไม่ยอมรับของผู้บริโภค การเสื่อมเสียทั่วไปมี 3 สาเหตุใหญ่ๆ คือ การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์ การเสื่อมเสียทางกายภาพ การเสื่อมเสียทางเคมี

- การเสื่อมเสียทางจุลินทรีย์

เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีอยู่ทั่ว ๆ ไปในดิน อากาศ น้ำ เครื่องมือเครื่องใช้ วัตถุดิบที่ใช้ รวมทั้งผู้ปฏิบัติงาน ขนมปังเสื่อมเสียจากเชื้อราและแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่

การเสื่อมเสียจากเชื้อรา มักจะเกิดขึ้นจากการปนปนเปื้อนภายหลังจากการอบให้สุกแล้ว เช่น การปนเปื้อนของสปอร์เชื้อราในอากาศจากมือหั่นขนมปัง หรือการห่อขนมในขณะที่ยังอุ่นอยู่ หรือการเก็บขนมไว้ในที่ที่มีอากาศอบอุ่นและมีความชื้นสูง นอกจากนั้นแล้วอาจเกิดจากการเสื่อมเสียของวัตถุดิบก่อนนำมาทำผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะแป้งสาลีที่มีการปนเปื้อนของเชื้อรา ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่ด้อยคุณภาพ และมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ตัวอย่างของเชื้อรา เช่น *Rizopus nigricacs, P. stoloniferm, Aspergillus niger* และ*Monilia* เป็นต้น

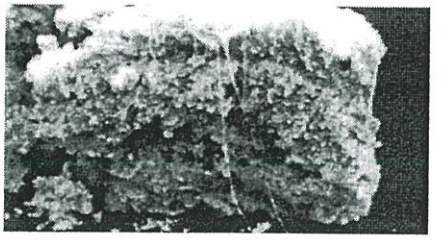


รูปที่ 2.7 เชื้อราที่เกิดขึ้นบนขนมปัง (จิตธนา, 2541)

การเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย ในขนมปังแบคทีเรียจะปนมาในรูปของสปอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียที่ปนอยู่ โดยแบคทีเรียที่เจริญเติบโตในขนมปังจะทำลายสารโปรตีนและแป้งในขนมปัง ส่งผลให้ขนมปังมีกลิ่นและรสผิดปกติ หรือทำให้สีของเนื้อภายในขนมปังเปลี่ยนไป โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากวัตถุดิบที่ไม่สะอาด มีเชื้อปนเปื้อน ตัวอย่างของเชื้อแบคทีเรียเช่น *Bacillus subtilis*

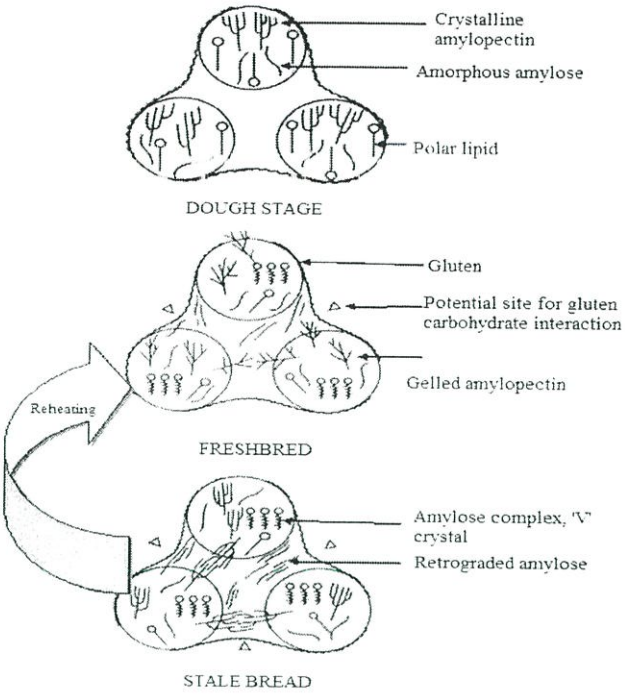
- การเสื่อมเสียทางกายภาพ

การสูญเสียความชื้นจะเกิดขึ้นตลอดเวลาหลังจากการอบโดยการสูญเสียความชื้นจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในขณะนั้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูง การสูญเสียความชื้นจะน้อย แต่ถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ การสูญเสียความชื้นจะเกิดมาก โดยขนมปังที่มีความชื้นมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ยังถือว่าเป็นขนมปังคุณภาพดีเป็นไปตามมาตรฐาน (Czuchajowska *et al*., 1988)



รูปที่ 2.8 ขนมปังที่เน่าเสียจากแบคทีเรีย (จิตธนา, 2541)

- การเสื่อมเสียทางเคมี ทำให้เกิดการแห้งในขนมปัง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในส่วนประกอบของแป้ง โดยขณะทำการอบเม็ดแป้งจะเกิดเจลาติไนซ์ คือเป็นเจลและคุณสมบัติของเจลจะไม่เปลี่ยนแปลง หากเก็บขนมปังในที่ที่มีอุณหภูมิมากกว่า 55 องศาเซลเซียส แต่การเก็บขนมปังที่อุณหภูมิต่ำกว่า 55 องศาเซลเซียส จะทำให้เจลเปลี่ยนคุณสมบัติเป็นแข็งขึ้น และขับน้ำออกจากเจล เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพกตินจะเคลื่อนเข้ามาเกาะกันเองบางส่วน และโมเลกุลของอะไมโลสเคลื่อนที่เข้ามาเกาะกับส่วนกิ่งของโมเลกุลอะไมโลเพกตินบนผิวของเม็ดแป้ง เกิดปรากฏการณ์ที่เม็ดแป้งเข้ามาจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน ระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดร่างแหสามมิติโดยโครงสร้างใหม่ของเม็ดแป้งที่สามารถอุ้มน้ำได้และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาในโมเลกุลอีก เรียกว่า การเกิดการคืนตัวของแป้ง โดยกลไกเกิดการคืนตัวของแป้งดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สดของขนมปัง (Staling) (Anoosaya *et al*, 2010; Felicidad and Roos, 2011) จะส่งผลให้ความหนาแน่นเนื้อ (Firminess) ความแข็งกระด้าง (Hardness) และความร่วน (Crumbliness) เพิ่มขึ้น ความกรอบของเปลือกขนมปังลดลง และสูญเสียกลิ่นหอมหวานและรสชาติไป (Noël Haegens, 2015)



รูปที่ 2.9 กลไกที่เกิดขึ้นในขนมปังระหว่างการเก็บรักษา (E-Krishi, 2016)

2.3 ความไม่สดของขนมปัง

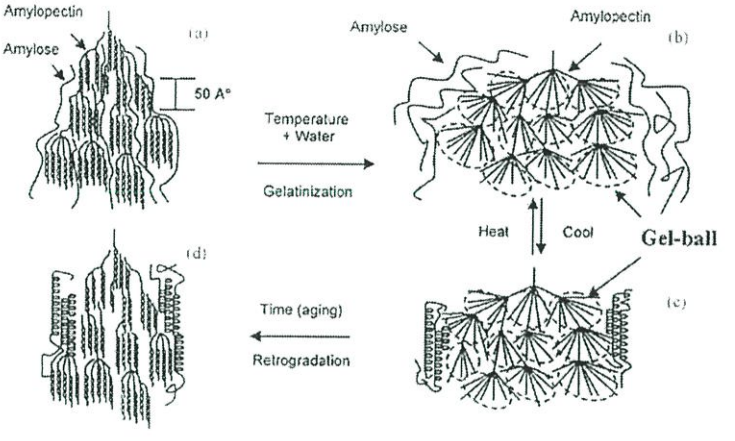
สเตลลิง (staling) หรือความไม่สด เป็นการเสื่อมเสียประเภทหนึ่ง ของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทาง เคมีและกายภาพระหว่างการเก็บรักษา และทำให้ คุณภาพด้านประสาทสัมผัสลดลง จนผู้บริโภคไม่ยอมรับ ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการเกิดการสเตลลิง ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บรักษา อุณหภูมิในการเก็บรักษา และ ปริมาณความชื้น

การปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ขนมปัง เสื่อมสภาพ คือ ความแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วมี แนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยกลไก (mechanism) ของสเตลลิง เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณเนื้อไปยังผิวหน้า ของผลิตภัณฑ์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงของ องค์ประกอบระหว่างโพลิเมอร์ของแป้ง ไขมัน และ โปรตีน

ดังนั้นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญ ต่อการสเตลลิง การทำงานของส่วนผสมทั้งหลายมี ความสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของขนมปัง เมื่อแป้งได้รับความร้อน เจลาติไนเซชัน ซึ่งเมื่อให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสสายสั้นๆ จะกระจัดกระจายหลุดออกมา ทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลของอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

และเกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเป็นเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชั่น (Retrogradation) หรือการคืนตัว (Eliasson and Gudmundsson, 1996) นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชั่นของแป้งจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ทำให้เจลที่ได้มีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2543)



รูปที่ 2.10 กระบวนการคืนตัวของแป้ง

การเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัวของแป้ง (รูปที่ 2.10) ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง อุณหภูมิ ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อนและความเย็น ระยะเวลาการเก็บรักษา ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และสารประกอบ อื่น ๆ โดยเฉพาะไขมัน และความเข้มข้นของส่วนผสมอื่น ๆ เช่น สารลดแรงตึงผิวและเกลือ เปนต้น (Whistler and Bemiller, 1999) ปริมาณและขนาดของอะมิโลสจะมี ความสำคัญมากต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้เร็วกว่าแป้งมีปริมาณอะมิโลเพกทินสูง ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Fan and Marks, 1998)

144345

2.4 เนื้อสัมผัสของอาหารและการวิเคราะห์

2.4.1 เนื้อสัมผัส (Texture)

เนื้อสัมผัส หมายถึง การตอบสนองของวัสดุต่อการสัมผัส ซึ่งแสดงถึงการต้านทานแรงของวัสดุ เนื้อสัมผัสจัดเป็นสมบัติเชิงกลที่เกิดขึ้นจากการตอบสนองของผลิตภัณฑ์อาหารต่อแรงที่กระทำ ตัวอย่างของแรงที่กระทำ เช่น แรงจากการบดเคี้ยวอาหาร แรงที่เกิดจากการสัมผัสด้วยมือ แรงที่เกิดจากการกระทำของเครื่องจักรต่อส่วนผสมของอาหาร เป็นต้น หรืออาจหมายถึง ลักษณะที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัสโดยใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า ซึ่งผู้บริโภคสามารถรับรู้เนื้อสัมผัสของอาหารได้จากการสัมผัสด้วยมือเปล่า เช่น การจับ แตะ บีบ หรือสัมผัสด้วยฟัน เพดานปาก ลิ้น รวมไปถึงการสัมผัสด้วยการฟังเสียง เช่น การดีด หรือเสียงที่เกิดจากการเคี้ยว เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ, 2559)

โดยเนื้อสัมผัสของอาหารนั้นมีเกี่ยวข้องกับคุณภาพของอาหารโดยตรง นอกจากนั้นยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคจะใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสำหรับตัดสินการยอมรับ และมีผลอย่างมากกับความชอบของผู้บริโภค โดยสมบัติของเนื้อสัมผัสของอาหารนั้นมีตัวอย่างได้แก่ ความแน่นเนื้อ (firmness) ความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความยึดเกาะตัวกันเอง (Cohesiveness) ความยึดติด (Adhesiveness) ความเหนียว (Toughness) ความนุ่ม (Tenderness) เป็นต้น (ปามนัส, 2554)

2.4.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

ในการวิเคราะห์โดยใช้ประสาทสัมผัสนั้นผู้ทดสอบจะประเมินเนื้อสัมผัสจากการเคี้ยว ดมกลิ่น ชิม ฟัง และสัมผัส โดยจะให้ผู้ทดสอบชิมและเขียนคะแนนลงในแบบทดสอบที่ได้จัดเตรียมไว้ จากนั้นจึงนำเอาแบบทดสอบมาวิเคราะห์เพื่อหาการยอมรับ หรือคะแนนความชอบของผู้บริโภค โดยแบบทดสอบที่ใช้นั้นจะมีหลายรูปแบบ เช่น

- วิธีทดสอบฮีโดนิก (Hedonic test)

ฮีโดนิก หมายถึง ความพอใจ โดยสเกลแบบฮีโดนิกนั้นจะมีทั้งแบบที่เป็นตัวเลข และแบบที่เป็นตัวหนังสือ ซึ่งมีหลายระดับด้วยกัน เช่น 3-จุด 5-จุด 7-จุด 9-จุด ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งหากใช้จำนวนจุดมากก็จะยิ่งทำให้ข้อมูลที่ได้มีความจำเพาะเจาะจงมากขึ้นไปตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 สเกลฮีโดนิกที่ใช้ในการทดสอบฮีโดนิก (hedonic test)

สเกลตัวเลข		สเกลตัวหนังสือ
9 จุด	1	ไม่ชอบเลย (dislike extremely)
	2	ไม่ชอบมาก (dislike very much)
	3	ไม่ชอบปานกลาง (dislike moderately)
	4	ไม่ชอบเล็กน้อย (dislike slightly)
	5	เฉย ๆ (neither like nor dislike)
	6	ชอบเล็กน้อย (like slightly)
	7	ชอบปานกลาง (like moderately)
	8	ชอบมาก (like very much)
	9	ชอบเป็นพิเศษ (like extremely)
7-จุด	1	ไม่ชอบมาก (dislike very much)
	2	ไม่ชอบปานกลาง (dislike moderately)
	3	ไม่ชอบเล็กน้อย (dislike slightly)
	4	เฉย ๆ (neither like nor dislike)
	5	ชอบเล็กน้อย (like slightly)
	6	ชอบปานกลาง (like moderately)
	7	ชอบมาก (like very much)
5-จุด	1	ไม่ชอบมาก (dislike very much)
	2	ไม่ชอบ (dislike)
	3	เฉย ๆ (neither like nor dislike)
	4	ชอบ (like)
	5	ชอบมาก (like very much)
3-จุด	1	ไม่ชอบ (dislike)
	2	เฉย ๆ (neither like nor dislike)
	3	ชอบ (like)

ที่มา: ปราณี, 2551

- วิธีทดสอบสเกลพอดี (Just-about-right, JAR Test)

สเกลพอดีจะมีลักษณะคล้ายกับสเกลแบบฮีโดนิกดังตารางที่ 2.4 แต่จะไม่สามารถเจาะจงได้เท่ากับสเกลแบบฮีโดนิก แต่มีข้อดีคือผู้บริโภคอ่านแล้วเข้าใจได้ง่ายกว่า

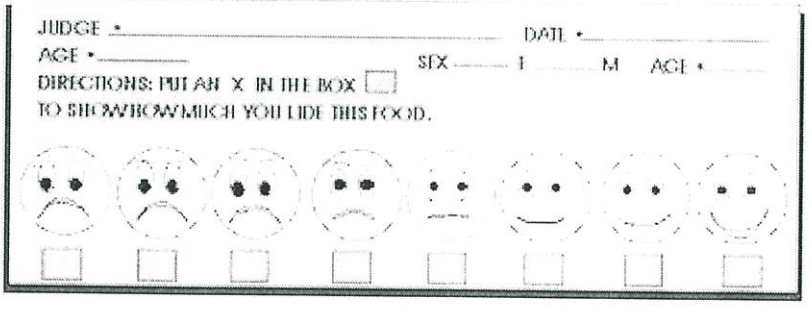
ตารางที่ 2.4 สเกลพอดีที่ใช้ในการทดสอบสเกลพอดี (JAR test)

แบบ 3 จุด	แบบ 5 จุด	แบบ 7 จุด
- รสหวานน้อยเกินไป (too light) - รสหวานพอดี (just right) - รสหวานมากเกินไป (too strong)	- รสหวานน้อยเกินไปมาก (much too light) - รสหวานน้อยเกินไป (too light) - รสหวานพอดี (just right) - รสหวานมากเกินไป (too strong) - รสหวานมากเกินไปมาก (much too strong)	- very much too light - much too light - too light - just right - too strong - much too strong - very much too strong

ที่มา: ปราณี, 2551

2.4.2.3 วิธีทดสอบสเกลรอยยิ้ม (Smiley scale)

สเกลแบบรอยยิ้มนั้นในช่องให้คะแนนจะมีลักษณะเป็นรูปใบหน้าที่แสดงสีหน้าต่างกัน (ดังรูปที่ 2.11) จำลองตามความรู้สึกของผู้ทดสอบว่ามีความพอใจต่อตัวอย่างที่ทดสอบมากหรือน้อย มีข้อดีคือผู้ทดสอบสามารถเข้าใจได้ง่าย เป็นแบบทดสอบที่ผู้ทดสอบเข้าใจได้ง่ายได้ที่สุด



รูปที่ 2.11 แบบทดสอบสเกลรอยยิ้ม (Larmond, 2016)

- การประยุกต์สเกลการยอมรับกับความตั้งใจในการซื้อ (Application of acceptance test to purchase intent scale)

สำหรับแบบทดสอบนี้จะใช้ในกรณีที่ต้องการวัดความตั้งใจในการซื้อของผลิตภัณฑ์ โดยประยุกต์มาจากแบบทดสอบสเกลแบบฮีโดนิก มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อวัดความตั้งใจในการซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค มีลักษณะดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สเกลทดสอบความตั้งใจซื้อที่ใช้ในการทดสอบความตั้งใจซื้อ

สเกลตัวเลข (number scale)	สเกลตัวหนังสือ (verbal scales)
1	ไม่ซื้อแน่นอน (definitely would not buy)
2	อาจจะไม่ซื้อ (probably would not buy)
3	เฉย ๆ (may be/ may be not)
4	อาจจะซื้อ (probably would buy)
5	ซื้ออย่างแน่นอน (definitely would buy)

ที่มา: ปราณี, 2551

ทั้งนี้ในการวิเคราะห์โดยใช้ประสาทสัมผัสนั้นมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากขึ้นอยู่กับความรู้สึกชอบส่วนตัวของผู้ทดสอบ รวมไปถึงบรรยากาศของสถานที่ที่ใช้ทดสอบ เวลา อุณหภูมิ และอารมณ์ของผู้ทดสอบในเวลานั้นด้วย (ปราณี, 2551)

ในปีพ.ศ. 2554 ยุพร พืชกมุทร และวิญญ์ ผิวนิ่ม ได้ทำการศึกษาปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา โดยได้ศึกษาปริมาณทดแทนแป้งสาลี 3 ระดับ คือ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง และทำการทดสอบด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยแบบการทดสอบให้คะแนน 9-point Hedonic Scale ผลการทดสอบพบว่าเมื่อปริมาณโอคาราสดสูงขึ้นคะแนนความชอบโดยรวมของขนมปังจะมีแนวโน้มต่ำลง และเมื่อเพิ่มปริมาณโอคาราถึงระดับ 25 เปอร์เซ็นต์พบว่ามีคะแนนความชอบในทุกด้านต่ำกว่าตัวอย่างอื่นมาก และขนมปังมีเนื้อสัมผัสแข็งมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ที่ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

