ผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลังและ แป้งข้าวโพด

โดย

นายณัฐวุฒิ สิทธานครินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลังและ แป้งข้าวโพด

โดย
นายณัฐวุฒิ สิทธานครินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECT OF ADDING BASIL SEED POWDER ON GLUTEN-FREE SOURDOUGH BREAD MADE FROM RICE FLOUR, TAPIOCA STARCH AND CORN FLOUR

By

MR. Natthawut SITTHANAKARIN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science FOOD TECHNOLOGY

Department of FOOD TECHNOLOGY

Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	ผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลังและ แป้งข้าวโพด
โดย	นายณัฐวุฒิ สิทธานครินทร์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ถิรธรรมถาวร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร) เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ถิรธรรมถาวร)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ดร. ศันสนีย์ อุดมระติ)

630920020 : เทคโนโลยีอาหาร แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ขนมปังปลอดกลูเตน, แป้งข้าวเจ้า, เมล็ดแมงลัก

นาย ณัฐวุฒิ สิทธานครินทร์: ผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลังและ แป้งข้าวโพด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงใจ ถิรธรรมถาวร

ขนมปังแป้งหมัก มีลักษณะเนื้อเหนียวนุ่มและรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย แต่ส่วนเปลือกแข็ง ปัจจุบันมีการพัฒนาขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนเพื่อกลุ่มผู้บริโภคป่วยโรคเซลิแอค อย่างไรก็ตามอาหารปลอดกลูเตนส่วนมากแปรรูปจากแป้งหรือสตาร์ชที่ผ่านการกระบวนขัดขาว ซึ่งมีปริมาณโปรตีน แร่ธาตุ และใยอาหารต่ำ ส่งผลให้การบริโภคอาหารปลอดกลูเตนได้รับน้ำตาลสูง จึงมีการแนะนำให้ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการด้วยการเติมส่วนผสมที่มีใยอาหารมาก เช่น เมล็ดแมงลัก ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมบัติของขนมปังแป้งหมักทางการค้า(จากแป้งสาลี) และผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนจากแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพดและ สตาร์ชมันสำปะหลัง โดยปริมาณผงเมล็ดแมงลักที่เติมในการเตรียมขนมปังแป้งหมัก ได้แก่ 2, 4 และ 6 % ของน้ำหนักของแป้งทั้งหมด และวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดแมงลัก รวมถึงคุณภาพของโด (การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนและความหนืดของโด) และขนมปัง (ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ สีของเปลือกและเนื้อขนมปัง ปริมาตรจำเพาะ ปริมาณรูพรุน และลักษณะเนื้อสัมผัส) จากผลการทดลอง พบว่าเมล็ดแมงลักมีใยอาหารทั้งหมด 41.7% ขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วงเดียวกับของตัวอย่างทางการค้า และมีปริมาตรจำเพาะ (1.47-1.94 มิลลิลิตร/กรัม) ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ 2 ทางการค้า (1.57 มิลลิลิตร/กรัม) เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างควบคุมกับตัวอย่างที่ผ่านการเจลาติไนซ์บางส่วน (HTPC) พบว่า เนื้อขนมปัง HTPC มีความยืดหยุ่นและการคืนตัวที่เพิ่มมากขึ้น แต่ค่าความสว่าง (L*) ลดลง ส่วนผลการเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (0-6%) ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความหนืดของโด และความแข็งของเนื้อขนมปังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าปริมาณกรด ปริมาตรจำเพาะ และจำนวนรูพรุนลดลง แต่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ต่อความยืดหยุ่นของเนื้อขนมปัง สำหรับขนมปังปลอดกลูเตนที่เติมผงเมล็ดแมงลักปริมาณ 2% มีค่าปริมาตรจำเพาะ ความแข็ง และความยืดหยุ่นของเนื้อขนมปังไม่แตกต่างอย่างมีนัยทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า การเติมผงเมล็ดแมงลักช่วยปรับปรุงคุณภาพขนมปังปลอดกลูเตนโดยเนื้อขนมปังมีโพรง

อากาศกระจายตัวสม่ำเสมอ ความแข็งของส่วนเปลือกและกลิ่นที่ไม่ต้องการจากแป้งข้าวหมักลดลง

630920020 : Major FOOD TECHNOLOGY
Keyword : Gluten free Bread, Rice flour, Basill seed

MR. Natthawut SITTHANAKARIN : Effect of Adding Basil seed powder on Gluten-Free Sourdough Bread Made from Rice Flour, Tapioca Starch and Corn Flour Thesis advisor : Assistant Professor Doungjai Thirathumthavorn, Ph.D.

Sourdough bread has an elastic crumb, a sour taste, and a hard crust. At present, gluten-free sourdough (GFS) bread was developed for celiac patients. However, most of gluten-free foods are prepared from refined flour or starch which has low amounts of protein, minerals, and fiber. The intake of sugar is increased when consuming gluten-free foods. It is advised to fortify foods with additional ingredients, such as basil seeds. Therefore, the aim of this research was to investigate the properties of commercial sourdough bread (made from wheat flour) and to study the effect of basil seed on the qualities of GFS bread prepared from the mixture of rice flour, corn flour, and tapioca starch. The amount of basil seed powder added to GFS bread was 2, 4, and 6% of the total flour weight. The proximate composition of basil seeds, the properties of dough (thermal property and texture), and the properties of baked bread (pH, titratable acidity, crust and crumb color, specific volume, porosity, and texture) were analyzed. The results showed that basil seed contains 41.7% of total dietary fiber. The pH of the GFS bread was comparable to that of the commercial samples. The specific volume (1.47-1.94 ml/g) of the GFS bread was close to that of commercial sample No.2 (1.57 ml/g). Compared with the control sample and the partially gelatinized sample (HTPC), the HTPC bread crumb was higher elastic and resilience, but had lower brightness (L*). Increasing the amount of basil seed powder (0-6%) resulted in an increase in dough viscosity, pH, and hardness of bread crumb and a decrease in titratable acidity, specific volume, and pore number. No significant effect ($p \geq 0.05$) on the springiness of bread crumbs was found. GFS bread with 2% basil seed powder had the specific volume, hardness, and springiness comparable to the control ($p \geq 0.05$). Sensory evaluation revealed that the addition of basil seed powder improved the homogeneity of the cells, reduced the hardness of the crust, and reduce the unpleasant

odor from fermented rice flour.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้น ณ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ความเมตตา ความ ช่วยเหลือ และความมีน้ำใจจากบุคคลหลายฝ่าย ผมขอกราบขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ถิรธรรมถาวร ที่กรุณาให้การสนับสนุน ให้ความรู้ คอย ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาที่ดี รวมถึงแนวคิดในการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์และวิธีการคิดเพื่อแก้ไขปัญหาใน การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนกระทั่งงานสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร ที่มอบความรู้ทางวิชาการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ เทคโนโลยีอาหารและคำแนะนำที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมถึงขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ และ ดร.ศันสนีย์ อุดมระติ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอบคุณพี่ๆนักวิทยาศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการดำเงินงานวิจัย ขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

นาย ณัฐวุฒิ สิทธานครินทร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ฉ
กิตติกรรมประกาศ..... ซ
สารบัญ ..... ฌ
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ.....ฎ
บทที่ 1..... 1
บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา..... 2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา 2
บทที่ 2..... 3
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3
2.1ขนมปัง..... 3
2.2 ชนิดของขนมปัง 3
2.3 ขนมปังแป้งหมัก..... 4
2.4 ส่วนประกอบที่ใช้ในการทำขนมปังแป้งหมักจากแป้งสาลี 5
2.4.3 เกลือ..... 8
2.4.4 น้ำตาล 8
2.4.5 แป้งปลอดกลูเตน 9

2.6 แป้งข้าวเจ้า 10
2.7 แป้งข้าวโพด 10
2.8 สตาร์ชมันสำปะหลัง 11
2.9 องค์ประกอบของแป้ง 11
2.10 เมล็ดแมงลัก 13
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขนมปังที่ใช้กัมหรือผงจากเมล็ดพืช 14
บทที่ 3 19
วิธีดำเนินงานวิจัย 19
3.1 วัตถุดิบ 19
3.2 สารเคมี 19
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ 19
3.4 วิธีการทดลอง 20
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 24
บทที่ 4 25
ผลทดลองและการอภิปรายผล 25
4.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในผงเมล็ดแมงลัก 25
4.2 คุณภาพของขนมปังแป้งหมักทางการค้า 25
4.3 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมจาก แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งผสมที่มีการเติมเมล็ดแมงลักในปริมาณต่างๆ (2,4 และ 6%) 28
4.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนของโดขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 29
4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 31
4.6 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 32
4.7 ค่าปริมาณกรดของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 32

4.8 ค่าสีของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 33
4.9 ปริมาตรจำเพาะและความชื้นของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 36
4.10 ปริมาณและขนาดของรูพรุนในเนื้อขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 37
4.11 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 39
4.12 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเปลือกขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 40
4.13 การพรรณนาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนเทียบกับตัวอย่างทางการค้า 41
บทที่ 5 42
สรุป 42
รายการอ้างอิง 43
ภาคผนวก ก 49
ภาคผนวก ข 54
ผลการทดสอบ 54
ประวัติผู้เขียน 56

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่า pH และ ปริมาตรจำเพาะ ของขนมปังแป้งหมัก 9

ตารางที่ 2 ตารางแสดงองค์ประกอบภายในของแป้งชนิดต่างๆ..... 13

ตารางที่ 3 ตารางแสดงน้ำหนัก ปริมาณ ปริมาตรและความชื้นของขนมปัง..... 14

ตารางที่ 4 ตารางแสดงคะแนนจากการทดสอบชิม แบบ hedonic scale..... 15

ตารางที่ 5 ตารางแสดงปริมาตรจำเพาะและความค่าความแข็งของเนื้อขนมปัง..... 18

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในผงเมล็ดแมงลัก..... 25

ตารางที่ 7 ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TTA) ปริมาตรจำเพาะและความชื้นของตัวอย่างขนมปังแป้งหมักทางการค้า..... 26

ตารางที่ 8 ค่าสีของเปลือกขนมปังแป้งหมักทางการค้า 26

ตารางที่ 9 ค่าสีของเนื้อขนมปังแป้งหมักทางการค้า..... 27

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณและขนาดของรูพรุนในเนื้อขนมปังแป้งหมักทางการค้า 27

ตารางที่ 11 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของตัวอย่างเนื้อขนมปังแป้งหมักทางการค้า..... 28

ตารางที่ 12 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของตัวอย่างเปลือกขนมปังแป้งหมักทางการค้า 28

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสม (แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง และ แป้งข้าวโพด) และแป้งผสมที่มีการเติมเมล็ดแมงลักในปริมาณต่างๆ (2 - 6%)..... 29

ตารางที่ 14 ตารางแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนของโดขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน..... 30

ตารางที่ 15 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน 31

ตารางที่ 16 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของแป้งผสมก่อนและหลังหมักและขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน..... 32

ตารางที่ 17ค่าปริมาณกรด (ml NaOH 0.1N/10g) ของแป้งผสมก่อนและหลังหมักและขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน..... 33

ตารางที่ 18 ค่าสีของเปลือกของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน 34

ตารางที่ 19 ค่าสีของเนื้อของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน 35

ตารางที่ 20 ค่าปริมาตรจำเพาะและความชื้นของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน..... 37

ตารางที่ 21 ปริมาณและขนาดของรูพรุนในเนื้อขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน 38

ตารางที่ 22 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน 40

ตารางที่ 23 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเปลือกขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน..... 41

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบชิมทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้า..... 54

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบ confocal แสดงลักษณะของโดขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนสูตรควบคุมและสูตรที่ทำการเติมแป้งหมัก 20% 5

ภาพที่ 2 ภาพโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน 12

ภาพที่ 3 ภาพแสดงโครงสร้างกิ่งของอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วย สาย A, B และ C 13

ภาพที่ 4 ภาพแสดงความต่างของขนมปังสูตรควบคุมกับขนมปังที่เติมแป้งหมักจากเมล็ดเจียและเมล็ดแฟลกซ์ ในปริมาณที่ต่างกัน (A ตัวอย่างขนมปังแป้งหมักจากเมล็ดเจีย B ขนมปังแป้งหมักจากเมล็ดแฟลกซ์ Reference ขนมปังจากแป้ง sorghum 100%) 15

ภาพที่ 5 ภาพแสดงความต่างของขนมปังสูตรควบคุมกับขนมปังที่เติมแป้งหมักจากควินัว กัญชง และ เมล็ดเจีย (CB ตัวอย่างขนมปังควบคุมที่ไม่มีการเติมแป้งหมัก CCB, CHB, CQB แทนตัวอย่างของขนมปังที่ทำการเติมแป้งจาก ควินัว กัญชง และ เมล็ดเชีย แบบไม่หมักตามลำดับ FCB, FHB, FQB แทนตัวอย่างของขนมปังที่ทำการเติมเมล็ดพืชหมักจาก ควินัว กัญชง และ เมล็ดเชียตามลำดับ) 16

ภาพที่ 6 กราฟแสดงลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง c ขนมปังสูตรควบคุมจากแป้งข้าว 100% PP ขนมปังสูตรเติมเทียนเกล็ดหอยชนิด Plantago psyllium PPG ขนมปังสูตรเติมเทียนเกล็ดหอยชนิด Plantago psyllium แบบบด PO ขนมปังสูตรเติมเทียนเกล็ดหอยชนิด Plantago ovata POG ขนมปังสูตรเติมเทียนเกล็ดหอยชนิด Plantago ovata แบบบด 17

ภาพที่ 7 ภาพหน้าตัดของเนื้อขนมปังทางการค้าด้วยโปรแกรม Image J โดยภาพด้านขวาเป็นภาพถ่ายจากกล้องและถาพด้านซ้ายเป็นภาพ Binary Image จากโปรแกรม Image J 27

ภาพที่ 8 ลักษณะปรากฏของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน สูตรควบคุม (ก) สูตรการให้ความร้อนกับแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง (ข) สูตรที่เติมผงเมล็ดแมงลัก 2% (ค) 4% (ง) และ 6% (จ) 34

ภาพที่ 9 ภาพตัดขวางของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนตรควบคุม (ก) สูตรการให้ความร้อนกับแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง (ข) สูตรที่เติมผงเมล็ดแมงลัก 2% (ค) 4% (ง) และ 6% (จ) . 35

ภาพที่ 10 ภาพหน้าตัดของเนื้อขนมปังด้วยโปรแกรม Image J โดยภาพด้านขวาเป็นภาพถ่ายจากกล้องและภาพด้านซ้ายเป็นภาพ Binary Image จากโปรแกรม Image J 38

ภาพที่ 11 ตัวอย่างกราฟจากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดของขนมปังด้วยเครื่อง Texture analyzer 52

ภาพที่ 12 ตัวอย่างกราฟจากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ TPA ด้วยเครื่อง Texture analyzer 53