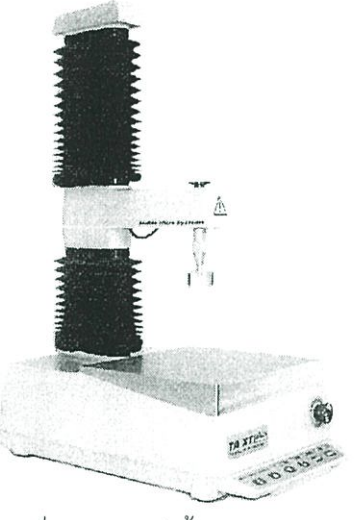
2.4.3 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ

การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ คือการใช้เครื่องมือแสดงคุณสมบัติหรือคุณภาพของอาหารแทนผลจากการทดสอบโดยวิธีใช้ประสาทสัมผัส ซึ่งวิธีการประเมินโดยใช้เครื่องมือนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 แนวทาง ได้แก่

1) วิธีการวัดพื้นฐาน (Fundamental method) โดยอาศัยการวัดคุณสมบัติทางกายภาพ

2) วิธีใช้การเลียนแบบ (Imitative method) เป็นการวัดโดยใช้อุปกรณ์ที่สามารถจำลองการเคี้ยวอาหารของมนุษย์

3) วิธีที่มีการทดลอง (Empirical method) คือการใช้เครื่องมือที่สามารถวัดค่าเฉพาะทางได้ สำหรับการวัดค่าสมบัติของเนื้อสัมผัสนั้นจะนิยมวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (นิรนาม5, 2559)

โดยหลักการทำงานของเครื่องจะจำลองมาจากการเคี้ยวของมนุษย์ และตัวเครื่องจะมีมอเตอร์ ทำให้หัววัดสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ โดยหัววัดนั้นจะมีหลายแบบสำหรับใช้ในงานที่ต่างกัน เพื่อวัดแรงต้านที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ โดยผลที่ได้จะออกมาในรูปของกราฟแรง-เวลา ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งการทดสอบนั้นก็มีหลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

- การทดสอบแรงกด (Compression test)

เป็นการกดตัวอย่างที่นำมาทดสอบด้วยหัววัดแบบแผ่นแบนซึ่งเคลื่อนลงด้วยอัตราเร็วคงที่อย่างช้า ๆ เพื่อดูการตอบสนองของตัวอย่างต่อแรงกด (Compression Force) ที่มากระทำ โดยค่า

ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบแรงกดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของตัวอย่างที่นำมาทดสอบด้วย โดยแรงกดนั้นจะเกิดในแนวตรงและทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ตามทิศทางของแรงที่กระทำ

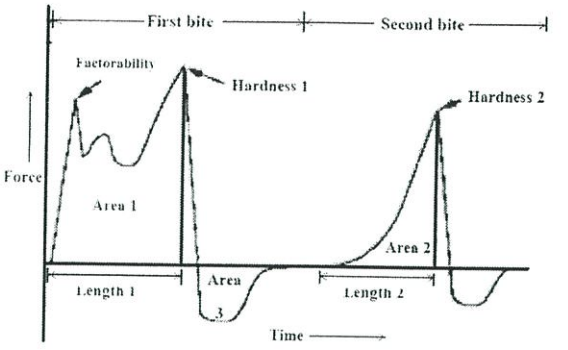
ในการตั้งค่าอาจกำหนดค่าแรงที่ใช้ในการกดสูงสุดหรือกำหนดระยะกดสูงสุด หรือกำหนดให้เป็นเปอร์เซ็นต์ความเครียดในการกดก็ได้ การกำหนดค่าแรงสูงสุดในการกดนั้นสามารถพิจารณาได้หลายวิธี เช่น หากต้องการให้เป็นการทดสอบแบบไม่ให้ตัวอย่างเสียหาย ก็อาจใช้แรงกดน้อย ๆ (ประมาณได้โดยการนำนิ้วหัวแม่มือกดลงบนเครื่องชั่งเบา ๆ) หรืออาจทดสอบก่อนว่า ต้องใช้แรงเท่าไรในการกด จึงจะทำให้วัสดุแตกออก เป็นต้น ส่วนการกำหนดเปอร์เซ็นต์ความเครียดนั้น กำหนดได้จากความหนาของตัวอย่าง เช่น หากให้หัวกดกดจนถึงระยะสิ้นสุดความหนาของตัวอย่าง (แนบราบจนไปเสมอกับฐานทดสอบ) จะนับเป็น 100% ความเครียด หรือหากต้องการกดถึงเพียงครึ่งเดียวของความหนาของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ก็ให้ตั้งค่าเป็น 50% ความเครียด เป็นต้น

สำหรับวิธีทดสอบนั้นทำได้โดยวางตัวอย่างอาหารให้อยู่กึ่งกลางของหัววัด โดยหัววัดที่นำมาใช้ควรมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ จากนั้นกดให้เครื่องทำงาน เครื่องก็จะดำเนินการทดสอบโดยหัววัดจะค่อย ๆ เคลื่อนลงมาอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ จากนั้นเครื่องจะวัดค่าแรงต้านจากตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและเวลา โดยกราฟที่ได้จะบอกถึงลักษณะของเนื้อสัมผัส (Textural properties) ซึ่งสามารถวิเคราะค่าตัวแปรสำคัญ ได้แก่

- แรงกดสูงสุด (Maximum Force, N) เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็ง (Hardness) ของวัสดุ
- ความชัน (N/mm) เป็นค่าที่บอกถึงความแน่น (Firmness) ของวัสดุ
- พื้นที่ใต้กราฟ เป็นค่าที่บอกถึงการดูดซับพลังงาน (Energy Absorption) ที่ทำให้วัสดุแตกออก ซึ่งสามารถบอกถึงความเหนียว (Toughness) ของตัวอย่างที่นำมาทดสอบได้ด้วย

- การทดสอบแบบ Texture Profile Analysis (TPA)

เป็นการทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส สำหรับวิธี TPA นั้นควรใช้กับตัวอย่างที่เป็นอาหารเพราะเป็นการจำลองการเคี้ยวของมนุษย์ด้วยฟันกรามสองครั้ง โดยวิธีการทดสอบนั้นทำโดยการวางชิ้นตัวอย่างลงบนฐานทดสอบแล้วจึงกดด้วยหัววัดแบบแผ่นแบนที่มีขนาดใหญ่กว่าชิ้นตัวอย่างเป็นเปอร์เซ็นต์ความเครียด เช่น 50% หรือ 90% ความเครียด เป็นต้น สำหรับผลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและเวลา ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลาจากการทดสอบโดยเทคนิค Texture Profile Analysis (ธัญญาภรณ์, 2549)

ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์และอธิบายลักษณะของเนื้อสัมผัสได้ 7 ลักษณะ ดังนี้

1) Factorability คือ สภาพที่วัตถุจะแตกออกยากง่ายเพียงใด หาได้จากแรงจุดแรกที่ทำให้โครงสร้างภายในอาหารเสียหาย แต่ไม่แตกออกจากกัน

2) Hardness คือ แรงที่มีค่ามากที่สุดในช่วงการกดครั้งแรก

3) Cohesiveness คือ ความสามารถในการยึดเกาะกันภายในอาหาร หาได้จากอัตราส่วนพื้นที่ของแรงที่เป็นบวกในการกดครั้งที่สองต่อครั้งที่หนึ่ง (A_2/A_1)

4) Adhesiveness คือ พลังงานที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างอาหารกับพื้นผิวใดที่มันสัมผัสอยู่ หาได้จากพื้นที่ของแรงที่เป็นลบในการกดครั้งแรก (A_3)

5) Springiness คือ ความสามารถของชิ้นอาหารที่กลับสู่สภาวะเดิม (L_2/L_1)

6) Gumminess คือ พลังงานที่ใช้ในการทำให้อาหารกึ่งของแข็งแยกตัวออกจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้ หาได้จากผลคูณของ Hardness กับ Cohesiveness

7) Chewiness คือ พลังงานที่ต้องใช้เคี้ยวอาหารแข็งเพื่อให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืนลงคอ หาได้จากผลคูณของ Hardness Cohesiveness และ Springiness (ธัญญาภรณ์, 2549)

ในปีค.ศ. 2010 Saha และคณะ ได้ทำการศึกษาผลของส่วนผสมของข้าวฟ่างต่อสมบัติทางเนื้อสัมผัสของแป้งโด และคุณภาพของบิสกิต โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยมีการควบคุมดังนี้ ตัวอย่างแป้งโดที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 cm หัววัด (Probe) เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm Load cell 50 kg Pre-test speed 1 mm/s Test speed 2 mm/s ระยะห่างระหว่างหัววัดกับตัวอย่าง 5 mm และ acquisition rate 200 pps ผลการศึกษาพบว่าค่าความแข็งนั้นจะ

เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งสาลีสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกลูเตนที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความเหนียว ดังนั้น ความแข็งของแป้งโดในอัตราส่วนของ เมล็ดข้าวฟ่าง : แป้ง เท่ากับ 60 : 40 มีค่าสูงกว่า 70 : 30

ต่อมาในปีพ.ศ. 2554 ยุพร พืชกมุทร และวิญญ์ ผิวนิ่ม ได้ทำการศึกษาผลของคุณภาพขนมปังแซนด์วิชที่ใช้กากถั่วเหลือง (โอคารา) ทดแทนแป้งสาลี โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของขนมปัง ซึ่งได้ดัดแปลงวิธีการวัดระหว่างวิธีของ van และคณะ กับ Rouille และคณะ ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณโอคารามากขึ้นจะส่งผลทำให้ความยืดหยุ่นลดลง และมีค่าความแข็งสูงขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการทดลองโดยเพิ่มเส้นใยอาหารเข้าไปพบว่ามีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบ และส่งผลอย่างมากกระบวนการผลิตขนมปัง โดยการทดลองนั้นได้ใช้เส้นใยอาหารที่ได้จากแอปเปิ้ล เลมอน และข้าวสาลี มาผสมลงในคุกกี้แทนแป้งสาลีที่ระดับ 15% 20% และ 30% (w/w, ของน้ำหนักแป้งสาลีที่ใช้) พบว่ามีอัตราการจับตัวของโปรตีนที่ลดต่ำลงเมื่อมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงขึ้น และในการทดลองของ Anusooya และคณะ ยังพบว่า เมื่อทำการใส่เปลือกแอปเปิ้ลบดละเอียดลงไปในระดับ 4% 8% 16% 24% และ 32% ของน้ำหนักแป้งที่ใช้ ส่งผลทำให้ปริมาณของโปรตีนลดลงอีกด้วย ซึ่งส่งผลทำให้กลูเตนลดลงและมีเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนไป (Anusooya *et al.*, 2010)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 วัตถุดิบ

1) แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง ตรา หงส์ขาว
2) เกลือป่น ตรา ปรุงทิพย์
3) น้ำตาลทรายขาว ตรา มิตรผล
4) เนยสด ชนิดจืด ตรา ออร์คิดส์
5) ยีสต์แห้งสำเร็จ ตรา saf-instant
6) สารปรุงแต่งกลิ่นนมสด ตรา วินเนอร์
7) ถั่วเขียวชนิดแห้ง ตรา ข้าวทอง
8) ถั่วแดงหลวงชนิดแห้ง ตรา ข้าวทอง
9) เมล็ดลินินสีน้ำตาล จัดจำหน่ายโดย บริษัท เนเชอรัล ฟาร์มาซูติคอล (ประเทศไทย) จำกัด
10) น้ำสะอาด

3.1.2 อุปกรณ์

1) เตาอบไฟฟ้าเอนกประสงค์
2) เครื่องชั่งน้ำหนัก
3) ตู้อบลมร้อน
4) กระบอกตวง ขนาด 250 มิลลิลิตร
5) เทอร์โมคัปเปิล Type K
6) เครื่องปั่น
7) หม้อสแตนเลส
8) ชามผสมสแตนเลส
9) พิมพ์ขนมปัง ขนาด 10 นิ้ว
10) ถาดสแตนเลส
11) ตะแกรงสแตนเลส

12) มีดแบบฟันเลื่อย

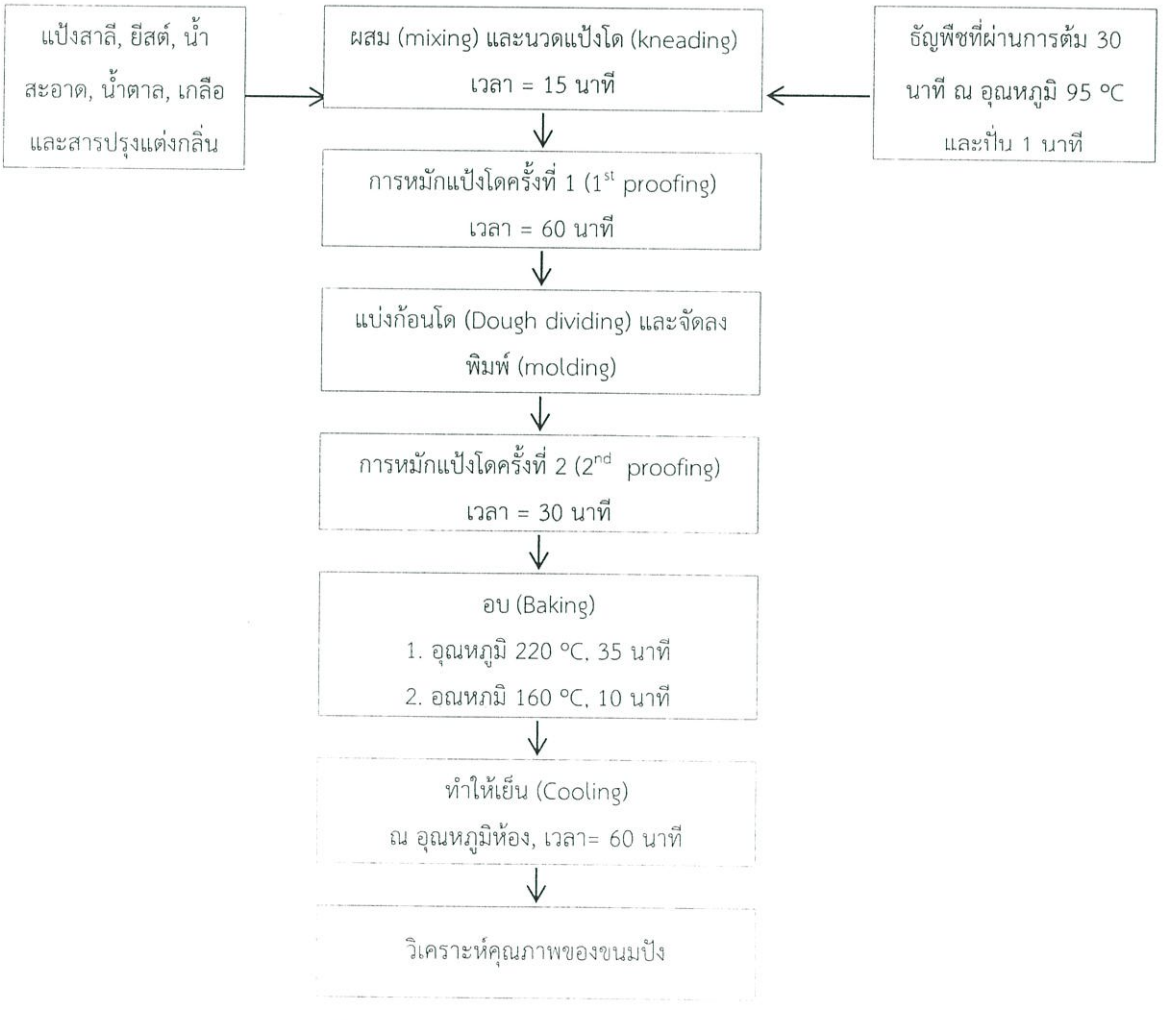
13) ถุงพลาสติก Polyethylene (PE)

14) ตู้เย็น

15) เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและหัววัดชนิด P50

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ส่วนผสมขนมปังขาวสูตรควบคุม ประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้ แป้งสาลี 300 กรัม เนยจืด 57 กรัม น้ำตาลทราย 5 กรัม น้ำสะอาด 160 กรัม เกลือป่น 5 กรัม และสารปรุงแต่งกลิ่นนมสด 3 กรัม โดยขนมปังที่ผสมเมล็ดธัญพืชต่างๆ เตรียมได้จากสูตรควบคุมเช่นกัน แต่จะมีการปรับเปลี่ยนปริมาณแป้งสาลีและน้ำสะอาดตามสัดส่วนของเมล็ดธัญพืชที่ได้ใส่ไปแทนแป้งสาลี เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำหนักสุดท้ายนั้นมีค่าเท่ากับสูตรควบคุม สำหรับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างขนมปัง

3.3 การทดสอบคุณภาพของขนมปัง

3.3.1 เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA)

เตรียมตัวอย่างโดยหั่นขนมปังออกเป็นแผ่น ให้มีความหนาแผ่นละ 2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) โดยใช้หัวกดแบบวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าเครื่องตามภาคผนวก ก.3 โดยผลการทดสอบจะได้อยู่ในลักษณะของกราฟแรงและเวลา จากนั้นจะนำกราฟที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสต่าง ๆ ได้แก่ hardness springiness adhesiveness cohesiveness gumminess และ chewiness

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

สำหรับปริมาตรจำเพาะของขนมปังจะทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการแทนที่ด้วยเมล็ดงาขาว ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนการวิเคราะห์ตามภาคผนวก ก.1

3.3.3 การวิเคราะห์ความชื้นของขนมปัง

สำหรับการวิเคราะห์ความชื้นของขนมปัง จะทำโดยการหั่นตัวอย่างขนมปังออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้มีน้ำหนักรวมประมาณ 3 – 5 กรัม จากนั้นนำไปอบหาความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 12 – 13 ชั่วโมง ตามภาคผนวก ก.2

3.4 การวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัส

สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อปริมาณเมล็ดธัญพืชสูงสุดที่เพิ่มเข้าในขนมปัง โดยใช้แบบทดสอบแบบฮีโดนิกสเกล 9 จุด (Hedonic scale 9 points) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 25 คน ตามภาคผนวก ก.4 และวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ผสมถั่วแดง ถั่วเขียว และเมล็ดลินิน โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วเปรียบเทียบคะแนนความพึงพอใจของผู้ชิมที่มีต่อขนมปังที่ผสมถั่วแดง ถั่วเขียว และเมล็ดลินิน ซึ่งสามารถแปลผลค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์คะแนน ดังนี้

8.20 – 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด
7.30 – 8.19 หมายถึง ชอบมาก
6.40 – 7.29 หมายถึง ชอบปานกลาง
5.50 – 6.39 หมายถึง ชอบเล็กน้อย
4.60 – 5.49 หมายถึง บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ
3.70 – 4.59 หมายถึง ไม่ชอบเล็กนอ้ย
2.80 – 3.69 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
2.90 – 2.79 หมายถึง ไม่ชอบมาก
1 – 1.89 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

สำหรับการทดลองในโครงงานนี้ ได้เลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยหลังการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) หากพบว่ามีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's Test สำหรับการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และวิธี LSD สำหรับการวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