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กลูเตนเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งซึ่งพบมากในข้าวสาลี ข้าวไรย์ และข้าวบาร์เลย์ คนที่แพ้กลูเตนจะมีอาการต่าง ๆ แตกต่างกัน เช่น ผื่นผิวหนังอักเสบ ท้องเสีย ปวดท้อง ปวดเกร็งในช่องท้อง ปวดข้อ ปวดตามตัว และ ปวดศีรษะเป็นต้น เนื่องจากคนที่แพ้กลูเตนจะมีการดูดซึมอาหารผิดปกติ ซึ่งเกิดจากการที่ลำไส้เล็กมีปัญหา โดยผู้ป่วยจะได้รับคำแนะนำให้งดอาหารที่มีกลูเตน เนื่องจากอาจเป็นปัจจัยซ้ำเติมโรคได้ หรือผู้ที่มีปัญหาระบบขับถ่ายก็ควรหลีกเลี่ยงด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีข้อมูลว่ากลูเตนเป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดการอักเสบในร่างกาย (ศุภมาส เชิญอักษร, 2560)

ซาวโด (sourdough) เป็นส่วนผสมของแป้งกับน้ำที่เกิดการหมักของยีสต์ และเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค (lactic acid bacteria) ซึ่งทำให้เกิดกรด กลิ่น และการขึ้นฟู การเติมหัวเชื้อซาวโดในการผลิตขนมปังช่วยปรับปรุงปริมาตรของขนมปัง และโครงสร้างของเนื้อขนมปัง กลิ่น คุณค่าทางโภชนาการ และอายุการเก็บรักษา (Ucok และ Hayta, 2015) ขนมปังแป้งหมัก (sourdough bread) เป็นขนมปังที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่อาจไม่คุ้นเคย เนื่องจากขนมปังแป้งหมักไม่ได้เป็นที่นิยมในประเทศไทยมากนัก ขนมปังแป้งหมักมีลักษณะเนื้อที่เหนียวนุ่ม แต่เปลือกขนมปังแป้งหมักจะมีความแข็ง และมีรสเปรี้ยวที่เกิดจากกรดแลคติก จากงานวิจัยก่อนหน้าของ Mert และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาผลของการทำขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนจากแป้งเกาลัดและแป้งข้าว พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดเป็นด่าง แล้วขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนจะให้ค่ากรดที่สูงกว่า

เมล็ดแมงลักมีปริมาณใยอาหารสูง และมีศักยภาพสูงในการใช้เป็นส่วนผสมอาหารฟังก์ชั่น การบริโภคเมล็ดแมงลัก นอกจากมีคุณค่าทางโภชนาการแล้วยังมีประโยชน์ต่อสุขภาพอีกด้วย เช่น ป้องกันโรคเบาหวาน ต่อต้านจุลินทรีย์ ต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน และมีฤทธิ์ต้านมะเร็ง (Calderon Bravo และคณะ, 2021) จากการวิจัยของ Israr และคณะ (2017) พบว่าการเติมกัมจากเมล็ดแมงลักสามารถช่วยส่งเสริมคุณสมบัติที่ดีในด้านของเนื้อสัมผัส และยังช่วยลดการ

สูญเสียน้ำระหว่างการอบให้กับขนมปังปลอดกลูเตนได้ และ Rezapour และคณะ (2016) ศึกษาการเติมผงเมล็ดแมงลักในขนมปังฝรั่งเศสที่เตรียมจากแป้งสาลีให้ผลการทดลองว่าเมื่อทำการเติมผงเมล็ดแมงลักลงในขนมปังฝรั่งเศสจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังทั้งในด้านอายุการเก็บรักษาและความนุ่มของขนมปัง แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาการเติมผงเมล็ดแมงลักในขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน โดยทำจากแป้งชนิดอื่นที่ไม่ใช่แป้งสาลี ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด โดยศึกษาผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณ 2-6% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด รวมถึงการให้ความร้อนกับแป้งข้าวโพดและ สตาร์ชมันสำปะหลังจนเกิดการเจลาติไนซ์ ก่อนนำไปผสมกับแป้งข้าวเจ้า ต่อคุณภาพขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติของขนมปังแป้งหมักทางการค้าจากแป้งสาลี

2. เพื่อศึกษาผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนจากแป้งผสมจากแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งปลอดกลูเตนนั้นจะทำให้คุณภาพของขนมปังแป้งหมักไม่เหมือนกับที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากในแป้งสาลีมีกลูเตนที่เป็นส่วนสำคัญที่จะส่งผลให้เนื้อของขนมปังมีความนุ่ม แต่หากใช้แป้งที่ผสมจากแป้งหลายชนิดเข้าด้วยกันจะช่วยปรับปรุงคุณภาพขนมปังแป้งหมักให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับการใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว รวมถึงการใช้ผงเมล็ดแมงลักซึ่งมีไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากธรรมชาติ ช่วยในเรื่องความหนืดซึ่งช่วยในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาสมบัติของขนมปังแป้งหมักจากแป้งสาลีทางการค้าจำนวน 2 แหล่ง

2. แป้งปลอดกลูเตนที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด

3. ไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติที่ใช้คือ เมล็ดแมงลัก

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1ขนมปัง

ขนมปัง หรือ ปัง เป็นอาหารที่ทำจากแป้งสาลีที่ผสมกับน้ำและยีสต์ หรือผงฟู นอกจากนี้ยังมีการใช้ส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อแต่งสี รสชาติและกลิ่น แตกต่างกันไปตามแต่ละประเภทของขนมปัง และ แต่ละประเทศที่ทำ โดยนำส่วนผสมมาตีให้เข้ากันและนำไปอบ ขนมปังมีหลายประเภท เช่น ขนมปังฝรั่งเศส เพรซเซิล ครัวซองต์ เป็นต้น ชาวสวิสที่อาศัยอยู่ตามทะเลสาบในยุคหินเป็นผู้ริเริ่มนำเมล็ดข้าวสาลีมาบดโดยใช้ครกหยาบ ๆ ตำ แล้วนำไปผสมน้ำ แล้วนำไปเทลงบนหินร้อนๆ เพื่อให้สุก ผลที่ได้คือขนมปังที่ขึ้นฟูโดยไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งค้นพบมากว่า 3,000 ปี ก่อนคริสตกาล ประวัติที่ยอมรับสืบเนื่องกันมาก็คือพวกทาสในสมัยราชวงศ์อียิปต์ ได้ผสมก้อนแป้งที่ลืมทิ้งไว้ลงไปในแป้งที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ ผลที่ได้คือแป้งที่เบาและรสชาติดี

2.2 ชนิดของขนมปัง

ขนมปังปอนด์ ขนมปังชนิดนี้มี 2 ชนิด คือ ขนมปังข้าวสาลีที่ผ่านการขัดสีเรียกว่า ไวท์เบรด (White Bread) และข้าวสาลีที่ไม่ผ่านการขัดสีเรียกว่าขนมปังโฮลวีต (Whole Wheat Bread หรือ Brown Bread) ซึ่งสามารถทำออกมาได้หลายรูปทรงเช่น รูปทรงภูเขาซึ่งมีต้นกำเนิดจากอังกฤษซึ่งไม่ใช้ฝาพิมพ์ปิดและ รูปทรงสี่เหลี่ยมซึ่งใช้ฝาปิดทำให้ขณะอบมีรูปทรงสี่เหลี่ยม

ครัวซองค์มีลักษณะรูปทรงเหมือนจันทร์เสี้ยว คำว่าครัวซองค์มาจากภาษาฝรั่งเศสโบราณว่า Croissant ซึ่งแปลว่า จันทร์เสี้ยว หรือ Crescent นั่นเอง ครัวซองค์นั้นมีเนื้อในเป็นชั้น ๆ ทับ 58 ชั้น เป็นขนมปังที่ใช้เนยครึ่งหนึ่งของแป้งสาลี ทำให้มีปริมาณไขมันในเนื้อมาก

ขนมปังฝรั่งเศสหรือบาแก็ต ขนมปังแท่ง ผิวด้านนอกจะแข็ง เนื้อในขาวนิ่ม สามารถทำให้สั้น-ยาวได้ หลายขนาด

พีตา เป็นขนมปังลักษณะกลม มีลักษณะแบน เป็นขนมปังประเภทแรกของโลก บริโภคกันแพร่หลายในประเทศแถบตะวันออกกลาง และใช้มากในอาหารเมดิเตอร์เรเนียน

ขนมปังไรย์ มีเนื้อสีน้ำตาลเข้ม มีหลายรูปทรงทั้งแผ่น ทั้งทรงกลม มีต้นกำเนิดที่ประเทศเยอรมนี ทหารเยอรมันมักจะเก็บไว้เป็นเสบียงยามสงคราม เพราะสามารถเก็บได้นานกว่าขนมปังทั่วไป

บรีย็อช มีต้นกำเนิดจากประเทศฝรั่งเศส มีส่วนผสมของไข่และเนยเป็นจำนวนมาก มีผิวสวยและนิ่มเพราะทาด้วยไข่แดงก่อนอบ

นาน เป็นขนมปังที่มีต้นกำเนิดจากอินเดีย มีรสชาติเปรี้ยวอ่อน ๆ จากโยเกิร์ตทำให้กินเข้าได้กับแกงกะหรี่

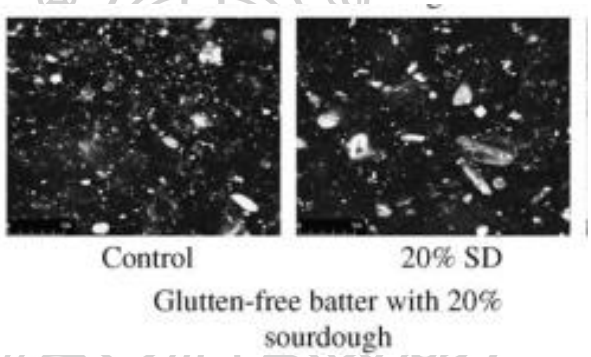
เพรตเซิล มีต้นกำเนิดจากประเทศฝรั่งเศส สมัยก่อนมีรสชาติเค็ม มีรูปทรงขดเป็นโบว์ อาจจะโรยด้วยเกลือหรือน้ำตาลไอซิ่ง และอาจจะมีอย่างอื่นอีกมากมาย (ไม่ปรากฏผู้แต่ง, 2565)

2.3 ขนมปังแป้งหมัก

ขนมปังแป้งหมัก หรือ Sourdough Bread เป็นขนมปังที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยยีสต์ทำให้ฟู และได้รสชาติออกเปรี้ยวนิดๆ เป็นขนมปังเก่าแก่ที่มีกำเนิดมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณช่วงประมาณ 1,500 ปีก่อนคริสตกาล เล่าขานกันมาว่ารสชาติเปรี้ยวหอมแปลกของขนมปังชนิดนี้เป็นสูตรที่เกิดขึ้น ด้วยความบังเอิญ จากการที่ทิ้งส่วนผสมของแป้ง น้ำ และนม ไว้ในที่โล่งอุณหภูมิปกติ แบคทีเรียและยีสต์ที่ปะปนอยู่ในอากาศได้ร่วงหล่นลงในส่วนผสม จัดการย่อยน้ำตาลและโปรตีนจากนมให้เปลี่ยนเป็นกรดแลคติก ซึ่งเป็นตัวการหลักทำให้เกิดรสชาติเปรี้ยว พวกกลุ่มพ่อค้าชาวโพนิเชียน เป็นพวกแรกที่เผยแพร่การทำขนมปังในขณะที่พวกเขามุ่งไปค้าขายทางตะวันออกไปยังเปอร์เซียและไกลกว่านั้น และดูเหมือนว่า ชาวกรีกยุคแรกได้เรียนรู้การทำขนมปังที่ขึ้นฟูมาจากพวกกลุ่มโพนิเชียน 1000 ปีก่อนคริสตกาล นอกจากนั้นในกระบวนการธรรมชาตินี้ยังก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อนวดส่วนผสม ฟองคาร์บอนไดออกไซด์ก็ทำให้ส่วนผสมเต็มไปด้วยรูอากาศเล็กๆ ช่วยให้ส่วนผสมฟูนุ่ม

ต่อมาชาวอียิปต์ได้พัฒนาสูตรขนมปังแป้งหมักที่หมักด้วย ยีสต์ ที่เกิดจากการบ่มเชื้อที่ไม่ได้มาจากธรรมชาติเหมือนในอดีต ทำให้รสชาติของขนมปังแป้งหมักพัฒนาแตกต่างกันไปตามประเภทของยีสต์ นอกจากนี้ยังมีการแบ่งส่วนผสมที่หมักแล้วไว้เป็นหัวเชื้อ หรือที่เรียกว่า Sourdough Starter นับได้ว่า เป็นการค้นพบขนมปังสูตรใหม่ในสมัยโบราณกาล และขนมปังแป้งหมักนี้ได้กลายเป็นที่นิยมของชาวยุโรปในยุคต่อๆ มา ขนมปังแป้งหมักเข้ามาในอเมริกาครั้งแรกพร้อมกับ Christopher Columbus ผู้ค้นพบทวีปอเมริกา เมื่อหลายร้อยปีก่อน (Kittin Assavavichi, 2015)

ขนมปังแป้งหมักมีความต่างจากขนมปังทั่วไป โดยขนมปังแป้งหมักจะมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวกว่า มีรสเปรี้ยวซึ่งจะบอกได้ถึง ปริมาณกรดที่มากกว่าขนมปังทั่วไป รวมถึงค่า pH ที่ต่ำกว่าเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก แป้งหมักถูกใช้มาตั้งแต่สมัยโบราณโดยมีความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มอายุการเก็บรักษาของขนมปังอย่างแพร่หลาย การหมักช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นโดยส่วนของโปรตีนในแป้งหมักปลอดกลูเตนเกิดการแตกออก (degrade) ตามระยะเวลาการหมัก ซึ่งกระบวนการนี้พบได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแป้งหมักจากแป้งสาลี (ภาพที่ 1) เมื่อเติมแป้งหมักปลอดกลูเตนในปริมาณ 20% พบว่าโครงสร้างไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม อีกทั้งยังลดการเกิด staling ของขนมปังอีกด้วย เป็นผลมาจากการชะลอการเกิด retrogradation ของแป้งในระหว่างการหมัก (Arendt และคณะ, 2007)



ภาพที่ 1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบ confocal แสดงลักษณะของโดขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนสูตรควบคุมและสูตรที่ทำการเติมแป้งหมัก 20%
ที่มา : Arendt และคณะ (2007)

2.4 ส่วนประกอบที่ใช้ในการทำขนมปังแป้งหมักจากแป้งสาลี

2.4.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีที่ใช้ทำขนมปังเป็นแป้งโม่จากข้าวสาลีธรรมดาชนิดแข็ง มีโปรตีนสูง (12-14%) โดยทั่วไปที่ใช้จะมีสีขาวนวล ความชื้นไม่เกิน 14% ดูดซึมน้ำได้มาก (60-65%) เถ้า 0.4-0.5% และโปรตีน 10-16% หน้าที่ของแป้งสาลีในขนมปังคือเป็นโครงร่างสำคัญ มีความยืดหยุ่นในขณะผสมขึ้นฟูขณะหมัก และในที่สุดแข็งเป็นโครงร่างของขนมปังเนื้อนุ่ม เหนียวต่อการเคี้ยว เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดจาก องค์ประกอบทางเคมีในแป้งสาลีที่สำคัญคือ