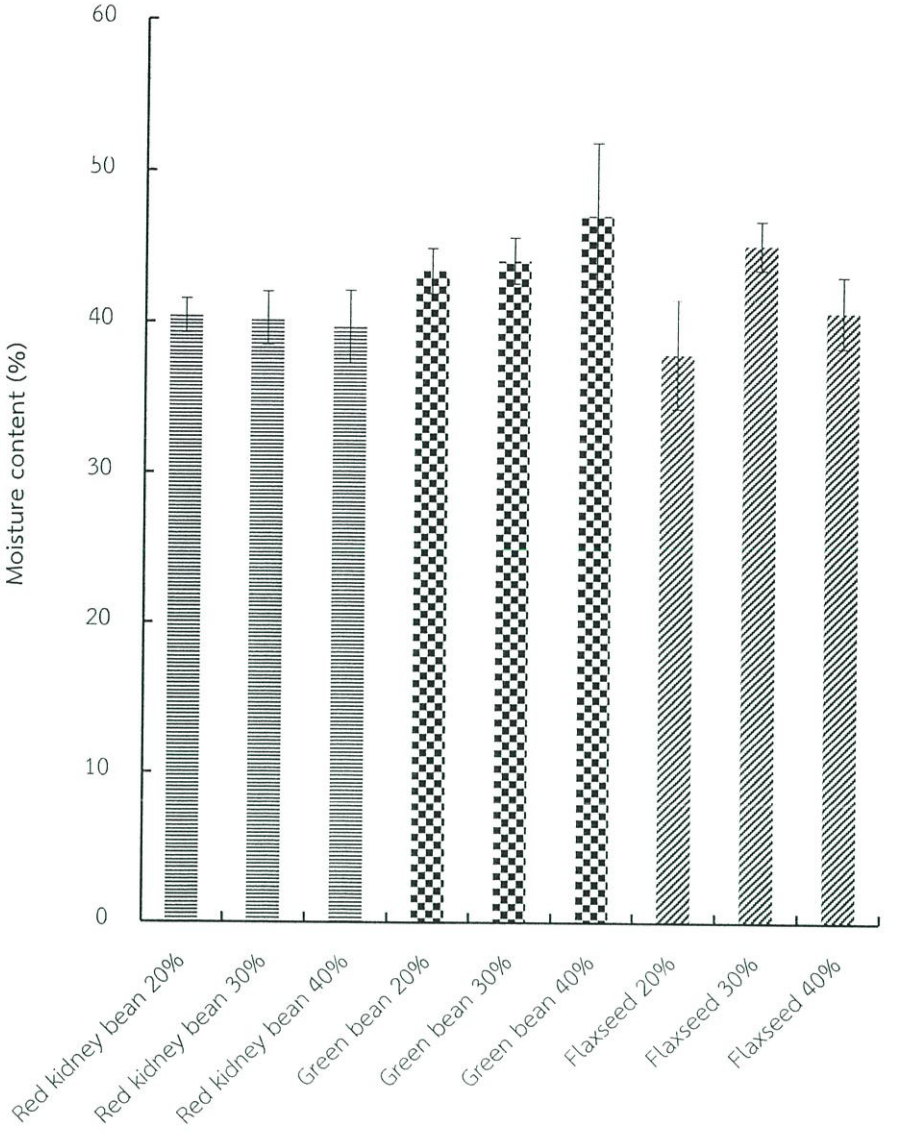
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลของการผสมธัญพืชต่อคุณลักษณะทางกายภาพของขนมปัง

ผลของการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของขนมปังที่ผสมธัญพืชโดยพิจารณาความชื้นและปริมาตรจำเพาะ (รูปที่ 4.1)

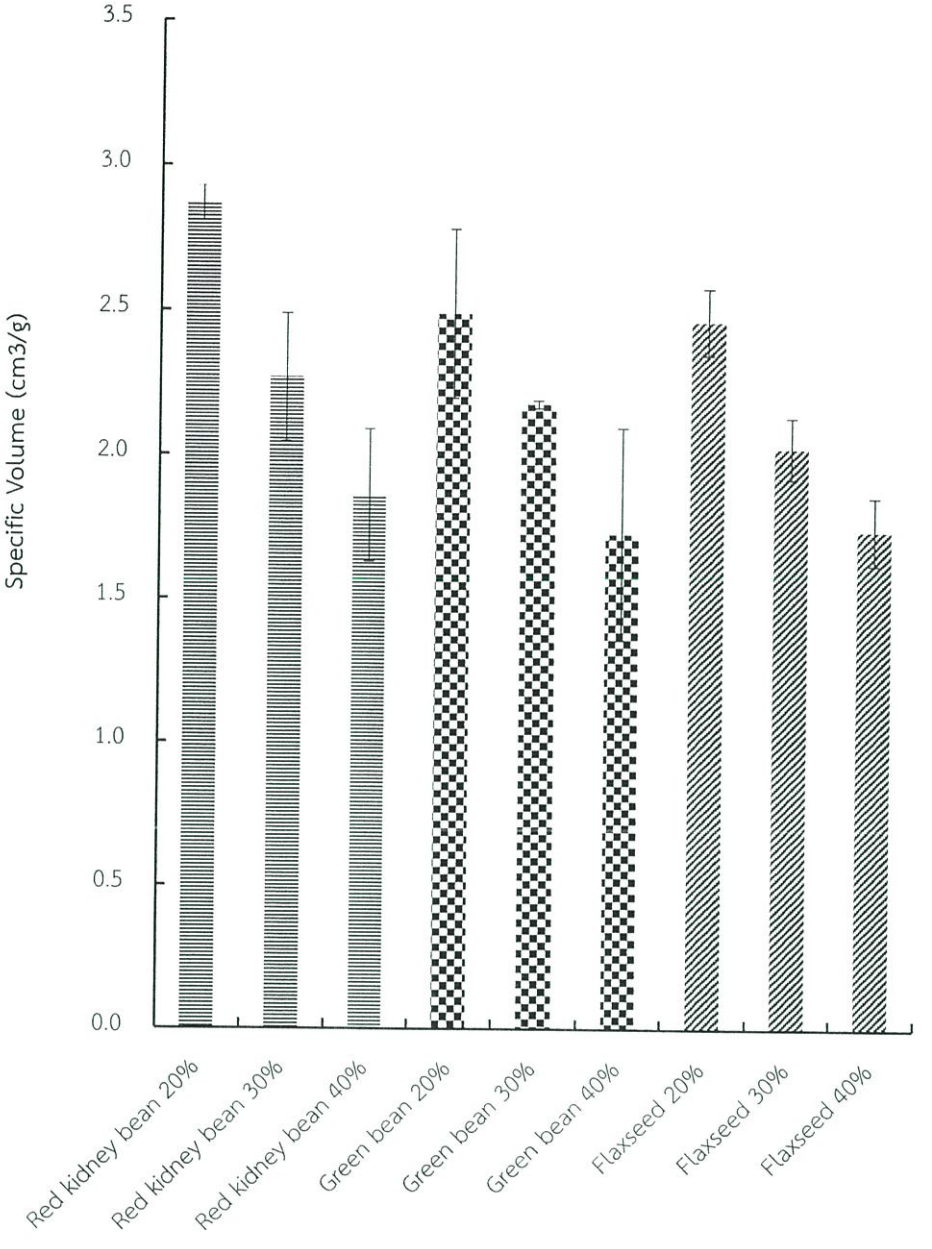
จะเห็นได้ว่าขนมปังที่ผสมถั่วแดงในปริมาณมากขึ้น ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.1) ซึ่งต่างจากขนมปังที่ผสมถั่วเขียวมีค่าความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณถั่วเขียว และค่าความชื้นของขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดลินินในขนมปัง แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) พบว่าการผสมถั่วแดง และถั่วเขียวในขนมปังไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ขนมปังที่ผสมเมล็ดลินินมีผลต่างค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ

โดยรวมการผสมธัญพืชในขนมปังทำให้ปริมาตรจำเพาะมีแนวโน้มลดลง ตามปริมาณธัญพืชที่ผสม เช่น ขนมปังที่ผสมถั่วแดง 20% มีปริมาตรจำเพาะประมาณ 2.87 cm^3/g และเมื่อเพิ่มปริมาณถั่วแดงเป็น 30% และ 40% มีค่าปริมาตรจำเพาะประมาณ 2.27 และ 1.87 cm^3/g ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าการผสมธัญพืชในขนมปังมีผลให้ปริมาตรจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักโดได้น้อยลง ซึ่งเป็นผลจากการผสมธัญพืชเข้าไปในขนมปังไม่ว่าจะเป็นถั่วแดง ถั่วเขียว หรือเมล็ดลินิน จะเข้าไปแทรกในโครงร่างของขนมปัง และขัดขวางการเกิดโครงร่างของกลูเตน ทำให้การพองตัวลดลงในขั้นตอนการหมักและการอบ ส่งผลให้ขนมปังมีปริมาตรลดลง (Anoosaya *et al.*, 2010)



รูปที่ 4.1 ผลของการผสมธัญพืชต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.2 ผลของการผสมธัญพืชต่อความชื้นของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะทางกายภาพของขนมปังผสมธัญพืช

ประเภทและปริมาณของธัญพืช	Moisture content (%)	Specific volume (cm^3/g)
ถั่วแดง		
20%	40.40±1.13	2.87±0.06[a]
30%	40.26±1.77	2.27±0.22[b]
40%	39.68±2.42	1.86±0.23[b]
ถั่วเขียว		
20%	43.40±1.49	2.49±0.29[a]
30%	44.08±1.52	2.18±0.01[ab]
40%	47.06±4.82	1.73±0.37[b]
เมล็ดลินิน		
20%	37.90±3.61[a]	2.46±0.11[a]
30%	45.13±1.62[b]	2.02±0.11[b]
40%	40.70±2.35[b]	1.74±0.12[c]

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

4.2 อิทธิพลของการผสมธัญพืชต่อเนื้อสัมผัสของขนมปัง

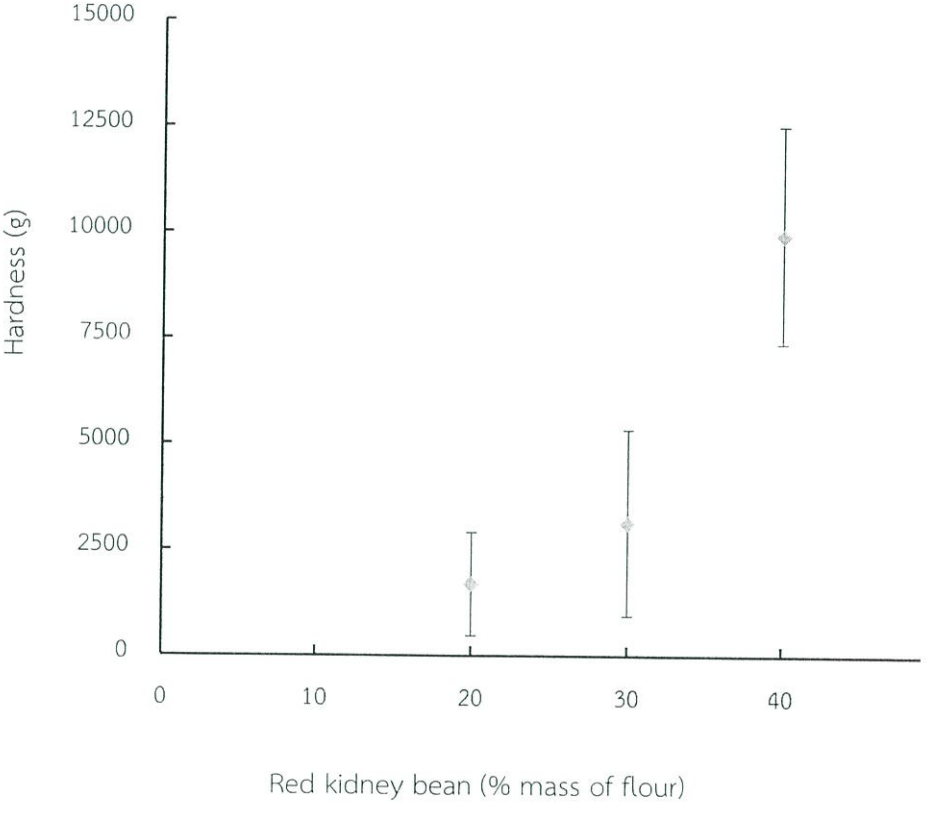
ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมปังที่มีการผสมถั่วแดงในปริมาณ 20% 30% และ 40% ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA) แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 – 4.8

เห็นได้ว่าค่า hardness ของขนมปังที่มีการผสมถั่วแดงในปริมาณ 20% มีค่าต่ำสุด และค่านี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของถั่วแดงที่เติมลงไป (รูปที่ 4.3) จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) พบว่า ค่า hardness จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณการผสมถั่วแดงเพิ่มเป็น 40%

จากรูปที่ 4.3 - 4.8 จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปค่า adhesiveness cohesiveness และ springiness ของขนมปังที่มีการผสมถั่วแดงในปริมาณ 20% สูงที่สุดและดูเหมือนว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมถั่วแดงในปริมาณมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่าการ

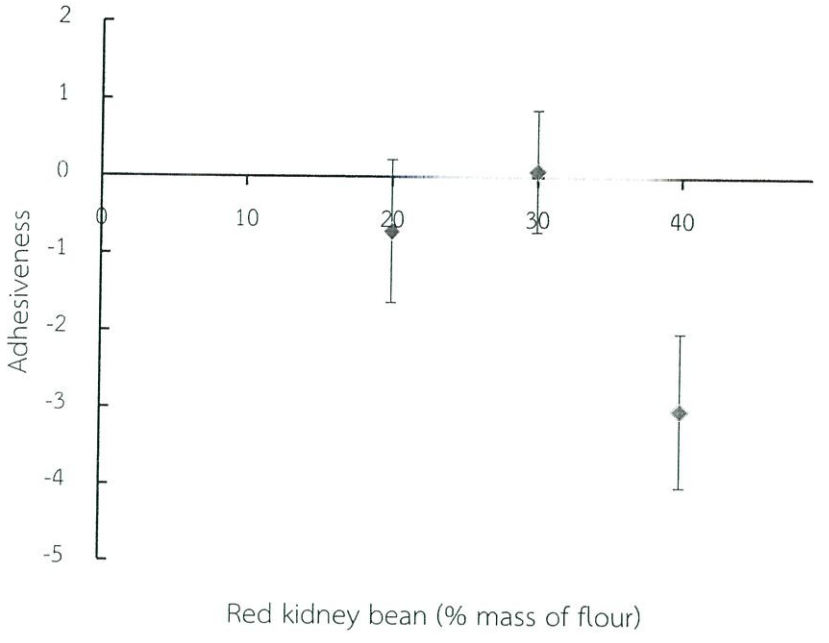
ผสมถั่วแดงไม่มีผลต่อค่า adhesiveness cohesiveness และ Springiness อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าข้อมูลค่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ซึ่งย่อมมีผลโดยตรงต่อการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล

จากรูปที่ 4.7 - 4.8 จะเห็นได้ว่า ค่า gumminess และ chewiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการผสมถั่วแดงในปริมาณมากขึ้น การวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า ค่า gumminess และ chewiness จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณการผสมถั่วแดงเพิ่มเป็น 40%



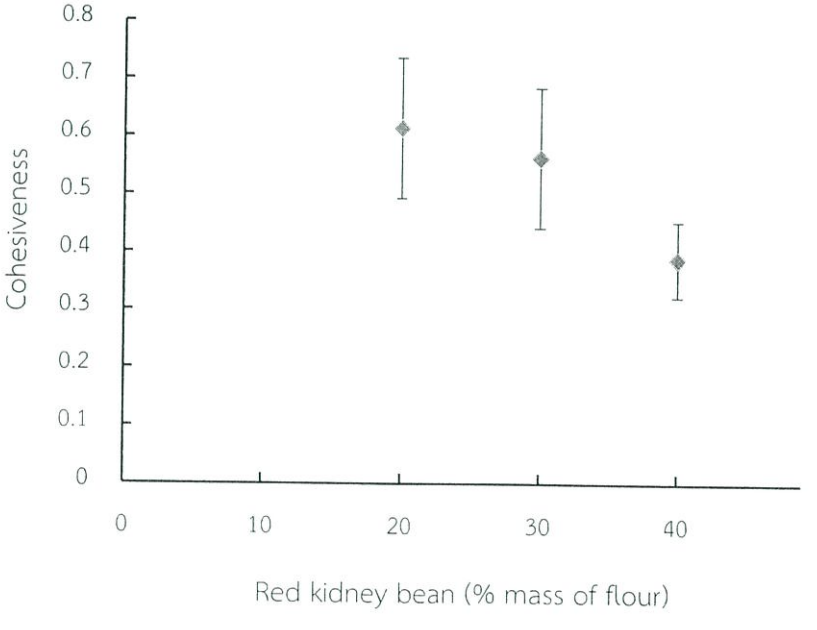
รูปที่ 4.3 ผลของถั่วแดงต่อค่า hardness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



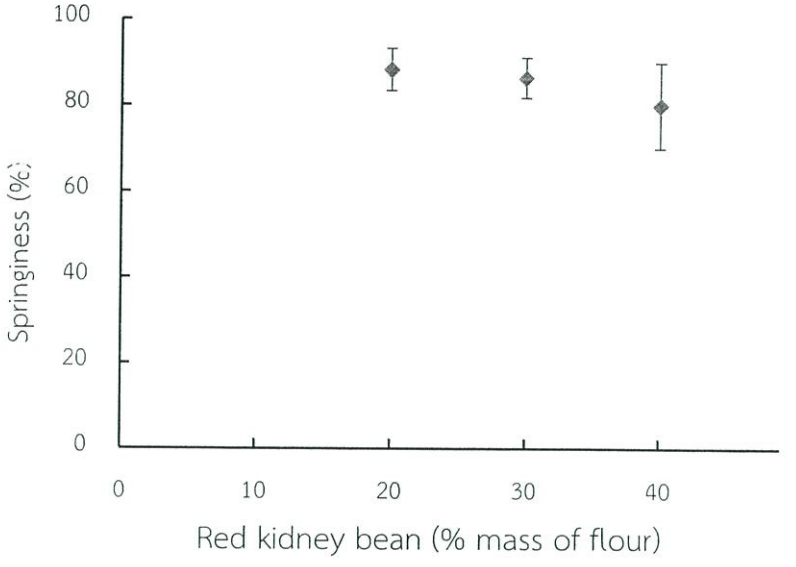
รูปที่ 4.4 ผลของถั่วแดงต่อค่า adhesiveness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



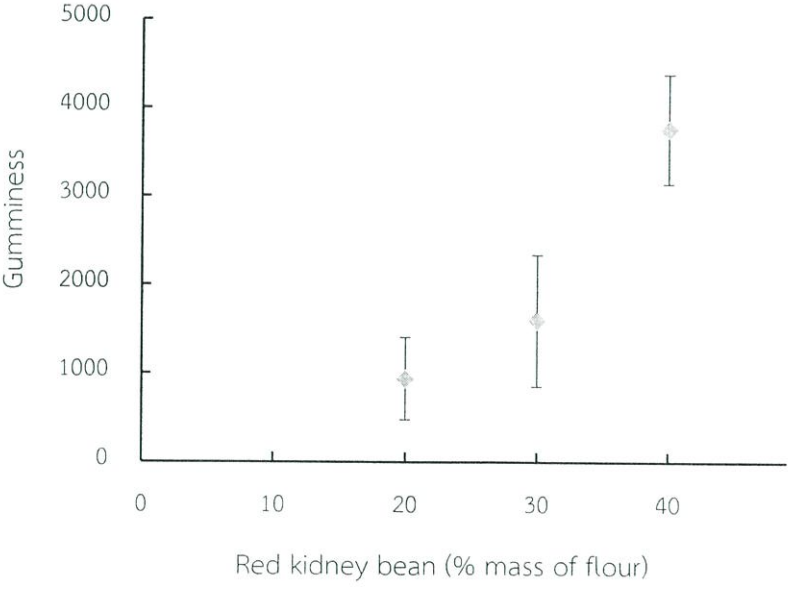
รูปที่ 4.5 ผลของถั่วแดงต่อค่า cohesiveness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



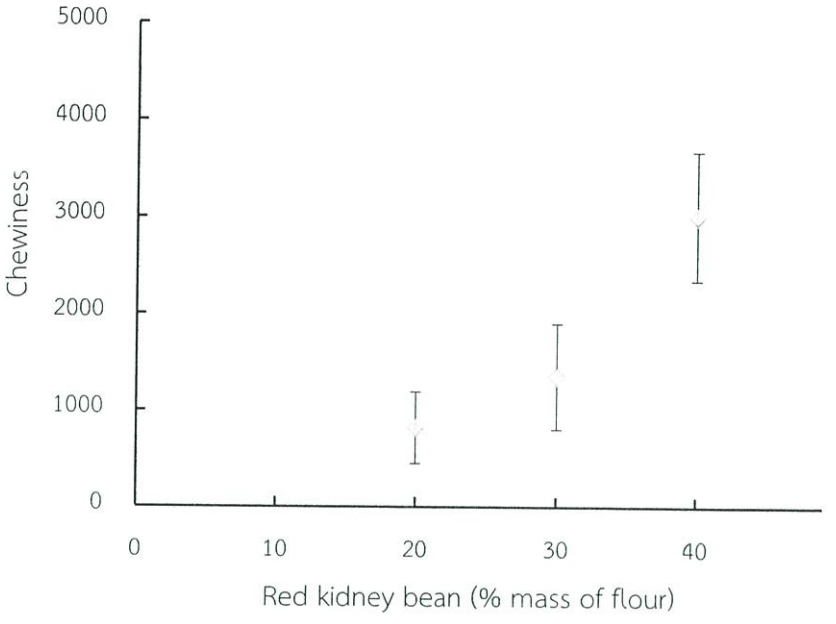
รูปที่ 4.6 ผลของถั่วแดงต่อค่า springiness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.7 ผลของถั่วแดงต่อค่า gumminess ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



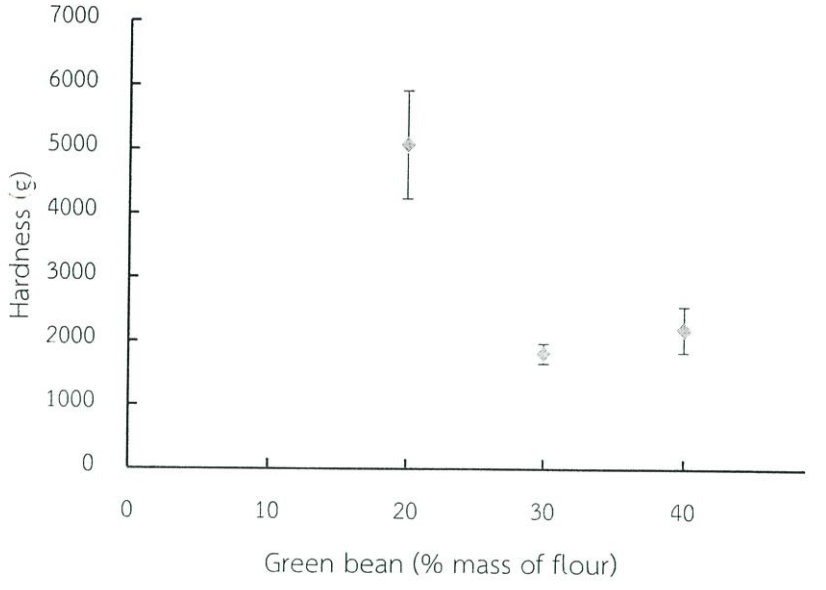
รูปที่ 4.8 ผลของถั่วแดงต่อค่า chewiness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมปังที่มีการผสมเขียวในปริมาณ 20 30 และ 40% ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA) แสดงไว้ในรูปที่ 4.9 – 4.14

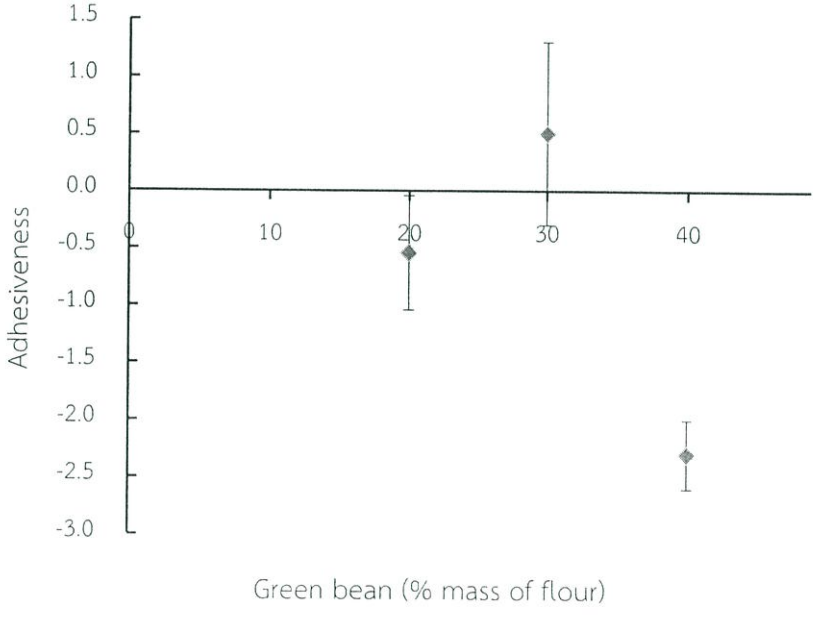
เห็นได้ว่าค่า hardness ของขนมปังที่มีการผสมถั่วเขียวค่ามีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.9) ค่า cohesiveness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.11) ตามความเข้มข้นของถั่วเขียวที่เติมลงไป จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) พบว่า ค่า hardness จะต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณการผสมถั่วเขียวเพิ่มเป็น 30% ส่วนค่า cohesiveness จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณการผสมถั่วเขียวเพิ่มเป็น 30%

จากรูปที่ 4.10, 4.12-4.14 จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปค่า adhesiveness และ gumminess springiness ของขนมปังที่มีการผสมถั่วเขียวในปริมาณ 20% สูงที่สุดและดูเหมือนว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมถั่วเขียวในปริมาณมากขึ้น ค่า springiness และ chewiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการผสมถั่วเขียวในปริมาณมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่าการผสมถั่วเขียวไม่มีผลต่อค่า adhesiveness springiness gumminess และ chewiness อย่างมีนัยสำคัญ



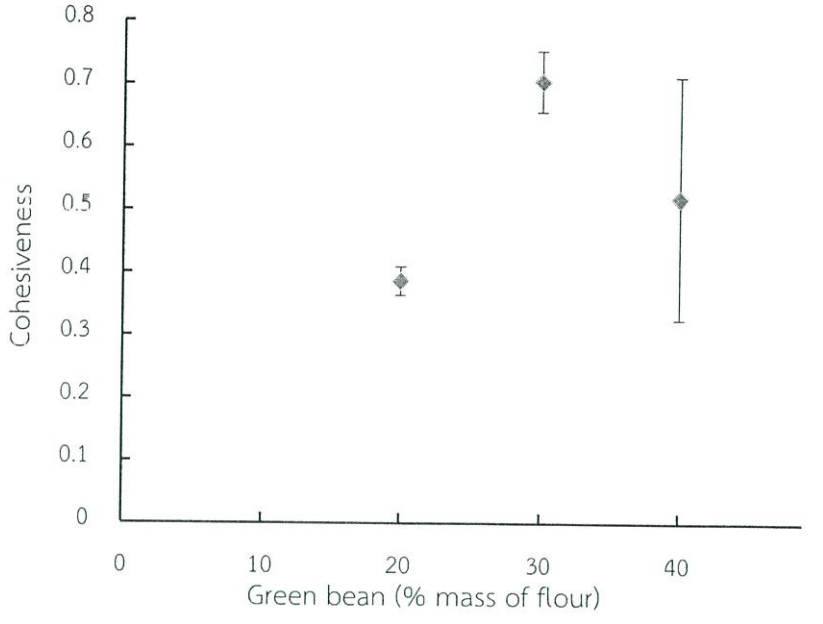
รูปที่ 4.9 ผลของถั่วเขียวต่อค่า hardness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



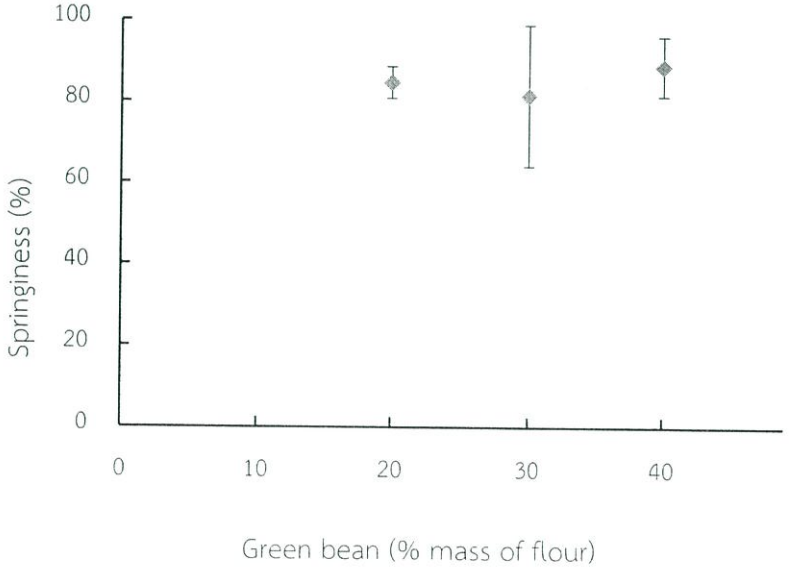
รูปที่ 4.10 ผลของถั่วเขียวต่อค่า adhesiveness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



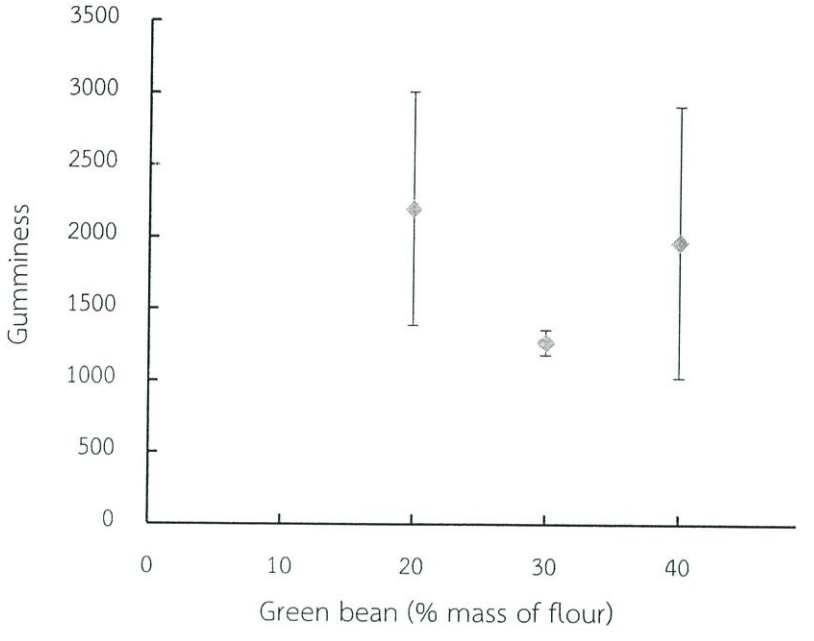
รูปที่ 4.11 ผลของถั่วเขียวต่อค่า cohesiveness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



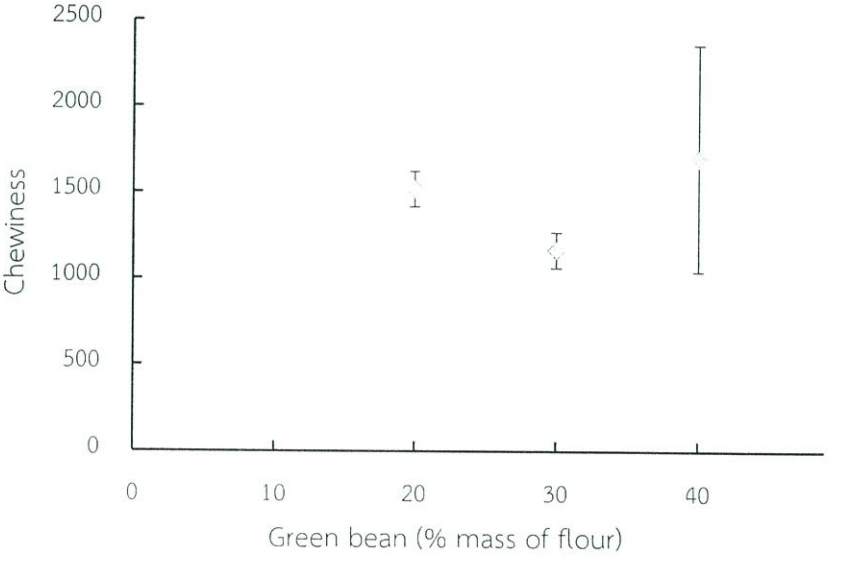
รูปที่ 4.12 ผลของถั่วเขียวต่อค่า springiness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.13 ผลของถั่วเขียวต่อค่า gumminess ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



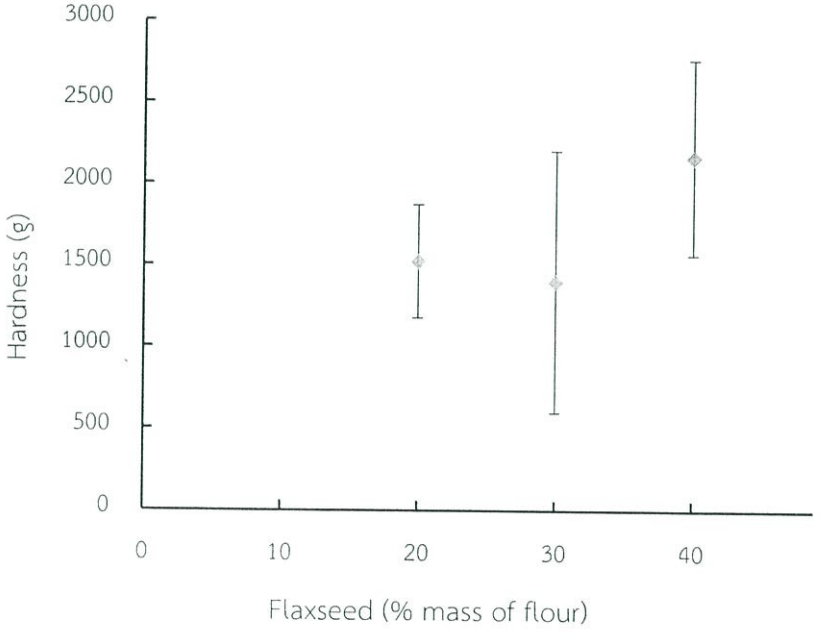
รูปที่ 4.14 ผลของถั่วเขียวต่อค่า chewiness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของขนมปังที่มีการเติมเมล็ดลินินในปริมาณ 20 30 และ 40% ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้เทคนิค Texture Profile Analysis (TPA) แสดงไว้ในรูปที่ 4.15 – 4.20

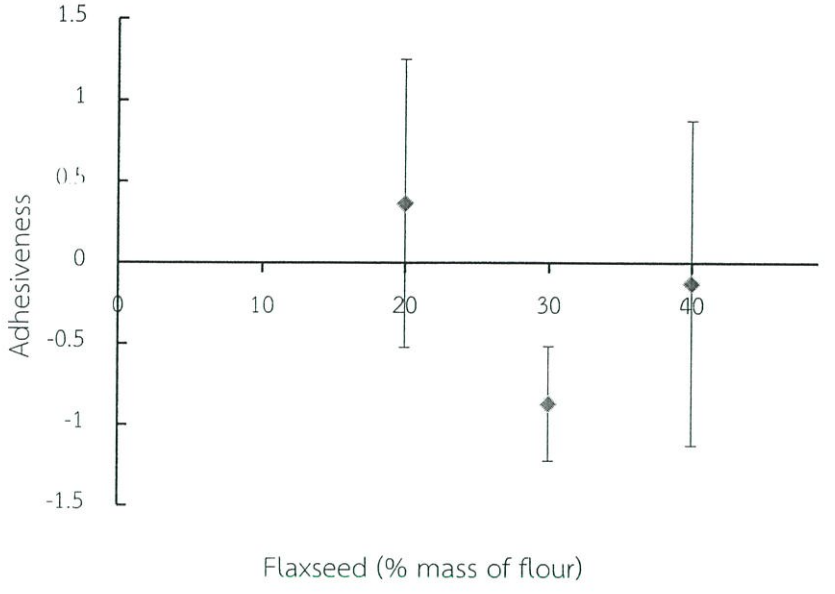
เห็นได้ว่าค่า gumminess ของขนมปังที่มีการผสมเมล็ดลินินค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.19) ตามความเข้มข้นของเมล็ดลินินเติมลงไป จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 4.2) พบว่า ค่า gumminess จะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณการผสมเมล็ดลินินเพิ่มเป็น 40%

จากรูปที่ 4.15 - 4.18, 4.20 จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปค่า adhesiveness และ springiness ของขนมปังที่มีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณ 20% สูงที่สุดและดูเหมือนว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมเมล็ดลินินในปริมาณมากขึ้น ค่า hardness cohesiveness และ chewiness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมในปริมาณมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่าการผสมเมล็ดลินินไม่มีผลต่อค่า hardness adhesiveness springiness gumminess และ chewiness อย่างมีนัยสำคัญ