สตาร์ชและกลูเตน รวมทั้งองค์ประกอบอื่น เช่น ไขมัน น้ำตาล และอื่นๆ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อผสมกับน้ำ ยีสต์ และเกลือ เข้าด้วยกันจนเป็นโด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

2.4.2 เชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ (Microorganism) คือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีทั้งเซลล์เดียวและหลายเซลล์ มีองค์ประกอบของเซลล์ไม่ซับซ้อน แตกต่างจากเซลล์ของสิ่งมีชีวิตชั้นสูงอย่างมนุษย์หรือสัตว์ที่มีความซับซ้อน จุลินทรีย์ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตและก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) และมีบทบาทสำคัญมากต่อวัฏจักรต่างๆ ของโลกใบนี้ (แก่นพงศ์ บุญถาวร, 2558)

ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้แบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตกรดแลคติค ในการผลิตนมเปรี้ยว หรือใช้ในการทำแป้งหมักสำหรับการทำขนมปังแป้งหมัก

ก. ยีสต์

ยีสต์มีเอนไซม์ที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ต่างๆ ที่ใช้ในการถนอมอาหาร เช่น กรดแลคติก กรดแอซีติก ทำให้อาหารมีสภาวะเหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย และเน่าเสียได้ อาหารที่เกิดการเน่าเสียจากยีสต์มักเกิดกลิ่นหมัก เป็นเมือก หรือฝ้าบริเวณผิวหน้า รวมทั้งเกิดความขุ่นและเกิดฟองแก๊ส เนื่องจากยีสต์เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดการหมัก (Fermentation) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของขนมปัง โดยยีสต์จะใช้น้ำตาลที่อยู่ในแป้งเพื่อการดำรงชีพ ซึ่งในที่ที่ปราศจากออกซิเจน ยีสต์จะมีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic respiration) เกิดขึ้น ทำให้เกิดผลพลอยได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแอลกอฮอล์ (Alcohol) สำหรับหน้าที่ของยีสต์ในขนมปังนั้น มี 3 ประการ คือ

ก1. ทำให้ขนมปังขึ้นฟู

ส่วนผสมหลักในการทำแป้งโด คือ แป้ง น้ำ และยีสต์ ทันทีที่นำส่วนผสมดังกล่าวมากวนให้เข้ากัน เอนไซม์ที่อยู่ในยีสต์ จะย่อยแป้งซึ่งเป็นสารโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลงและกลายเป็นน้ำตาล จากนั้นยีสต์จะใช้น้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้ง และปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ออกสู่แป้งโด ทำให้เกิดรูพรุนที่ขนมปัง

ก2. ทำให้ขนมปังมีความเหนียวมากยิ่งขึ้น

เมื่อทำการผสมแป้งและน้ำเข้าด้วยกัน โปรตีน 2 ชนิดที่อยู่ในแป้งสาลี คือ glutenin และ gliadin จะรวมตัวกับน้ำและฟอร์มตัวเป็นก้อนที่มีความยืดหยุ่นสูง เรียกว่า กลูเตน (Gluten) ในการทำขนมปัง ต้องการกลูเตนปริมาณมาก เนื่องจากกลูเตนจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของแป้ง ทำให้ขนมปังมีความเหนียวมากยิ่งขึ้น รวมถึงยีสต์จะสร้างเอกโซพอลีแซคคาไรด์เป็นเยื่อเมือกเพิ่มเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังช่วยกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในแป้งโดได้ดี เมื่อมีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปก็จะทำให้แป้งโดมีการขยายตัวและขึ้นฟู ทำให้ขนมปังขึ้นฟู นอกจากนี้ยีสต์ยังช่วยสร้างเครือข่ายของกลูเตนได้อีกด้วย เพราะทุกครั้งที่ยีสต์ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา จะทำให้โมเลกุลของโปรตีนและโมเลกุลของน้ำมีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะทำให้โปรตีนและน้ำรวมตัวกันและเกิดเป็นกลูเตน

ก3. ทำให้เกิดรสชาติของขนมปัง

ในช่วงเริ่มต้นของการหมัก ยีสต์จะปล่อยเอนไซม์ไปย่อยแป้งให้ได้เป็นสารโมเลกุลเล็กลง ซึ่งก็คือ น้ำตาล และยีสต์จะใช้น้ำตาลเหล่านี้ในการเจริญเติบโต ผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยังมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้อื่น ๆ ที่ช่วยเพิ่มรสชาติของขนมปัง เช่น กรดอินทรีย์และกรดอะมิโน ในระหว่างกระบวนการหมัก แป้งโดจะมีความเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น และจะเกิดรสชาติของกรดอินทรีย์ร่วมด้วย เช่น กรดอะซิติก (น้ำส้มสายชู) และกรดแลกติกที่ฟอร์มเป็นแอลกอฮอล์ในแป้งโด เนื่องจากความเป็นกรดนี้เอง จึงส่งผลให้มีการแตกตัวของโมเลกุลอื่นๆ ในก้อนของแป้งโด แป้งโดจะเกิดกระบวนการหมักขึ้นเรื่อย ๆ จนเมื่อถึงจุดหนึ่งที่มีปริมาณของแอลกอฮอล์มากพอ แอลกอฮอล์จะไปยับยั้งกระบวนการสร้างเอนไซม์ของยีสต์ แม้ว่ายีสต์จะสามารถช่วยสร้างสารที่ให้รสชาติได้ แต่แบคทีเรียเองก็เป็นสิ่งมีชีวิตอีกชนิดที่สามารถช่วยสร้างรสชาติด้วยเช่นกัน ในแป้งโดจะมีแบคทีเรียตั้งแต่เริ่มแรก อย่างไรก็ตาม ถ้ายีสต์ยังมีการทำงานอยู่ ยีสต์จะใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโตในอัตราที่ใกล้เคียงกับน้ำตาลที่ยีสต์สามารถผลิตได้ จึงทำให้ไม่มีอาหารเพียงพอสำหรับแบคทีเรีย ซึ่งมีความต้องการน้ำตาลในการดำรงชีวิตเช่นกัน เมื่อผู้ผลิตขนมปังทำให้แป้งโดเย็นลงเพื่อชะลอการขึ้นฟู อุณหภูมิที่ต่ำลงจะลดกิจกรรมภายในเซลล์ของยีสต์ แต่ในทางกลับกัน

แบคทีเรียยังคงทำงานได้อยู่และสามารถใช้อาหารได้ ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโต และสามารถผลิตรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของขนมปังได้อีกด้วย (ไม่ปรากฏผู้แต่ง, 2561)

ข. แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก

แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ย้อมติดสีแกรมบวก ไม่สร้างสปอร์ ไม่สร้างเอนไซม์ Catalase มีทั้งชนิดที่มีรูปท่อนและรูปกลม แหล่งที่พบ แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก ได้แก่ เนื้อ ผลิตภัณฑ์นม และอาหารหมักดองต่างๆ เป็นต้น แบคทีเรียผลิตกรดแลคติค ช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้โดยตรง มีส่วนสำคัญในการรักษาสุขภาพลำไส้ (บุษกร อุตรภิชาติ, 2548)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแป้งข้าวโพดระหว่างการหมักด้วย *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* ในเวลาที่ต่างกัน คือ 1, 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าหลังจากทำการหมักที่เวลาต่างๆทำให้โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินลดลง เนื่องจากระหว่างการหมักจะได้สารผลิตภัณฑ์ออกมาเป็น เอนไซม์อะไมเลสที่มีหน้าที่ย่อยอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (Reyes และคณะ, 2018)