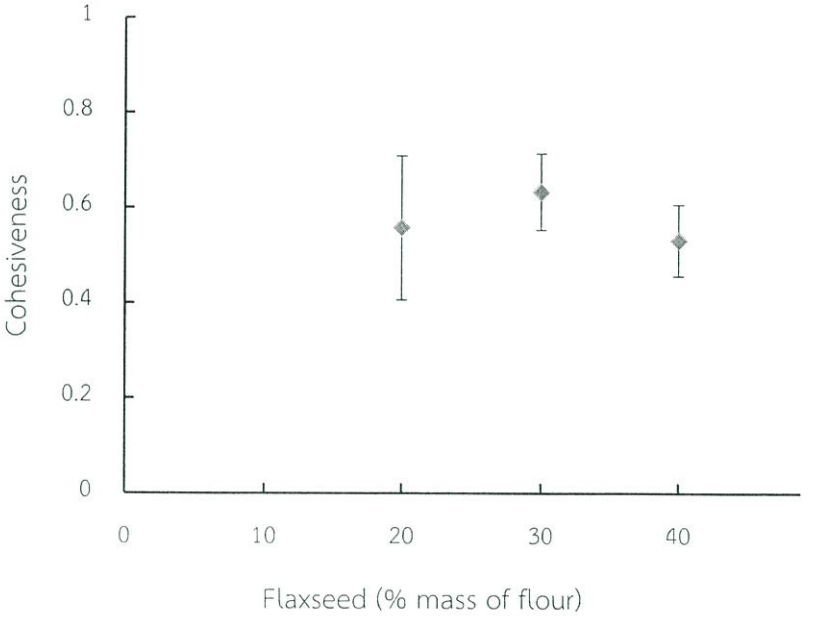
รูปที่ 4.15 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า hardness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



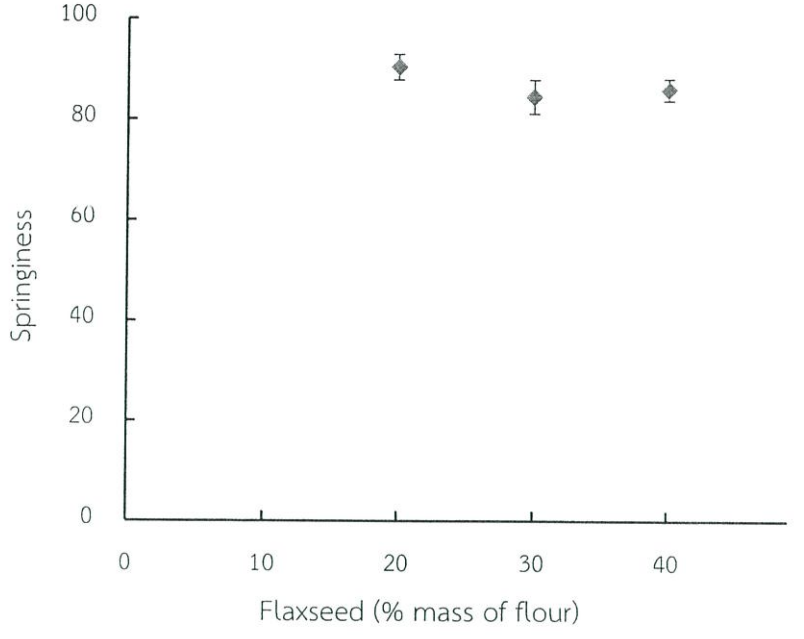
รูปที่ 4.16 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า adhesiveness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



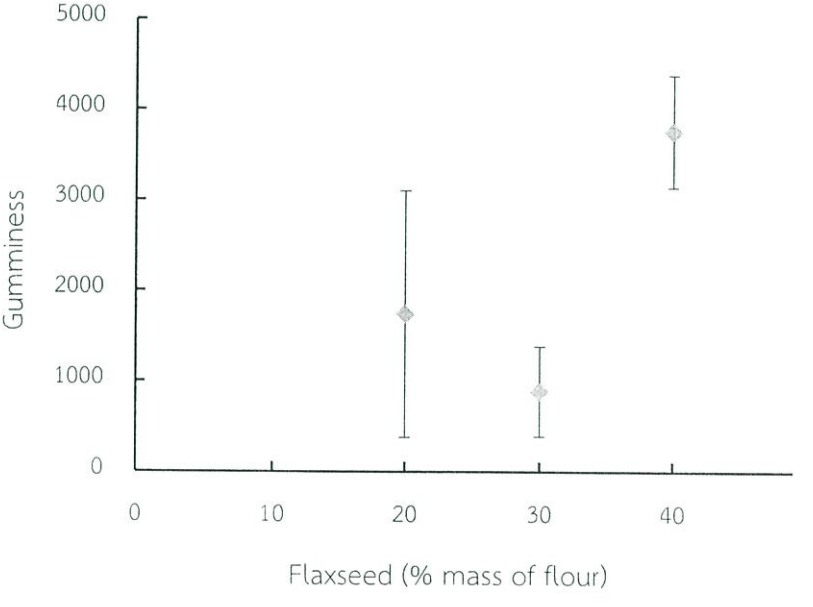
รูปที่ 4.17 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า cohesiveness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



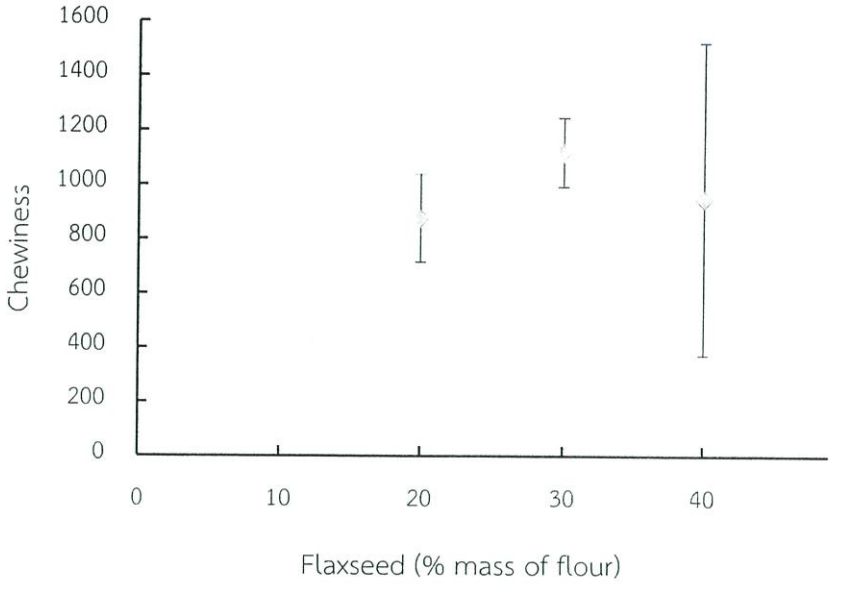
รูปที่ 4.18 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า springiness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.19 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า gumminess ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.20 ผลของเมล็ดลินินต่อค่า chewiness ของขนมปัง
ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เนื่องจากปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่นเนื้อของขนมปังมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการกักเก็บก๊าซของโครงสร้างกลูเตนในโด เมื่อภายในโดมีโครงสร้างของกลูเตนมากจะส่งผลให้โดมี ความสามารถในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักของยีสต์ได้มากขึ้น หลังจากอบจึงมีส่วน ของโพรงอากาศมาก เนื้อของขนมปังจึงนุ่ม แต่ในกรณีที่เติมธัญพืช จะแทรกเข้าไปอยู่ในโครงร่างของขนมปัง ส่งผลให้การรวมตัวกันของกลูเตนินและไกลอะดินเพื่อเป็นโครงสร้างของกลูเตนเกิดขึ้นน้อย จึงกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่าง การหมักได้ไม่ดี ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณธัญพืชในขนมปังอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังเปลี่ยนแปลง (จริยา และคณะ, 2554) ในขั้นตอนการทดลองอาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด เช่น ขนมปังบางชิ้นมีการเกิดโพรงอากาศมาก ธัญพืชที่ผสมลงไปไม่ถั่วแผ่นของขนมปัง อาจมีบางส่วนของขนมปังมีธัญพืชมากหรือน้อยกว่าส่วนอื่น ทำให้ผลทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของขนมปัง

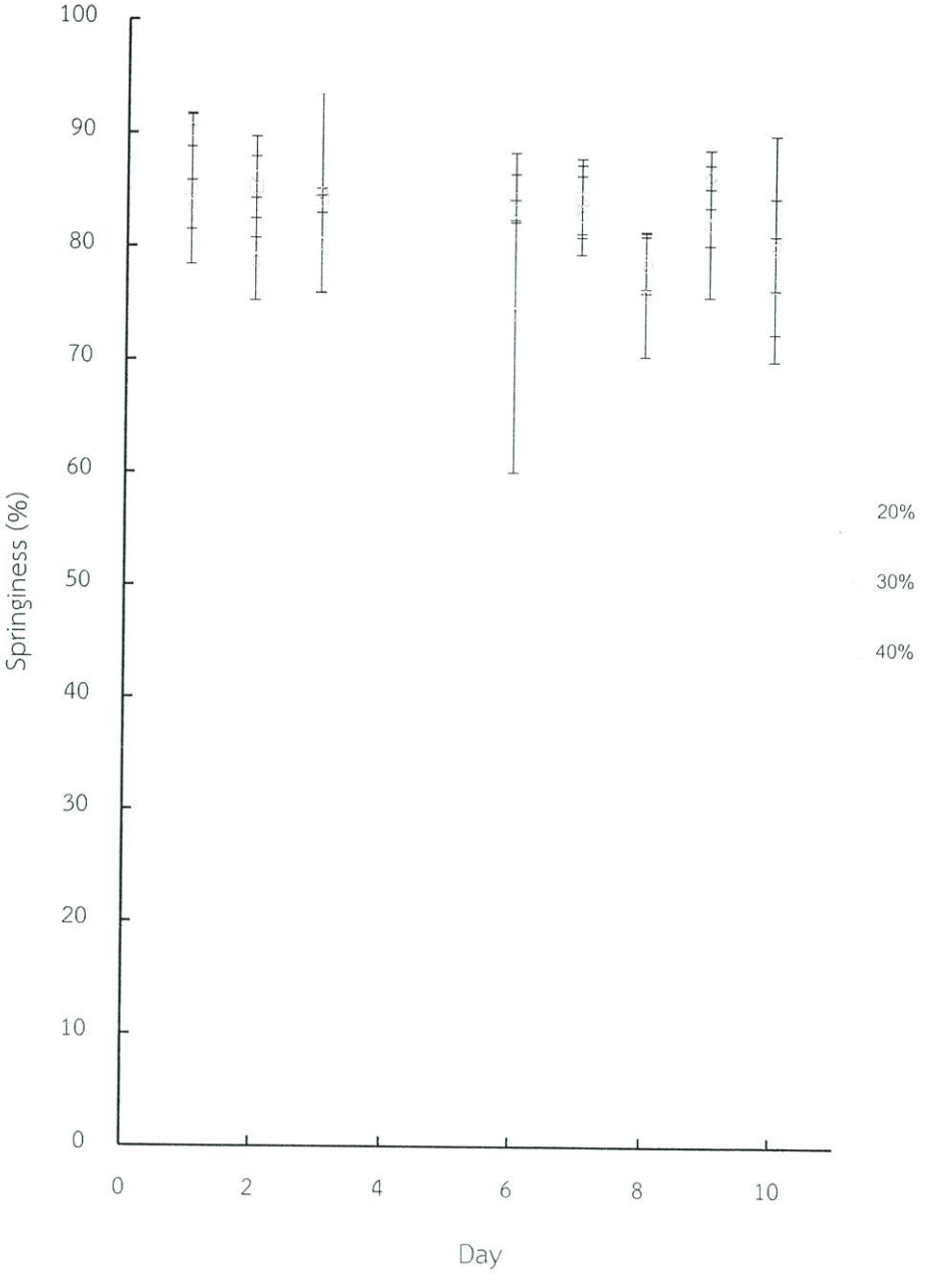
	Hardness(N)	Adhesiveness(N.s)	Cohesiveness	Springiness(%)	Gumminess	Chewiness
ถั่วแดง						
20%	1689.47±1216.46[a]	0.70±0.92	0.61±0.12	88.32±4.92	938.07±463.12[a]	819.14±369.75[a]
30%	3135.21±2197.22[a]	0.071±0.79	0.56±0.12	86.35±4.70	1590.35±741.91[a]	1350.09±546.96[a]
40%	9941.98±2565.60[b]	3.02±0.99	0.39±0.06	79.94±9.98	3756.85±620.12[b]	3009.02±663.79[b]
ถั่วเขียว						
20%	5065.89±842.65[a]	0.5420±0.5124	0.38±0.02[a]	84.57±3.88	2197.21±809.14	1517.28±102.49
30%	1805.28±156.83[a]	0.5017±0.7891	0.70±0.05[ab]	81.37±17.40	1267.33±88.29	1163.02±103.50
40%	2187.21±357.88[b]	2.2943±0.3012	0.52±0.19[b]	88.67±7.32	1965.74±943.35	1697.14±657.51
เมล็ดลินิน						
20%	1522.19±346.61	0.36±0.88	0.56±0.15	90.35±2.54	1736.57±1361.05[a]	874.86±161.21
30%	1397.36±800.78	0.87±0.35	0.63±0.08	84.49±3.34	881.55±495.74[ab]	1116.79±126.52
40%	2161.24±612.21	0.13±0.97	0.53±0.07	85.90±2.15	3756.85±620.12[b]	945.66±574.05

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

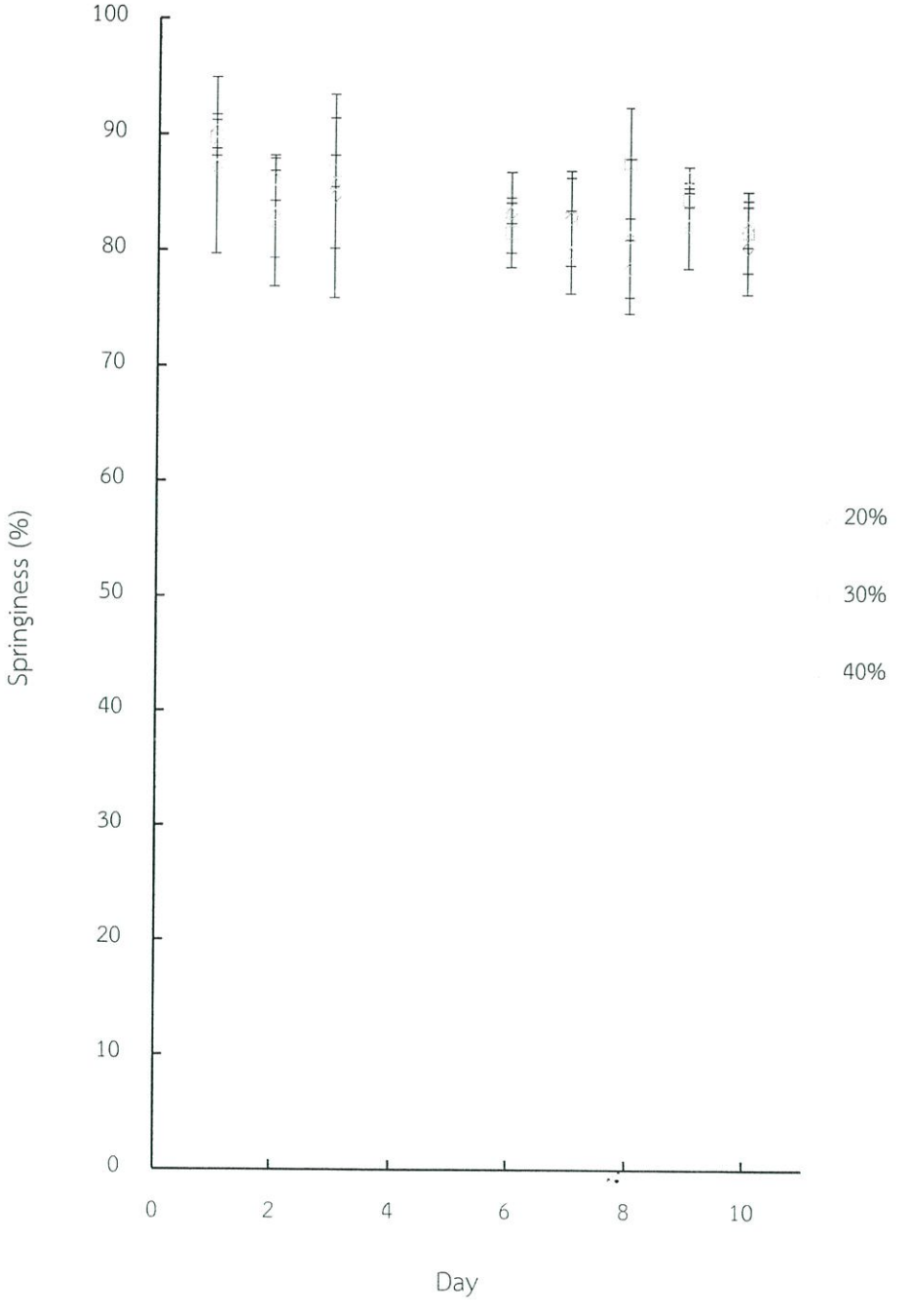
4.3 อิทธิพลของการผสมธัญพืชต่อการคืนตัวของแป้งของขนมปัง

การ staling ของขนมปังเกิดจากการรวมตัวกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน การผสมเมล็ดลินินลงในขนมปัง อาจมีไปขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างอะไมโลสและอะไมโลแพคติน การคืนตัวของแป้งจึงลดลง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ staling ในขนมปัง คือการเกิดการคืนตัวของแป้ง (Ronda and Roos, 2011) การเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง อุณหภูมิความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อนและความเย็น ระยะเวลาการเก็บรักษา ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และสารประกอบ อื่นๆ โดยเฉพาะไขมัน และความเข้มข้นของส่วนผสมอื่นๆ เช่น สารลดแรงตึงผิวและเกลือ เป็นต้น (Whistler and Bemiller, 1999)

ผลการทดลองเพื่อหาการ Staling ของขนมปังเพื่อในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ แช่เย็น เป็นเวลา 10 วัน เป็นดังรูปที่ 4.21-4.23 ในงานทดลองนี้มีการสังเกตการ staling ของขนมปังโดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่า springiness ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปค่า springiness จะลดลง ลักษณะเช่นนี้มีแนวโน้มคล้ายงานวิจัยของ (Begum, 2013) ที่ศึกษาการผลิตขนมปังด้วยแป้งข้าวโพด ซึ่งกล่าวไว้ว่าการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดในขนมปัง มีผลให้ค่า springiness มีแนวโน้มที่ลดลงจะช่วยชะลอการเกิด staling ในขนมปัง อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่าการผสมถั่วแดงลงในขนมปัง จะส่งผลให้ค่า springiness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.3)แต่การผสมถั่วเขียวและเมล็ดลินิน ไม่มีผลต่อค่า springiness อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งกล่าวได้ว่า การเพิ่มปริมาณถั่วแดงมีผลต่อการชะลอการเกิด staling ในขนมปัง

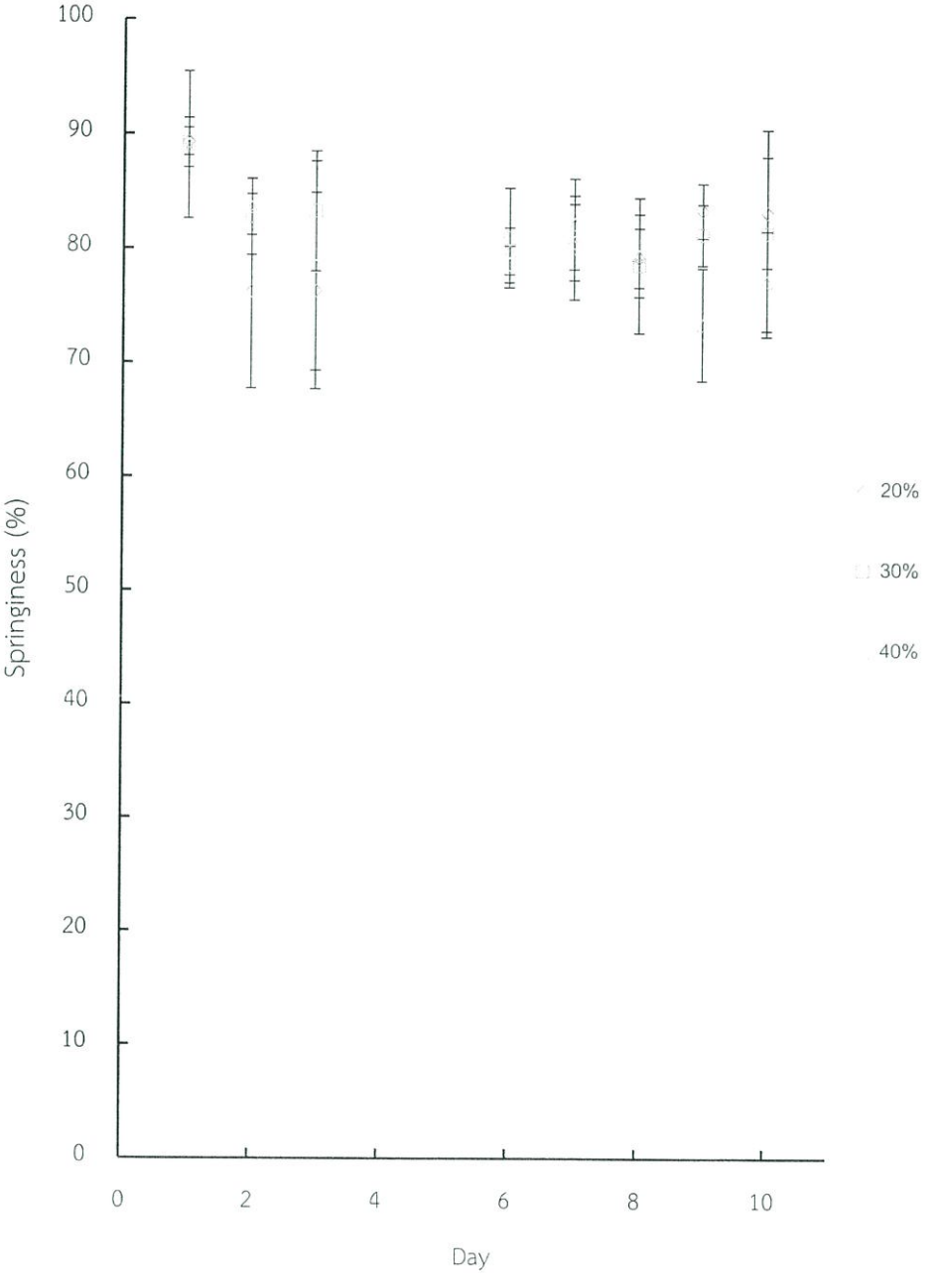


รูปที่ 4.21 ผลของการแช่เย็นขนมปังผสมถั่วแดงต่อค่า springiness ของขนมปัง ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.22 ผลของการแช่เย็นขนมปังผสมถั่วเขียวต่อค่า springiness ของขนมปัง

ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4.23 ผลของการแช่เย็นขนมปังผสมเมล็ดลินินต่อค่า springiness ของขนมปัง ข้อมูลที่แสดงในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ และค่าความคลาดเคลื่อนคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ Staling (ค่า Springiness)

	Springiness							
	1st	2nd	3rd	6th	7th	8th	9th	10th
ถั่วแดง								
20%	90.26±1.48^{a}	86.12±1.84^{ab}	84.68±8.78^{ab}	83.28±0.88^{ab}	82.84±3.47^{ab}	78.48±2.50^{ab}	86.28±1.06^{ab}	80.33±4.04^{b}
30%	85.01±6.60^{a}	85.25±4.48^{ab}	84.08±1.07^{ab}	84.33±2.13^{ab}	84.34±3.47^{ab}	78.88±2.55^{ab}	81.88±1.66^{ab}	76.71±4.31^{b}
40%	83.66±2.17^{a}	78.89±3.62^{ab}	80.28±4.26^{ab}	74.18±14.15^{ab}	84.25±3.03^{ab}	75.81±5.49^{ab}	82.13±6.51^{ab}	79.94±9.98^{b}
ถั่วเขียว								
20%	90.26±1.48^{a}	86.12±1.84^{ab}	84.68±8.78^{ab}	83.28±0.88^{ab}	82.84±3.47^{b}	78.48±2.50^{b}	86.37±0.90^{b}	80.33±4.04^{b}
30%	89.69±1.54^{a}	82.56±5.66^{ab}	86.86±1.36^{ab}	81.59±3.00^{ab}	82.81±4.10^{b}	87.62±4.76^{b}	84.47±0.61^{b}	81.66±3.49^{b}
40%	87.32±7.61^{a}	83.12±3.77^{ab}	85.81±5.62^{ab}	83.32±3.48^{ab}	79.89±3.59^{b}	81.28±6.68^{b}	82.23±3.73^{b}	82.12±1.73^{b}
เมล็ดลินิน								
20%	89.30±1.19^{a}	76.22±8.50^{b}	76.27±8.60^{b}	78.63±1.60^{b}	80.58±3.33^{b}	79.17±2.59^{b}	83.31±2.38b	83.18±4.85^{b}
30%	89.21±2.15^{a}	82.75±3.35^{b}	83.26±5.24^{b}	80.93±4.55^{b}	80.09±4.55^{b}	78.53±5.91^{b}	81.22±2.66b	81.35±9.03^{b}
40%	89.01±6.41^{a}	83.59±2.45^{b}	78.46±9.15^{b}	79.78±2.05^{b}	82.14±3.95^{b}	79.38±3.62^{b}	73.36±4.93b	77.19±4.36^{b}

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

4.4 อิทธิพลของการผสมธัญพืชต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

โดยจากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 2.24 - 2.26 แสดงผลคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของขนมปังที่ผสมธัญพืช

การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านสี พบว่าปริมาณของถั่วเขียวและเมล็ดลินินมีผลต่อความชอบอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนขนมปังที่ผสมถั่วแดงที่ปริมาณต่างกันไม่สามารถสรุปได้ว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าคะแนนความชอบด้านสีของขนมปังที่ผสมถั่วแดง 20% และ 30% ถั่วเขียว 20% และเมล็ดลินิน 30% และ 40% มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.50 – 6.39 คะแนน ซึ่งแปลผลได้ว่า ผู้ทดสอบมีความชอบเล็กน้อย แต่ขนมปังที่ผสมถั่วเขียว 30% และ 40% มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.60 – 5.49 คะแนน แปลว่าผู้ทดสอบบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ และขนมปังที่ผสมถั่วแดง 40% และเมล็ดลินิน 20% มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.40 – 7.29 ซึ่งแปลผลได้ว่าผู้ทดสอบมีความชอบปานกลาง

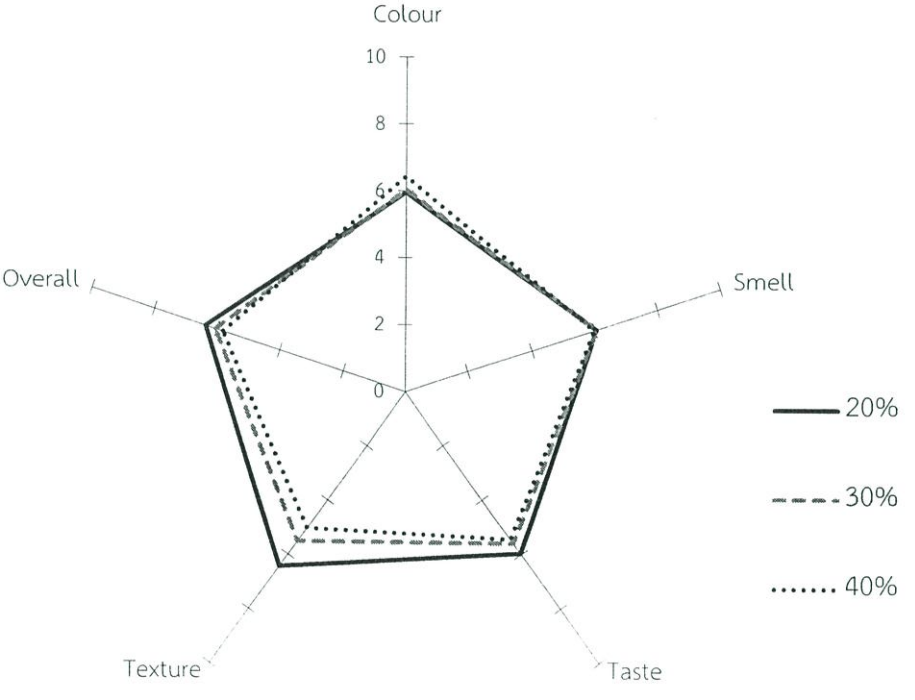
การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านกลิ่น พบว่า ปริมาณของเมล็ดธัญพืชที่ผสมมีผลต่อความอย่างมีนัยสำคัญ โดยขนมปังที่ผสมถั่วแดงที่ปริมาณต่าง ๆ และขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 20% และ 30% มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.50 – 6.39 แปลได้ว่าผู้ทดสอบมีความชอบเล็กน้อย แต่ขนมปังที่ผสมถั่วเขียวที่ปริมาณต่าง ๆ และขนมปังที่ผสมเมล็ดลินิน 40% ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.60 – 5.49 คะแนน แปลว่าผู้ทดสอบบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่า ปริมาณของถั่วเขียวที่ผสมในขนมปังมีผลต่อความชอบด้านรสชาติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนขนมปังที่ผสมถั่วแดงและเมล็ดลินินที่ปริมาณต่างๆ ไม่สามารถบอกได้ว่ามีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ ขนมปังที่ผสมถั่วแดงและเมล็ดลินินที่ปริมาณ 20% และ 30% มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.50 – 6.39 คะแนนซึ่งแปลผลได้ว่า ผู้ทดสอบมีความชอบเล็กน้อย ส่วนขนมปังที่ผสมถั่วเขียวในปริมาณต่าง ๆ ถั่วแดงและเมล็ดลินินที่ 40% มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.60 – 5.49 คะแนน แปลว่าผู้ทดสอบบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ

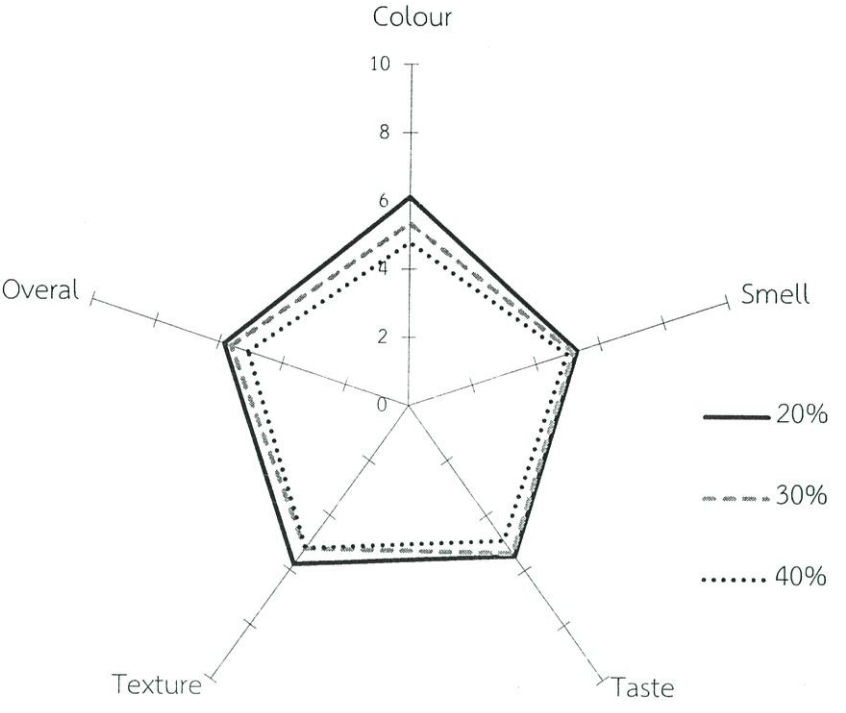
การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ปริมาณถั่วแดง ถั่วเขียว และเมล็ดลินินที่ผสมในขนมปังมีต่อความชอบด้านเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ทดสอบบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ เมื่อผสมถั่วแดง 40% ถั่วเขียว 30% และ 40% และเมล็ดลินิน 40% แต่ขนมปังที่ผสมถั่วแดง 30% ถั่วเขียว 20% และเมล็ดลินิน 30% ทดสอบมีความชอบเล็กน้อย ส่วนขนมปังที่ผสมถั่วแดง 20% และเมล็ดลินิน 20% มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากัน คือ 6.44 คะแนน ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.40 – 7.29 ซึ่งแปลผลได้ว่าผู้ทดสอบมีความชอบปานกลาง

การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม พบว่า ปริมาณถั่วแดง ถั่วเขียว และเมล็ดลินินที่ผสมในขนมปังมีต่อความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนใหญ่ผู้ทดสอบมีความชอบเล็กน้อยเมื่อผสมถั่วแดง ถั่วเขียว และเมล็ดลินินในปริมาณต่าง ๆ ในขนมปัง มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.50 – 6.39 คะแนน แปลผลได้ว่า ผู้ทดสอบมีความชอบเล็กน้อย แต่เมื่อผสมที่ผสมถั่วเขียว และเมล็ดลินิน 40% ผู้ทดสอบบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ เนื่องจากมีคะแนนเฉลี่ย 5.12 และ 4.96 คะแนนตามลำดับ ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.60 – 5.49 คะแนน

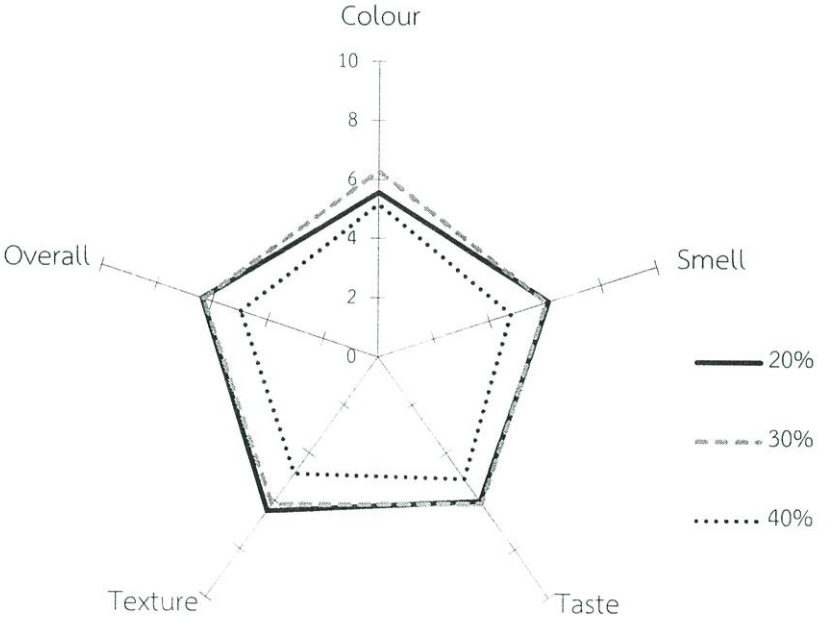
และจากตารางที่ 4.3 – 4.5 จะสามารถสังเกตได้ว่าขนมปังที่ผสมธัญพืชไม่ว่าจะเป็นถั่วแดง ถั่วเขียว หรือเมล็ดลินิน ที่ปริมาณ 20% ของน้ำหนักแป้งจะมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าปริมาณอื่นๆในทุกๆ ด้านทางประสาทสัมผัส ยกเว้นปริมาณที่ผสมถั่วแดง 40% และเมล็ดลินิน 30% มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดทางด้านสีและรสชาติ ตามลำดับ



รูปที่ 4.24 คะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังผสมถั่วแดง



รูปที่ 4.25 คะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังผสมถั่วเขียว



รูปที่ 4.26 คะแนนเฉลี่ยทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังผสมเมล็ดลินิน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมปัง

ประเภทและปริมาณของธัญพืช	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ถั่วแดง					
20%	5.96±0.89	6.04±1.51[a]	5.96±1.17	6.44±1.41[a]	6.36±1.08[a]
30%	6.04±1.06	6.04±1.59[a]	5.60±1.41	5.52±1.71[ab]	6.04±1.31[a]
40%	6.44±1.39	5.96±1.49[b]	5.44±1.47	5.04±2.07[b]	5.80±1.66[b]
ถั่วเขียว					
20%	6.12±0.93[a]	5.28±1.37a*	5.48±1.08[a]	5.80±1.04[a]	5.84±0.85[a]
30%	5.44±1.33[ab]	5.24±1.48a*	5.36±1.22[a]	5.20±1.35[ab]	5.60±1.22[a]
40%	4.72±1.54[b]	4.88±1.99b*	4.96±1.59[b]	5.24±1.48[b]	5.12±1.51[b]
เมล็ดลินิน					
20%	6.56±1.36[a]	6.12±1.83[a]	6.00±1.71	6.44±1.42[a]	6.36±1.47[a]
30%	6.28±1.72[b]	6.04±1.88[b]	6.12±1.51	6.16±1.49[b]	6.32±1.38[b]
40%	5.16±1.75[b]	4.76±1.56[b]	5.08±2.23	4.88±2.26[b]	4.96±2.01[b]

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) การผสมถั่วแดง และถั่วเขียวในขนมปังไม่มีผลต่อค่าความชื้น แต่การผสมเมล็ดลินินมีผลให้ค่าความชื้นของขนมปังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2) ค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง เมื่อผสมธัญพืชทั้งสามชนิดในปริมาณมากขึ้น

3) การเพิ่มปริมาณธัญพืชทั้งสามชนิดลงไปในขนมปังไม่ส่งผลกระทบต่อค่า adhesiveness และ springiness

4) การเพิ่มปริมาณถั่วแดงส่งผลให้ค่า hardness gumminess และ chewiness เพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการผสมถั่วแดงในปริมาณ 40% ของน้ำหนักแป้ง

5) การเพิ่มปริมาณถั่วเขียวส่งผลให้ค่า hardness ลดลง และ cohesiveness เพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการผสมถั่วเขียวในปริมาณ 30% ของน้ำหนักแป้ง

6) การเพิ่มปริมาณเมล็ดลินินส่งผลให้ค่า gumminess เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการผสมถั่วเขียวในปริมาณ 40% ของน้ำหนักแป้ง

7) การผสมถั่วแดงในขนมปัง สามารถขะลออัตราการ Staling ได้

8) โดยรวมขนมปังที่ผสมธัญพืชในปริมาณ 20% ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

คณะผู้จัดทำโครงงานมีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป ดังนี้

1) ในการศึกษาเพื่อทดสอบด้านการยอมรับของผู้บริโภค (Sensory test) ควรจะเพิ่มจำนวนผู้ทดสอบให้มากขึ้น หรือใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน

2) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการผสมธัญพืชในปริมาณที่ต่ำกว่า 20% เพราะจากการทดสอบด้านการยอมรับของผู้บริโภค ผลที่ได้ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน

3) ควรมีการทดลองเพิ่ม หากการทดลองได้ผลการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนมาก

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2543. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์.