2.4.3 เกลือ

หน้าที่สำคัญของเกลือป่นคือช่วยเน้นรสชาติ ของส่วนผสมอื่นๆ การใช้เกลือป่นนั้นควรเลือกใช้เกลือป่นที่ละเอียดและเม็ดเล็กเพื่อการละลายที่ง่ายในขั้นตอนการนวด เกลือยังช่วยลดแอคทิวิตี้ของน้ำ ทำให้ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย และจุลินทรีย์ที่ก่อโรค รวมถึงช่วยให้กลูเตนแข็งแรงและคงทน มีส่วนช่วยในการควบคุมการทำงานของยีสต์ให้ช้าลงทำให้การหมักนานขึ้นส่งผลให้ขนมปังขึ้นฟูสม่ำเสมอและมีโครงร่างที่ดี เกลือที่เติมลงไปในส่วนผสมขนมปังมีจุดประสงค์ 3 ประการที่สำคัญได้แก่ ทำให้ขนมปังมีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ช่วยทำให้กลูเตนแข็งแรง และคงทนเพิ่มขึ้น ทำให้โดไม่แฉะตลอดจนมีส่วนในการควบคุมการทำงานของยีสต์ให้ช้าลงทำให้ขนมปังขึ้นฟูสม่ำเสมอและมีโครงร่างดี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

2.4.4 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายในน้ำได้ดีและมีรสหวาน จัดอยู่ในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต น้ำตาลที่ขายในตลาดนั้นเป็นน้ำตาลทรายขาวที่ผลิตจากอ้อย น้ำตาลนี้เป็นซูโครสบริสุทธิ์ 99.99% โดยทั่วไปแล้วการทำขนมปังจะนิยมใช้น้ำตาลทรายขาวเป็นส่วนผสม ซึ่งน้ำตาลไม่ได้ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียว แต่ยังช่วยให้เกิดสีแก่

ผลิตภัณฑ์อีกด้วย รวมถึงเป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก โดยเฉพาะผู้ที่รักษาสุขภาพจะนิยมใช้น้ำตาลทรายแดงมาประกอบในการทำขนมปัง โดยน้ำตาลทรายแดงจะเป็นตัวช่วยทำให้ขนมมีสีน้ำตาลสวย และยังช่วยให้กลิ่นของขนมหอมอีกด้วย การเลือกใช้น้ำตาลในการทำขนมปังควรเลือกใช้น้ำตาลที่ละเอียด เม็ดเล็กเพื่อการละลายที่ดีในการนวด และยังเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ (จินตนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2539)

2.4.5 แป้งปลอดกลูเตน

แป้งปลอดกลูเตนคือแป้งที่ไม่มีโปรตีนกลูเตนอยู่สามารถพบได้ในผักหรือธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น แป้งข้าวหอมมะลิ สตาร์ชมันสำปะหลัง หรือแป้งข้าวโพด จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาแป้งปลอดกลูเตนหลายชนิด เช่น แป้งข้าว หรือ แป้งบัควีต หรือแป้งเกาลัด เช่น จากงานวิจัยของ Rinaldi และคณะ (2017) ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเติมแป้งเกาลัดลงในขนมปังปลอดกลูเตน โดยขนมปังทำมาจากแป้งปลอดกลูเตน (Gluten free flour mixture ; M) และทำการเติมแป้งเกาลัด (mixture + chestnut flour ; MC) หรือเติมแป้งหมักที่ทำจากแป้งเกาลัด (mixture + chestnut flour + sourdough ; MCS) หรือเติมแป้งหมักจากแป้งปลอดกลูเตน (mixture + sourdough ; MS) พบว่า การเติมแป้งหมักที่ทำจากแป้งเกาลัด (MCS) จะทำให้ขนมปังมี pH ที่ต่ำลงและปริมาตรจำเพาะลดลงตามตารางที่ 1 เนื่องมาจากแป้งเกาลัดมีความหยาบที่มากกว่าแป้งทั่วไปอีกทั้งเมื่อน้ำหนักมากแต่การขึ้นฟูลดลง จึงทำให้ปริมาตรจำเพาะลดลง แต่ในทางกลับกันจะทำให้ตัวเนื้อของขนมปังมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่า pH และ ปริมาตรจำเพาะ ของขนมปังแป้งหมัก

ตัวอย่าง	pH	ปริมาตรจำเพาะ
M	5.17±0.03[a]	2.40±0.24[a]
MC	5.21±0.07[a]	1.82±0.18[b]
MS	3.84±0.04[c]	1.62±0.16[b]
MCS	4.58±0.02[b]	1.74±0.16[b]

*หมายเหตุ M : ขนมปังทำมาจากแป้งปลอดกลูเตน, MC :ขนมปังทำมาจากแป้งปลอดกลูเตนและแป้งเกาลัด, MS : ขนมปังทำมาจากแป้งปลอดกลูเตนและแป้งหมักจากแป้งปลอดกลูเตนและ MCS : ขนมปังทำมาจากแป้งปลอดกลูเตนและแป้งหมักที่ทำจากแป้งเกาลัด

ที่มา : Rinaldi และคณะ (2017)

2.6 แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้าหรือบางทีก็เรียกว่า แป้งญวณ เป็นแป้งที่ทำจากเมล็ดข้าวเจ้า มีลักษณะเป็นผงมีสีขาว เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะขุ่นร่วน มีการผลิตมาจากข้าวหักหรือปลายข้าวเป็นส่วนใหญ่ เพราะว่าข้าวจำพวกนั้นจะมีการนำไปจำหน่ายได้ราคาต่ำ จึงค่อนข้างนิยมนำมาทำเป็นวัตถุดิบในการทำแป้งข้าว กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าวมีอยู่ 3 แบบคือการโม่แห้ง โม่น้ำ และสุดท้ายการโม่แบบผสม

การโม่แบบน้ำ ทำได้โดยนำข้าวทำความสะอาดแล้วไปแช่ไว้ในน้ำจนข้าวดูดซับน้ำเข้าไปอย่างเต็มที่จากนั้นนำมาเข้าเครื่องโม่พร้อมกับปริมาณน้ำที่เหมาะสม แป้งข้าวที่ได้จากกรรมวิธีโม่น้ำจะได้แป้งข้าวที่มีความละเอียดสูง มีสิ่งเจือปนอยู่น้อย

การโม่แบบแห้ง ทำโดยนำข้าวที่ทำความสะอาดแล้วนำเข้าเครื่องโม่ แต่แป้งที่ได้จากกรรมวิธีนี้จะเป็นแป้งข้าวที่คุณภาพต่ำที่สุด เนื่องจากจะมีความหยาบและยังคงมีสิ่งเจือปน อีกทั้งอายุการเก็บรักษายังสั้นสามารถเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย

การโม่แบบผสม ทำโดยนำข้าวที่ทำความสะอาดแล้วนำไปอบจนแห้งจากนั้นนำไปแช่ไว้ในน้ำจนข้าวดูดซับน้ำเข้าไปอย่างเต็มที่แล้วจึงนำเข้าเครื่องโม่แป้งข้าวที่ได้จากกรรมวิธีโม่น้ำจะได้แป้งข้าวที่มีคุณภาพสูง และยังได้แป้งที่สุกอีกด้วย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

มีการศึกษาการใช้แป้งข้าวในผลิตภัณฑ์ขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน (Dan และคณะ, 2022; Różyło และคณะ, 2016; Ucok และ Hayta, 2015) เนื่องจากแป้งข้าวมีราคาถูก ไม่มีผลกระทบต่อรสชาติของอาหาร และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ (Luo และคณะ, 2021) อย่างไรก็ตามแป้งข้าวตามธรรมชาติไม่สามารถอุ้มแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ระหว่างการหมักและอบ เนื่องจากแป้งข้าวมีโปนตีนกลูเตลิน (65-85%) เป็นส่วนมาก ส่วนโปรตีนโปรลามินมีเป็นส่วนน้อย จึงมีการศึกษาการให้ความร้อนแป้งข้าวเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติกระแสวิทยาของแป้งข้าว ส่งผลให้ขนมปังปลอดกลูเตนที่ไม่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ มีปริมาตรจำเพาะสูงขึ้นและนุ่มขึ้น (Boulemkahel และคณะ, 2021; Bourekoua และคณะ, 2016; Marco และ Rosell, 2008)