จิตธนา แจ่มเมฆ. 2541. **เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาลัยเกษตรศาสตร์.

จริยา สุขสวัสด์, จุติมา คล้ายจันทร์, ยุวรินทร์ สุทธิพงศ์พาณิช, อรวรรณ ทองเรือง และอาภัสรา แสงนาค. 2554. **ผลของรีซิสแทนต์สตาร์ช ซูโครสเอสเทอร์ และไฮดรอกซีโพรพลิเมทลิเซลลูโลสต่อคุณภาพ ของโดและขนมปัง**. วารสารวิทยาศาสตร์ เกษตรศาสตร์ 42(2); 409-412.

ฉัตรภา หัตถโกศล. 2559. **สุขภาพดีด้วยถั่ว.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.raipoong.com/media/news_file/341-23_สุขภาพดีด้วยถั่ว_ดร.ฉัตรภา-20140801145258.pdf

ไชยา เพ็งอุ่น. 2539. **ถั่วและพืชคลุมดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: โลกดุลยภาพ; 43-50.

นิรนาม1. 2558. **ขนมปังโฮลวีท มากประโยชน์.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://health.mthai.com/howto/ health-care/6779.html

นิรนาม2. 2559. **สุขภาพดีด้วย "ถั่ว".** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.thaihealth.or.th/Content/24781-สุขภาพดีด้วย"ถั่ว".html

นิรนาม3. 2559. **ถั่วเขียว.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://th.wikipedia.org/wiki/ถั่วเขียว

นิรนาม4. 2559. **เมล็ดแฟลกซ์ ลดคอเลสเตอรอลก็ดี ต้านมะเร็งก็เริด.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://health.kapook.com/view130423.html

นิรนาม5. 2559. **Support Texture Analyzer Upgrades.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://texturetechnologies.com/texture-analyzer-upgrades.php

นิรนาม6. 2559. **มหัศจรรย์พลังของถั่ว.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.cheewajit.com/medicine/มหัศจรรย์พลังของถั่ว-2/

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. 2549. **การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร.** วารสารเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 3 ฉบับที่ 1. มิถุนายน 2549 – พฤษภาคม 2550; 7-11.

ธิษณา จรรยาชัยเลิศ. 2559. **ถั่วแดง ความลับลดอ้วน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.cheewajit.com/news/health-news/ถั่วแดงความลับลดอ้วน-2/

นูรีน ทรงศิริ เบญญาภา หงส์ชัชวาล และปฐมพงศ์ มารุตเสถียร. 2556. **อิทธิพลของเมล็ดลินินและการแช่เย็นต่อเนื้อสัมผัสของแป้งโดและคุณภาพของขนมปังเพื่อสุขภาพ.** ปริญญานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. 2554. **เทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลผลิตเกษตรและอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:งานบริการการเรียนการสอน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปริยาพร ชุนดี. 2546. **การทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้ง มันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังคืนตัว ต่อความ ไม่สดในขนมปัง.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2551. **หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เพ็ญพิชญา วัฒนศิริ, ยุวดี รัฐสถาพรชัย และศิวพร เลิศมณฑากวิน. 2547. **การศึกษาคุณสมบัติของโดและคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวหอมเสวยทดแทนแป้งสาลี.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2559. **Gluten/กลูเตน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0351/gluten-กลูเตน

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2559. **Texture / เนื้อสัมผัส.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0523/texture-เนื้อสัมผัส

พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ และคณะ. 2544. **ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.).

ฟลินน์. 2558. **ถั่วเขียว.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จากhttp://frynn.com/%E0%B8%96%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A7/

ฟลินน์. 2558. **ถั่วแดง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://frynn.com/ %E0%B8%96%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B9%81%E0%B8%94%E0%B8%87

ยุพร พืชกมุทร และวิญญ์ ผิวนิ่ม. 2554. **การปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลี.** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 3. กันยายน – ธันวาคม 2554. 607-615.

วชิรา วิเศกก์สมบูลย์. 2553. **"fibre" เส้นใยอาหารสารสำคัญเพื่อคนรักสุขภาพและรูปร่าง.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ฟีลกูด.

วรรณา ตุลยธัญ. 2551. **เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. 2525. **ทฤษฎีอาหาร เล่ม 3 หลักการทดลอง.** พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: บริษัทวรวุฒิการพิมพ์จำกัด.

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559. **งานวิจัยและพัฒนา "ถั่วแดงหลวง".** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ku.ac.th/e-magazine/may47/agri/bean.html

สุนทร ตรีนันทวัน. 2558. **ใยอาหาร กับ สุขภาพที่ดี.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://edtech.ipst.ac.th/index.php/2011-07-29-04-02-00/19-2011-08-09-06-29-18/1603-2013-12-04-07-25-23.html.

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2541. **โภชนศาสตร์เบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาลัยเกษตรศาสตร์.

Shittu, T.A., Sanni, L.O. and Arowolo T.A. 2013. **Effect of Pre-Drying and Hydrocolloid Type on Colour and Textural Properties of Coated Fried Yam Chips.** Nigerian Food Journal. 31(1):97-102.

Anil, M. 2007. **Using of hazelnut testa as a source of dietary fiber in breadmaking.** Journal Food Engineering. 80:61-67.

Anusooya, S., Dongxiao, S., SiewYoung, Q., and Conrad, O. 2010. **Properties of Bread Dough with Added Fiber Polysaccharides and Phenolic Antioxidants: A Review.** Journal Food Science. 75(8): R163-R174.

Begum, R., Uddin, M. J., Rahman, M.A. and Islam, M. S. 2013. **Comparative study on the developement of maize flour based composite bread.** Journal of Banhladesh Agricultural University. 11(1): 133-139.

Czuchajowska, Z., Pomeranz, Y. and Jeffers, H. C. **Water Activity and Moisture Content of Dough and Bread.** Cereal Chemistry. 1988;66(2):128-132.

E-Krishi Shiksha. 2016. **TECHNOLOGY OF BREAD MAKING.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/resource/view.php?id=5925

Eliasson, A.C., Gudmundsson, M. 1996. **Starch: Physicochemical and Functional Aspects.** Carbohydrates in Food. 431-503.

Elleuch, M. 2011. **Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review.** Food Chemistry. 24:411-421.

Felicidad R. and Yrjö H. Roos. 2011. **Staling of fresh and frozen gluten-free bread.** Journal of Cereal Science. 53:340-346.

Fan J. and Marks B.P. 1998. **Retrogration Kinetics of Rice Flours as Influenced by Cultivar.** Cereal Chemistry. 75(1):153-155.

Fon. 2559. **ถั่วเขียว คุณค่าสีเขียวจากธรรมชาติ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:https://www.doctor.or.th/article/detail/2908

Ghiasi, K., Hoseney, R.C., Zeleznak, K. and Rogers, D.E. 1984. **Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb.** Cereal Chemistry. 61: 281-285.

Ivory PTing. 2013. **Flaxseed.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://easydtox.blogspot.com/2013/05/flaxseed.html?m=1

Klaus, R. 2559. **Our Daily Bread — Part 2.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.chemistryviews.org/details/ezine/4436041/Our_Daily_Bread__Part_2.html

Larmond, E. 2559. **What is the smiley face scale?.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:http://people.oreg onstate.edu/~calverta/learn/faq/faq_sensory_smileyface.html

Malinee139. 2559. **คุณลักษณะภายนอกและภายในของขนมปังที่ดีมีลักษณะ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://iam.hunsa.com/malinee139/article/13417

National Agricultural Library. 2559. **Nutrient Data Lab.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://ndb.nal.usda.gov/

Noël Haegens. **Staling.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.classofoods.com/page3_3.html

Saha, S., Gupta, A., Singh, S.R.K., Bharti, N., Singh, K.P., Mahajan, V. and Gupta, H.S. 2011. **Compositional and varietal influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit.** Lebensmittel-Wissenschaft and Technology - Food Science Technologies. 44:616-621.

United States Department of Agriculture. 2015.**Nutrient database.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://ndb.nal.usda.gov/ndb/ foods.

Whistler, R.L. and Bemiller, J.N. 1999. **Carbohydrate** Chemistry **for Food Scientists.** American Association of Cereal Chemists.

Yalcın, C. and Ersan, K. 2007. **Some physical properties of flaxseed.** Journal of Food Engineering. 78:1067-1073.

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและคุณภาพของขนมปัง

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

อุปกรณ์

1. งาขาว
2. ภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่กว่าก้อนขนมปัง ไม่ต้องมีฝาปิด
3. ถาดสำหรับวางภาชนะ
4. ไม้บรรทัดสำหรับปาดงาขาวส่วนเกิน
5. เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
6. อุปกรณ์ในการหาความหาแน่นรวม ได้แก่ กรวย ขาตั้ง และภาชนะที่ทราบปริมาตร

วิธีการทดลอง

1. เมื่ออบขนมปังเสร็จแล้ว นำออกจากพิมพ์ พักไว้ให้ขนมปังเย็นตัวลง ชั่งน้ำหนักของขนมปัง
2. วัดความหนาแน่นของงาขาว โดยนำงาขาวใส่ลงในภาชนะทราบปริมาตรผ่านกรวย จนเต็มโดยไม่มีการอัดแน่น ปาดงาส่วนเกินออก นำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณค่าความหนาแน่นรวมโดยความหนาแน่นของงาขาว เท่ากับ น้ำหนักของงาขาวหารด้วยปริมาตรของภาชนะ
3. วางภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมไว้ตรงกลางถาด เทงาใส่ภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมด้วยความเร็วสม่ำเสมอจนล้น ใช้ไม้บรรทัดปาดงาส่วนที่เกินออกโดยปาดจากตรงกลางออกสองข้าง เอางาส่วนที่เกินออก เทงาที่อยู่ในภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยมเก็บไว้
4. บรรจุขนมปังลงในภาชนะรูปทรงสี่เหลี่ยม เติมงาขาวเขียวจากที่เก็บไว้ก่อนหน้าให้เต็มภาชนะ ปาดงาขาวส่วนที่เกินจากขอบภาชนะออก
5. ชั่งน้ำหนักของงาขาวส่วนเกิน
6. คำนวณหาปริมาตรของงาขาวที่ถูกแทนที่ได้จาก

$$\text{ปริมาตรงาขาวส่วนเกิน} = \frac{\text{น้ำหนักของงาขาวส่วนเกิน}}{\text{ความหนาแน่นของงาขาว (bulk density)}}$$

7. คำนวณค่าปริมาตรจำเพาะโดย

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

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC Method 44-15A

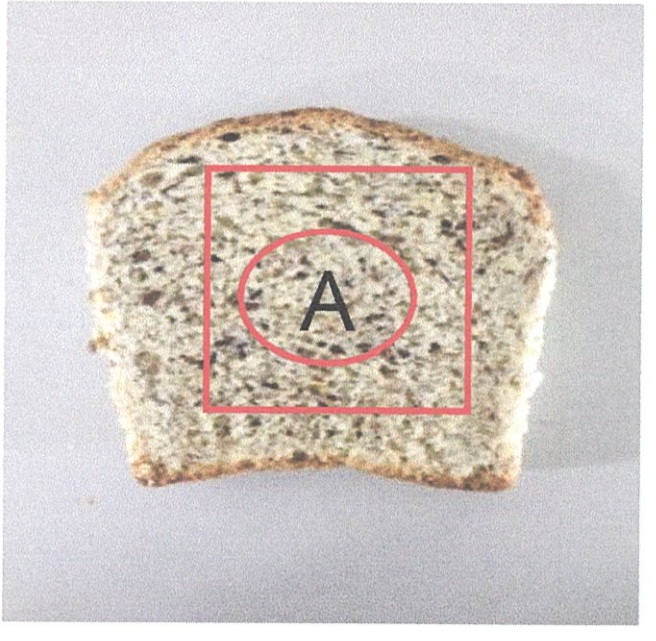
อุปกรณ์

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

วิธีการทดลอง

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

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



รูปที่ ก.2 บริเวณชิ้นตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์หาความชื้น

ก.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ของขนมปัง

อุปกรณ์

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

วิธีการทดลอง

1. ตัดขนมปังเป็นแผ่นหนา 2 cm
2. ทดสอบค่าเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยการวัดแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างขนมปังลงไปเป็นระยะทาง 50% ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Typical Texture Expert™ และมีรายละเอียดการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

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

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

รูปที่ ก.3 ลักษณะการวางชิ้นตัวอย่างแป้งโด

ก.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส วิธีฮีโดนิก (Hedonic test)

อุปกรณ์

1. แบบทดสอบ
2. ปากกา
3. ตัวอย่างขนมปัง

วิธีการทดลอง

1. เสนอตัวอย่างขนมปัง (รูปที่ ก.4.1) และแบบทดสอบ (รูปที่ ก.4.2) ให้แก่ผู้ทดสอบ
2. ผู้ทดสอบทำการประเมินความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์
3. ผู้ทดสอบส่งตัวอย่างคืนพร้อมกับแบบสอบถาม
4. นำผลจากการทดสอบที่ได้ไปวิเคราะห์

รูปที่ ก.4.1 ตัวอย่างขนมปัง

แบบทดสอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมปังถั่วแดง

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

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส			
	008	324	735	942
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

รูปที่ ก.4.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปัง

ข.1 เครื่องปั่นผสม

รูปที่ ข.1 เครื่องปั่นผสม Kitchen Aid รุ่น 5KSM150PSE

ข.2 เตาอบขนมปัง

รูปที่ ข.2 เตาอบขนมปัง ยี่ห้อ Nesco รุ่น NC-5135

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค

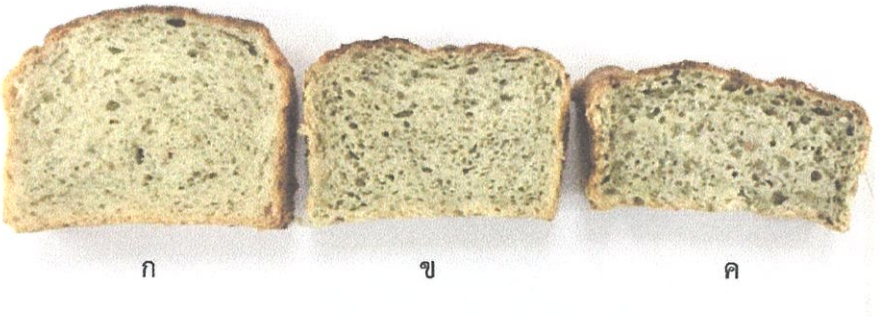
ลักษณะของขนมปัง

ค.1 ลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์

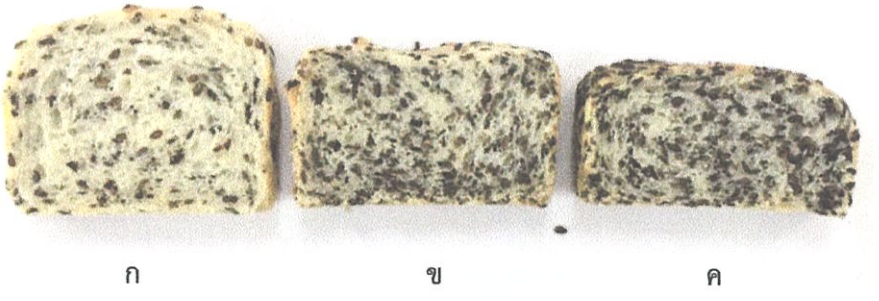
รูปที่ ค.1 ลักษณะภายนอกของขนมปัง

ค.2 ลักษณะภายในของผลิตภัณฑ์

รูปที่ ค.2.1 ลักษณะภายในขนมปังผสมถั่วแดง ก) 20% ข) 30% ค) 40% ของน้ำหนักแป้ง



รูปที่ ค.2.2 ลักษณะภายในขนมปังผสมถั่วเขียว ก) 20% ข) 30% ค) 40% ของน้ำหนักแป้ง



รูปที่ ค.2.3 ลักษณะภายในขนมปังผสมเมล็ดลินิน ก) 20% ข) 30% ค) 40% ของน้ำหนักแป้ง

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ง.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านคุณลักษณะทางกายภาพ

ผลของการผสมถั่วแดงต่อความชื้นของขนมปัง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Moisture content

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.869[a]	2	.434	.127	.883
Intercept	14483.320	1	14483.320	4238.538	.000
Percent	.869	2	.434	.127	.883
Error	20.502	6	3.417		
Total	14504.691	9			
Corrected Total	21.371	8			

a. R Squared = .041 (Adjusted R Squared = -.279)

Moisture content

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset 1
40%	3	39.6833
30%	3	40.2633
20%	3	40.4000
Sig.		.885

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3.417.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

ผลของการผสมถั่วแดงต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Specific volume

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.559[a]	2	.779	22.109	.002
Intercept	48.907	1	48.907	1387.206	.000
Percent	1.559	2	.779	22.109	.002
Error	.212	6	.035		
Total	50.677	9			
Corrected Total	1.770	8			

a. R Squared = .881 (Adjusted R Squared = .841)

Specific volume

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset 1	Subset 2
40%	3	1.8567	
30%	3	2.2667	
20%	3		2.8700
Sig.		.082	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .035.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

ผลของการผสมถั่วเขียวต่อความชื้นของขนมปัง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Moisture content

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22.798[a]	2	11.399	1.234	.356
Intercept	18101.012	1	18101.012	1959.983	.000
Percent	22.798	2	11.399	1.234	.356
Error	55.412	6	9.235		
Total	18179.221	9			
Corrected Total	78.210	8			

a. R Squared = .291 (Adjusted R Squared = .055)

Moisture content

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset 1
20%	3	43.4000
30%	3	44.0767
40%	3	47.0633
Sig.		.365

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 9.235.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

ผลของการผสมถั่วเขียวต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Specific volume

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.898[a]	2	.449	6.135	.035
Intercept	40.832	1	40.832	558.070	.000
Percent	.898	2	.449	6.135	.035
Error	.439	6	.073		
Total	42.169	9			
Corrected Total	1.337	8			

a. R Squared = .672 (Adjusted R Squared = .562)

Specific volume

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset 1	Subset 2
40%	3	1.7233	
30%	3	2.1733	2.1733
20%	3		2.4933
Sig.		.184	.377

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .073.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

ผลของการผสมเมล็ดลินินต่อความชื้นของขนมปัง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Moisture content

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	79.582[a]	2	39.791	5.638	.042
Intercept	15307.463	1	15307.463	2168.961	.000
Percent	79.582	2	39.791	5.638	.042
Error	42.345	6	7.058		
Total	15429.391	9			
Corrected Total	121.927	8			

a. R Squared = .653 (Adjusted R Squared = .537)

Moisture content

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset 1	Subset 2
20%	3	37.9000	
40%	3	40.7000	40.7000
30%	3		45.1233
Sig.		.450	.184

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7.058.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

ผลของการผสมเมล็ดลินินต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Specific volume

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.803[a]	2	.401	31.858	.001
Intercept	38.771	1	38.771	3077.093	.000
Percent	.803	2	.401	31.858	.001
Error	.076	6	.013		
Total	39.650	9			
Corrected Total	.878	8			

a. R Squared = .914 (Adjusted R Squared = .885)

Specific volume

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset		
		1	2	3
40%	3	1.7367		
30%	3		2.0267	
20%	3			2.4633
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .013.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

ง.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสของขนมปัง

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังผสมถั่วแดง

Hardness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	116526313.877 [a]	2	58263156.938	13.560	.006
Intercept	218054365.689	1	218054365.689	50.750	.000
Percent	116526313.877	2	58263156.938	13.560	.006
Error	25779626.830	6	4296604.472		
Total	360360306.396	9			
Corrected Total	142305940.707	8			

a. R Squared = .819 (Adjusted R Squared = .758)

Hardness

Tukey HSD

Percent	N	Subset	
		1	2
20%	3	1689.4680	
30%	3	3135.2127	
40%	3		9941.9833
Sig.		.686	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 4296604.472.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Adhesiveness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: adhesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.515[a]	2	7.757	2.252	.186
Intercept	13.340	1	13.340	3.872	.097
Percent	15.515	2	7.757	2.252	.186
Error	20.672	6	3.445		
Total	49.526	9			
Corrected Total	36.187	8			

a. R Squared = .429 (Adjusted R Squared = .238)

Adhesiveness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
40%	3	-3.0193
20%	3	-.7047
30%	3	.0717
Sig.		.184

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 3.445.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Cohesiveness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Cohesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.084[a]	2	.042	3.747	.088
Intercept	2.442	1	2.442	217.301	.000
Percent	.084	2	.042	3.747	.088
Error	.067	6	.011		
Total	2.594	9			
Corrected Total	.152	8			

a. R Squared = .555 (Adjusted R Squared = .407)

Cohesiveness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
40%	3	.3873
30%	3	.5620
20%	3	.6133
Sig.		.089

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .011.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Springiness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	115.230[a]	2	57.615	1.184	.369
Intercept	64832.533	1	64832.533	1332.842	.000
Percent	115.230	2	57.615	1.184	.369
Error	291.854	6	48.642		
Total	65239.617	9			
Corrected Total	407.084	8			

a. R Squared = .283 (Adjusted R Squared = .044)

Springiness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
40%	3	79.9433
30%	3	86.3543
20%	3	88.3247
Sig.		.367

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 48.642.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Gumminess

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Gumminess

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13064671.369[a]	2	6532335.685	17.049	.003
Intercept	39504593.832	1	39504593.832	103.104	.000
Percent	13064671.369	2	6532335.685	17.049	.003
Error	2298909.566	6	383151.594		
Total	54868174.767	9			
Corrected Total	15363580.935	8			

a. R Squared = .850 (Adjusted R Squared = .800)

Gumminess

Tukey HSD

Percent	N	Subset	
		1	2
20%	3	938.0720	
30%	3	1590.3490	
40%	3		3756.8470
Sig.		.450	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 383151.594.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Chewiness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Chewiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7829468.374[a]	2	3914734.187	13.399	.006
Intercept	26814279.967	1	26814279.967	91.778	.000
Percent	7829468.374	2	3914734.187	13.399	.006
Error	1752994.763	6	292165.794		
Total	36396743.103	9			
Corrected Total	9582463.137	8			

a. R Squared = .817 (Adjusted R Squared = .756)

Chewiness

Tukey HSD

Percent	N	Subset	
		1	2
20%	3	819.1457	
30%	3	1350.0893	
40%	3		3009.0157
Sig.		.494	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 292165.794.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังผสมถั่วเขียว

Hardness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19064321.896[a]	2	9532160.948	33.146	.001
Intercept	82054429.392	1	82054429.392	285.330	.000
Percent	19064321.896	2	9532160.948	33.146	.001
Error	1725466.675	6	287577.779		
Total	102844217.962	9			
Corrected Total	20789788.570	8			

a. R Squared = .917 (Adjusted R Squared = .889)

Hardness

Tukey HSD

Percent	N	Subset	
		1	2
30%	3	1805.2857	
40%	3	2187.2063	
20%	3		5065.8980
Sig.		.676	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 287577.779.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Adhesiveness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Adhesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11.978[a]	2	5.989	1.160	.375
Intercept	5.451	1	5.451	1.056	.344
Percent	11.978	2	5.989	1.160	.375
Error	30.983	6	5.164		
Total	48.411	9			
Corrected Total	42.960	8			

a. R Squared = .279 (Adjusted R Squared = .038)

Adhesiveness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
40%	3	-2.2943
20%	3	-.5420
30%	3	.5017
Sig.		.353

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 5.164.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Cohesiveness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable. Cohesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.153[a]	2	.076	5.710	.041
Intercept	2.586	1	2.586	193.602	.000
Percent	.153	2	.076	5.710	.041
Error	.080	6	.013		
Total	2.818	9			
Corrected Total	.233	8			

a. R Squared = .656 (Adjusted R Squared = .541)

Cohesiveness

Tukey HSD

Percent	N	Subset	
		1	2
20%	3	.3863	
40%	3	.5180	.5180
30%	3		.7037
Sig.		.401	.201

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .013.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Springiness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	80.336[a]	2	40.168	.324	.735
Intercept	64824.724	1	64824.724	523.451	.000
Percent	80.336	2	40.168	.324	.735
Error	743.047	6	123.841		
Total	65648.107	9			
Corrected Total	823.383	8			

a. R Squared = .098 (Adjusted R Squared = -.203)

Springiness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
30%	3	81.3683
20%	3	84.5703
40%	3	88.6683
Sig.		.715

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 123.841.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Gumminess

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Gumminess

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1406030.011[a]	2	703015.006	1.359	.326
Intercept	29488002.422	1	29488002.422	56.985	.000
Percent	1406030.011	2	703015.006	1.359	.326
Error	3104841.217	6	517473.536		
Total	33998873.650	9			
Corrected Total	4510871.229	8			

a. R Squared = .312 (Adjusted R Squared = .082)

Gumminess

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
30%	3	1267.3317
40%	3	1965.7440
20%	3	2197.2100
Sig.		.322

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 517473.536.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Chewiness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Chewiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	443131.605[a]	2	221565.803	1.466	.303
Intercept	19162036.401	1	19162036.401	126.749	.000
Percent	443131.605	2	221565.803	1.466	.303
Error	907082.765	6	151180.461		
Total	20512250.771	9			
Corrected Total	1350214.370	8			

a. R Squared = .328 (Adjusted R Squared = .104)

Chewiness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
30%	3	1163.0240
20%	3	1517.2787
40%	3	1697.1437
Sig.		.286

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 151180.461.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังผสมเมล็ดลินิน

Hardness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Hardness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1007468.147[a]	2	503734.074	.514	.622
Intercept	25814423.637	1	25814423.637	26.360	.002
Percent	1007468.147	2	503734.074	.514	.622
Error	5875862.963	6	979310.494		
Total	32697754.747	9			
Corrected Total	6883331.110	8			

a. R Squared = .146 (Adjusted R Squared = -.138)

Hardness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
30%	3	1397.3593
20%	3	1522.1937
40%	3	2161.2367
Sig.		.634

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 979310.494.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Adhesiveness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Adhesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.317[a]	2	1.159	3.000	.125
Intercept	.401	1	.401	1.039	.347
Percent	2.317	2	1.159	3.000	.125
Error	2.317	6	.386		
Total	5.035	9			
Corrected Total	4.634	8			

a. R Squared = .500 (Adjusted R Squared = .333)

Adhesiveness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
30%	3	-.8703
40%	3	-.1270
20%	3	.3640
Sig.		.111

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

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

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Cohesiveness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Cohesiveness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.017[a]	2	.009	.729	.521
Intercept	2.960	1	2.960	253.456	.000
Percent	.017	2	.009	.729	.521
Error	.070	6	.012		
Total	3.047	9			
Corrected Total	.087	8			

a. R Squared = .196 (Adjusted R Squared = -.073)

Cohesiveness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
40%	3	.5303
20%	3	.5570
30%	3	.6330
Sig.		.514

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .012.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Springiness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	56.132[a]	2	28.066	3.787	.086
Intercept	67986.217	1	67986.217	9173.404	.000
Percent	56.132	2	28.066	3.787	.086
Error	44.467	6	7.411		
Total	68086.816	9			
Corrected Total	100.599	8			

a. R Squared = .558 (Adjusted R Squared = .411)

Springiness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
30%	3	84.4897
40%	3	85.9017
20%	3	90.3503
Sig.		.086

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7.411.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Gumminess

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Gumminess

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13079882.291[a]	2	6539941.146	7.902	.021
Intercept	40640306.251	1	40640306.251	49.107	.000
Percent	13079882.291	2	6539941.146	7.902	.021
Error	4965551.707	6	827591.951		
Total	58685740.249	9			
Corrected Total	18045433.998	8			

a. R Squared = .725 (Adjusted R Squared = .633)

Gumminess

Tukey HSD

Percent	N	Subset	
		1	2
30%	3	881.5520	
20%	3	1736.5760	1736.5760
40%	3		3756.8470
Sig.		.521	.077

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 827591.951.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

Chewiness

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Chewiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	92872.593[a]	2	46436.297	.375	.702
Intercept	8626677.811	1	8626677.811	69.657	.000
Percent	92872.593	2	46436.297	.375	.702
Error	743068.853	6	123844.809		
Total	9462619.257	9			
Corrected Total	835941.447	8			

a. R Squared = .111 (Adjusted R Squared = -.185)

Chewiness

Tukey HSD

Percent	N	Subset
		1
20%	3	874.8613
40%	3	945.4627
30%	3	1116.7967
Sig.		.693

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 123844.809.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = 0.05.

ง.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการ Staling (ค่า Springiness) ของขนมปังที่เก็บไว้ในอุณหภูมิตู้เย็นเป็นเวลา 10วัน

ขนมปังผสมถั่วแดง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	972.970[a]	23	42.303	1.573	.093
Intercept	486037.199	1	486037.199	18068.716	.000
Percent	211.526	2	105.763	3.932	.026
Days	504.157	7	72.022	2.677	.020
Percent * Days	257.287	14	18.378	.683	.779
Error	1291.170	48	26.899		
Total	488301.339	72			
Corrected Total	2264.140	71			

a. R Squared = .430 (Adjusted R Squared = .156)

Springiness

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset	
		1	2
4.00	24	79.8923	
3.00	24	82.5582	82.5582
2.00	24		84.0341
Sig.		.187	.589

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 26.899.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24.000.

b. Alpha = 0.05.

Springiness

Tukey HSD[a,b]

Days	N	Subset 1	Subset 2
10.00	9	77.7238	
8.00	9	78.9942	78.9942
6.00	9	80.5940	80.5940
3.00	9	83.0132	83.0132
2.00	9	83.4198	83.4198
9.00	9	83.4290	83.4290
7.00	9	83.8086	83.8086
1.00	9		86.3097
Sig.		.225	.077

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 26.899.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = 0.05.

ขนมปังผสมถั่วเขียว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	632.025[a]	23	27.479	1.624	.078
Intercept	507378.690	1	507378.690	29977.247	.000
Days	402.764	7	57.538	3.399	.005
Percent	28.128	2	14.064	.831	.442
Days * Percent	201.133	14	14.367	.849	.615
Error	812.422	48	16.925		
Total	508823.137	72			
Corrected Total	1444.447	71			

a. R Squared = .438 (Adjusted R Squared = .168)

Springiness

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset 1
4.00	24	83.1356
2.00	24	84.0454
3.00	24	84.6569
Sig.		.413

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 16.925.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24.000.

b. Alpha = 0.05.

Springiness

Tukey HSD[a,b]

Days	N	Subset 1	Subset 2
10.00	9	81.3697	
7.00	9	81.8460	
8.00	9	82.4601	
9.00	9	82.7283	
2.00	9	83.9320	83.9320
6.00	9	84.3562	84.3562
3.00	9	85.7853	85.7853
1.00	9		89.0901
Sig.		.327	.161

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 16.925.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = 0.05.

ขนมปังผสมเมล็ดลินิน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Springiness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1113.901[a]	23	48.430	1.903	.030
Intercept	473805.047	1	473805.047	18620.422	.000
Percent	41.972	2	20.986	.825	.444
Days	701.851	7	100.264	3.940	.002
Percent * Days	370.079	14	26.434	1.039	.434
Error	1221.382	48	25.445		
Total	476140.330	72			
Corrected Total	2335.283	71			

a. R Squared = .477 (Adjusted R Squared = .226)

Springiness

Tukey HSD[a,b]

Percent	N	Subset 1
4.00	24	80.3641
2.00	24	80.8327
3.00	24	82.1664
Sig.		.437

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 25.445.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 24.000.

b. Alpha = 0.05.

Springiness

Tukey HSD[a,b]

Days	N	Subset	
		1	2
8.00	9	79.0258	
9.00	9	79.2943	
3.00	9	79.3296	
6.00	9	79.7788	
10.00	9	80.5756	
2.00	9	80.8568	
7.00	9	80.9341	
1.00	9		89.1736
Sig.		.992	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 25.445.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.

b. Alpha = 0.05.

ง.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านความชอบของผู้บริโภค

ความชอบทางด้านสีของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วแดง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Color

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.655[a]	4	2.414	1.499	.209
Intercept	908.121	1	908.121	564.105	.000
Person	.185	1	.185	.115	.735
Percent	9.470	3	3.157	1.961	.125
Error	152.935	95	1.610		
Total	4119.000	100			
Corrected Total	162.590	99			

a. R Squared = .059 (Adjusted R Squared = .020)

ความชอบทางด้านกลิ่นของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วแดง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Smell

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	60.111[a]	4	15.028	7.331	.000
Intercept	960.755	1	960.755	468.711	.000
Person	.151	1	.151	.074	.787
Percent	59.960	3	19.987	9.751	.000
Error	194.729	95	2.050		
Total	4428.000	100			
Corrected Total	254.840	99			

a. R Squared = .236 (Adjusted R Squared = .204)

ความชอบทางด้านรสชาติของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วแดง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Taste

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.991[a]	4	3.998	1.998	.101
Intercept	753.779	1	753.779	376.792	.000
Person	1.231	1	1.231	.615	.435
Percent	14.760	3	4.920	2.459	.067
Error	190.049	95	2.001		
Total	3640.000	100			
Corrected Total	206.040	99			

a. R Squared = .078 (Adjusted R Squared = .039)

ความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วแดง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Texture

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	76.009[a]	4	19.002	7.284	.000
Intercept	712.412	1	712.412	273.086	.000
Person	8.889	1	8.889	3.408	.068
Percent	67.120	3	22.373	8.576	.000
Error	247.831	95	2.609		
Total	3972.000	100			
Corrected Total	323.840	99			

a. R Squared = .235 (Adjusted R Squared = .202)

ความชอบทางด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วแดง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Total

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	35.107[a]	4	8.777	5.626	.000
Intercept	855.551	1	855.551	548.418	.000
Person	3.557	1	3.557	2.280	.134
Percent	31.550	3	10.517	6.741	.000
Error	148.203	95	1.560		
Total	4241.000	100			
Corrected Total	183.310	99			

a. R Squared = .192 (Adjusted R Squared = .157)

ความชอบทางด้านสีของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วเขียว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Color

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	99.712[a]	4	24.928	13.762	.000
Intercept	988.772	1	988.772	545.876	.000
Person	10.802	1	10.802	5.963	.016
Percent	88.910	3	29.637	16.362	.000
Error	172.078	95	1.811		
Total	3741.000	100			
Corrected Total	271.790	99			

a. R Squared = .367 (Adjusted R Squared = .340)

ความชอบทางด้านกลิ่นของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วเขียว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Smell

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	62.573[a]	4	15.643	6.524	.000
Intercept	707.242	1	707.242	294.959	.000
Person	.292	1	.292	.122	.728
Percent	62.280	3	20.760	8.658	.000
Error	227.787	95	2.398		
Total	3404.000	100			
Corrected Total	290.360	99			

a. R Squared = .215 (Adjusted R Squared = .182)

ความชอบทางด้านรสชาติของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วเขียว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Taste

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	32.592[a]	4	8.148	4.440	.002
Intercept	859.101	1	859.101	468.193	.000
Person	8.082	1	8.082	4.404	.038
Percent	24.510	3	8.170	4.452	.006
Error	174.318	95	1.835		
Total	3265.000	100			
Corrected Total	206.910	99			

a. R Squared = .158 (Adjusted R Squared = .122)

ความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วเขียว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Texture

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	33.877[a]	4	8.469	4.949	.001
Intercept	913.245	1	913.245	533.690	.000
Person	9.997	1	9.997	5.842	.018
Percent	23.880	3	7.960	4.652	.004
Error	162.563	95	1.711		
Total	3400.000	100			
Corrected Total	196.440	99			

a. R Squared = .172 (Adjusted R Squared = .138)

ความชอบทางด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมถั่วเขียว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Total

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38.480[a]	4	9.620	6.744	.000
Intercept	939.078	1	939.078	658.298	.000
Person	8.240	1	8.240	5.776	.018
Percent	30.240	3	10.080	7.066	.000
Error	135.520	95	1.427		
Total	3538.000	100			
Corrected Total	174.000	99			

a. R Squared = .221 (Adjusted R Squared = .188)

ความชอบทางด้านสีของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมเมล็ดลินิน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Color

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	58.585[a]	4	14.646	6.179	.000
Intercept	905.200	1	905.200	381.898	.000
Person	.425	1	.425	.179	.673
Percent	58.160	3	19.387	8.179	.000
Error	225.175	95	2.370		
Total	4278.000	100			
Corrected Total	283.760	99			

a. R Squared = .206 (Adjusted R Squared = .173)

ความชอบทางด้านกลิ่นของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมเมล็ดลินิน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Smell

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38.393[a]	4	9.598	3.009	.022
Intercept	756.445	1	756.445	237.172	.000
Person	.603	1	.603	.189	.665
Percent	37.790	3	12.597	3.949	.011
Error	302.997	95	3.189		
Total	3717.000	100			
Corrected Total	341.390	99			

a. R Squared = .112 (Adjusted R Squared = .075)

ความชอบทางด้านรสชาติของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมเมล็ดลินิน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Taste

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	21.000[a]	4	5.250	1.750	.146
Intercept	808.680	1	808.680	269.522	.000
Person	.000	1	.000	.000	.994
Percent	21.000	3	7.000	2.333	.079
Error	285.040	95	3.000		
Total	3740.000	100			
Corrected Total	306.040	99			

a. R Squared = .069 (Adjusted R Squared = .029)

ความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมเมล็ดลินิน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Texture

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	76.585[a]	4	19.146	7.178	.000
Intercept	927.224	1	927.224	347.597	.000
Person	.185	1	.185	.069	.793
Percent	76.400	3	25.467	9.547	.000
Error	253.415	95	2.668		
Total	4174.000	100			
Corrected Total	330.000	99			

a. R Squared = .232 (Adjusted R Squared = .200)

ความชอบทางด้านความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อขนมปังผสมเมล็ดลินิน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Total

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	52.173[a]	4	13.043	5.553	.000
Intercept	952.504	1	952.504	405.526	.000
Person	1.663	1	1.663	.708	.402
Percent	50.510	3	16.837	7.168	.000
Error	223.137	95	2.349		
Total	4033.000	100			
Corrected Total	275.310	99			

a. R Squared = .190 (Adjusted R Squared = .155)