2.7 แป้งข้าวโพด

แป้งข้าวโพดเป็นแป้ง ที่สกัดมาจากเมล็ดข้าวโพด มีลักษณะเป็นผงสีขาวเหลืองนวลจับแล้วผิวสัมผัสของแป้งเนียนลื่นมือเมื่อทำ ให้สุก จะมีลักษณะข้นและใสไม่คืนตัวง่าย เมื่อเป็นตัว

แป้งจะอยู่ตัวจับเป็นก้อนแข็งร่วนเป็นมันวาว ในขนมหวานไทย นิยมนำมาผสมกับอาหารเพื่อต้องการความข้นอยู่ตัว เมื่อสัมผัสดูเนื้อแป้งเนียนละเอียดลื่น โดยจากงานวิจัยของ Mishra และ Rai (2006) ระบุไว้ว่าจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ รูปทรงของเมล็ดแป้งข้าวโพดมีรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 3.6-14.4 ไมครอน ค่า pH ของเมล็ดแป้งข้าวโพดอยู่ที่ 6.24

มีการศึกษาการใช้แป้งข้าวโพดในผลิตภัณฑ์ขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน พบว่าการเติมแป้งหมักเพิ่มปริมาตรขนมปังจากแป้งข้าวโพดได้ 25-26% (Falade และคณะ, 2014)

2.8 สตาร์ชมันสำปะหลัง

สตาร์ชมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ลักษณะเด่นคือมีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งเจือปนต่ำโดยมีปริมาณไขมันและโปรตีนค่อนข้างต่ำ(น้อยกว่า 1%) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) สตาร์ชมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เมื่อถูกนำไปให้ความร้อนกับน้ำ เม็ดแป้งจะพองตัวขึ้นทำให้ความร้อนเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเม็ดแป้ง น้ำจะเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิล โดยทั่วไปเมื่อแป้งถูกให้ความร้อนจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแบบของแป้งเปียกที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมากและเมื่อเย็นตัวลงจะเกิดเป็นลักษณะเจล ค่า pH ของสตาร์ชมันสำปะหลังมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวโพดที่ 4.80 (Mishra และ Rai, 2006)

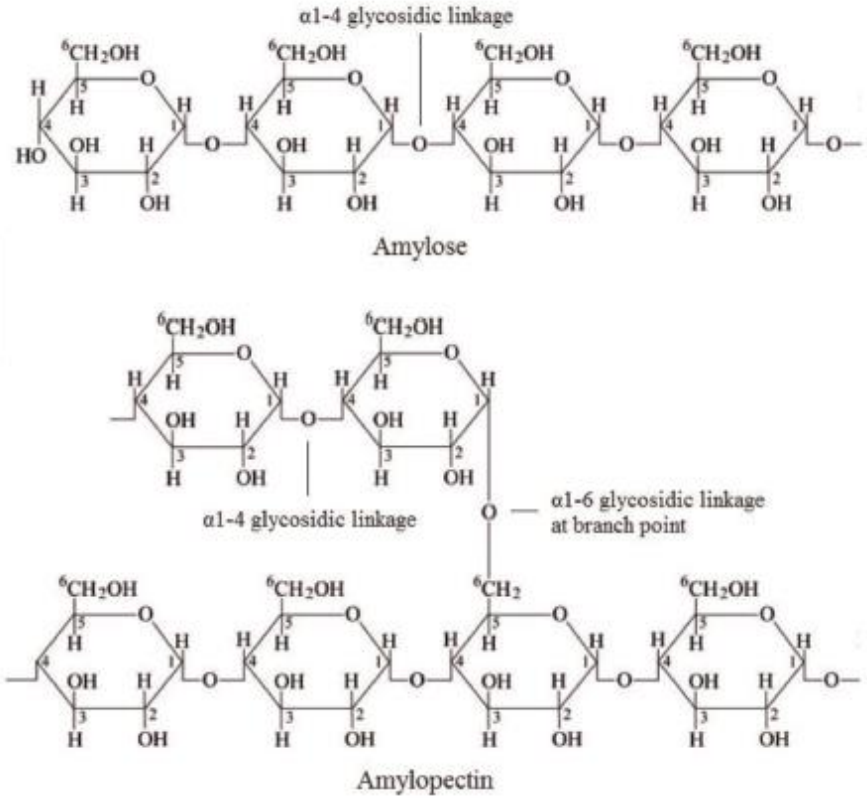
มีการศึกษาการใช้สตาร์ชมันสำปะหลังในผลิตภัณฑ์ขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนเมื่อทำการแทนที่แป้งสาลีด้วยสตาร์ชมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดในอัตราส่วน 80:20 พบว่าได้รับการยอมรับจากกลุ่มผู้บริโภคขนมปังแป้งสาลีเป็นประจำถึง 84% และในกลุ่มผู้มีอาการแพ้กลูเตนได้รับการยอมรับ 100% ในด้านของเนื้อสัมผัสมีความใกล้เคียงกับขนมปังจากแป้งสาลี (Milde และคณะ, 2010)

2.9 องค์ประกอบของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน 6:10:5 มีสูตรเคมีทั่วไป คือ ($C_6H_{10}O_5$) แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Glucosidic linkgage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่ (Aldehye group) เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น(อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพคติน) และยังมี ไขมัน โปรตีนในปริมาณที่ต่างกัน (ตารางที่ 2)

อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ ∝-1,4 Glucosidic linkgage (ภาพที่ 2)ตำแหน่งของอะไมโลสในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ในส่วนอสัณฐาน (Amorphous) และส่วนผลึก (Crystalline)

อะไมโลเพคติน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ ∝-1,4 Glucosidic linkgage และส่วนที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นจะเชื่อมต่อกันด้วย พันธะ ∝-1,6 Glucosidic linkgage (ภาพที่ 2)



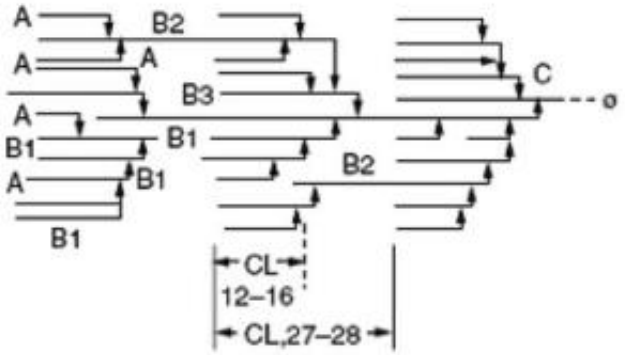
ภาพที่ 2 ภาพโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน
ที่มา : Nawaz และคณะ (2020)

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพคตินประกอบด้วยสาย (Chain) 3 ชนิด (ภาพที่ 3) ได้แก่

1. สาย A เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมออกจากสายชนิดนี้

2. สาย B มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างของอะไมโลเพคตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1

3. สาย C สายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพคตินแต่ละโมเลกุลจะมีสาย C แค่ 1 สายเท่านั้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)



ภาพที่ 3 ภาพแสดงโครงสร้างกิ่งของอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วย สาย A, B และ C
ที่มา : Miao และคณะ (2013)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงองค์ประกอบภายในของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	**อะไมโลส (%)**	**อะไมโลเพคติน (%)**	**ไขมัน (%)**	**โปรตีน (%)**
แป้งข้าวเจ้า	24	83	0.8	6
แป้งข้าวโพด	28	72	0.7	6.2
สตาร์ชมันสำปะหลัง	17	83	0.1	2

ที่มา : https://fdc.nal.usda.gov (2021)

2.10 เมล็ดแมงลัก

เมล็ดแมงลัก มีลักษณะนิ่ม ลื่น กลืนง่าย เหมาะสำหรับผู้ที่มีปัญหาช่วงลำคอ และการที่เมล็ดแมงลักพองตัวมาก ทำให้ร่างกายดูดซึมสารอาหารได้ช้าลง จึงเหมาะกับผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ต้องการให้ร่างกายดูดซึมน้ำตาลลดลงด้วยเมล็ดแมงลัก มีสรรพคุณเป็นยาระบาย เนื่องจาก

บริเวณเปลือกนอกของเมล็ดเป็นสารเมือกขาว และยังมีกากอาหาร ทำให้อุจจาระไม่เกาะลำไส้ ซึ่งช่วยให้ผู้รับประทานสามารถขับถ่ายได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยเมล็ดแมงลักจะไปกระตุ้นประสาทที่อยู่รอบ ๆ ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย ทำให้เกิดปวดท้องหนักโดยองค์ประกอบหลักของเมล็ดแมงลักมี 2 ส่วน คือกลูโคแมนแนน และ อะราบิโนกาลาแทนและยังมีกลูแคนจากการแตกตัวของโปรตีน เซลลูโลสอีกเล็กน้อย ซึ่งกัมจากเมล็ดแมงลักเป็นพอลิแซคคาไรด์แบบ non-Newtonian อีกทั้งรสสัมผัสของกัมจากเมล็ดแมงลักดีกว่าเมื่อเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ เช่นเพคติน หรือคาราจีแนน โดยองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดแมงลัก จากเมล็ดสายพันธุ์อินเดียประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 68% เถ้า 7.7% ไขมัน 13.8% โปรตีน 14.8% ความชื้น 9.6% (Calderon Bravo และคณะ, 2021)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขนมปังที่ใช้กัมหรือผงจากเมล็ดพืช

ผลของการเติมกัมจากเมล็ดแมงลักต่อคุณลักษณะของขนมปัง

งานวิจัยของ Israr และคณะ (2017) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของขนมปังหลังจากทำการเติมกัมที่สกัดได้จากเมล็ดแมงลักในอัตราส่วน 0(T_0), 0.5(T_1), 1(T_2), 1.5(T_3), 2(T_4), 2.5(T_5) % ส่งผลให้ขนมปังมีการสูญเสียน้ำหนัก (ตารางที่ 3)และปริมาณรูพรุนลดลง เมื่อปริมาณกัมที่ถูกเติมมีมากขึ้นแต่เพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ โดยสัดส่วนที่สูงสุดในการเติมได้คือ 2% หากเติมมากกว่า 2% จะทำให้สูญเสียคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส จากการทดสอบชิมพบว่าเมื่อทำการเติมมากกว่า 2% จะทำให้คะแนนในด้านต่างๆลดลง (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ตารางแสดงน้ำหนัก ปริมาณ ปริมาตรและความชื้นของขนมปัง

	Means					
Treatments	Weight (g)	Weight loss (g)	Volume (cm^3)	Specific volume ($cm^3\ g^{-1}$)	Width/height ratio	Moisture (%)
T_0	228.7 ± 5.7	20.43 ± 0.52	797.3 ± 20.13	3.47 ± 0.1	0.67 ± 0.01	29.84 ± 0.75
T_1	232.2 ± 5.8	16.94 ± 0.43	772.4 ± 19.5	3.31 ± 0.1	0.79 ± 0.02	34.42 ± 0.87
T_2	234.2 ± 5.9	14.95 ± 0.37	847.17 ± 21.4	3.60 ± 0.1	0.88 ± 0.02	35.49 ± 0.89
T_3	235.2 ± 5.9	13.95 ± 0.35	897 ± 22.6	3.79 ± 0.1	0.75 ± 0.01	35.36 ± 0.89
T_4	239.2 ± 6.1	9.97 ± 0.25	996.6 ± 25.17	4.15 ± 0.1	0.94 ± 0.02	38.03 ± 0.96
T_5	236.7 ± 5.9	12.46 ± 0.31	946.8 ± 23.9	3.99 ± 0.1	0.68 ± 0.01	39.78 ± 1.01

ที่มา : Israr และคณะ (2017)

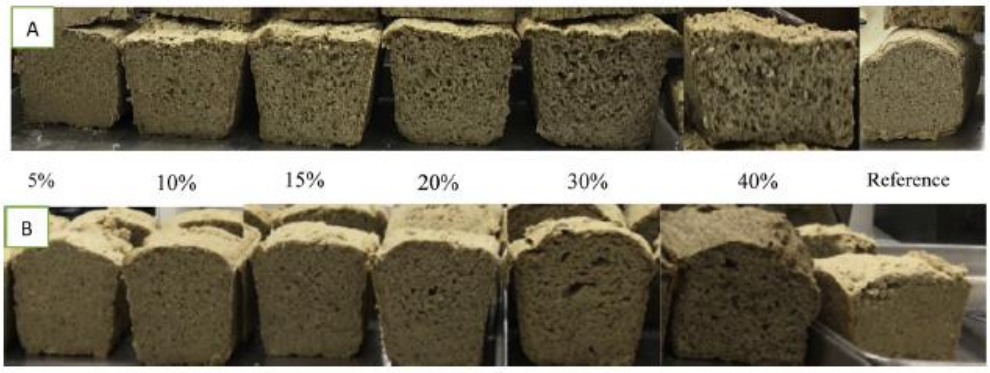
ตารางที่ 4 ตารางแสดงคะแนนจากการทดสอบชิม แบบ hedonic scale

	Means				
Treatments	Volume	Crust color	Crust character	Form symmetry	Evenness of baking
T_0	7.97 ± 0.2	7.48 ± 0.18	7.87 ± 0.2	6.97 ± 0.18	7.47 ± 0.19
T_1	5.5 ± 0.14	6.56 ± 0.17	7.6 ± 0.19	6.7 ± 0.17	6.47 ± 0.16
T_2	5.57 ± 0.14	6.48 ± 0.16	7.46 ± 0.19	6.9 ± 0.17	6.47 ± 0.16
T_3	6.48 ± 0.16	5.98 ± 0.15	6.8 ± 0.17	7.18 ± 0.18	5.48 ± 0.13
T_4	8.97 ± 0.23	5.78 ± 0.15	6.69 ± 0.17	7.56 ± 0.19	8.47 ± 0.21
T_5	6.98 ± 0.18	4.98 ± 0.13	6.5 ± 0.16	7.47 ± 0.19	5.1 ± 0.13

ที่มา : Israr และคณะ (2017)

ขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวฟ่างผสมกับแป้งหมักจากเมล็ดเจียและเมล็ดแฟลกซ์

ขนมปังปลอดกลูเตนสามารถทำได้จากหลายส่วนผสม โดยในงานวิจัย Maidana และคณะ (2020) ใช้แป้งข้าวฟ่างเป็นหลักและผสมกับแป้งหมักที่ทำจากการหมักเมล็ดเจียหรือเมล็ดแฟลกซ์ด้วยเชื้อแบคทีเรียคือ *W. cibaria* CH28 , *L. plantarum* FUA3165 และ *L. fermentum* FUA3171. พบว่าแป้งหมักที่ทำจากเมล็ดเจียมีค่า pH ที่ต่ำกว่า และขนมปังมีรูพรุนที่มีขนาดใหญ่และจำนวนที่มากกว่า (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของขนมปังแป้งหมัก

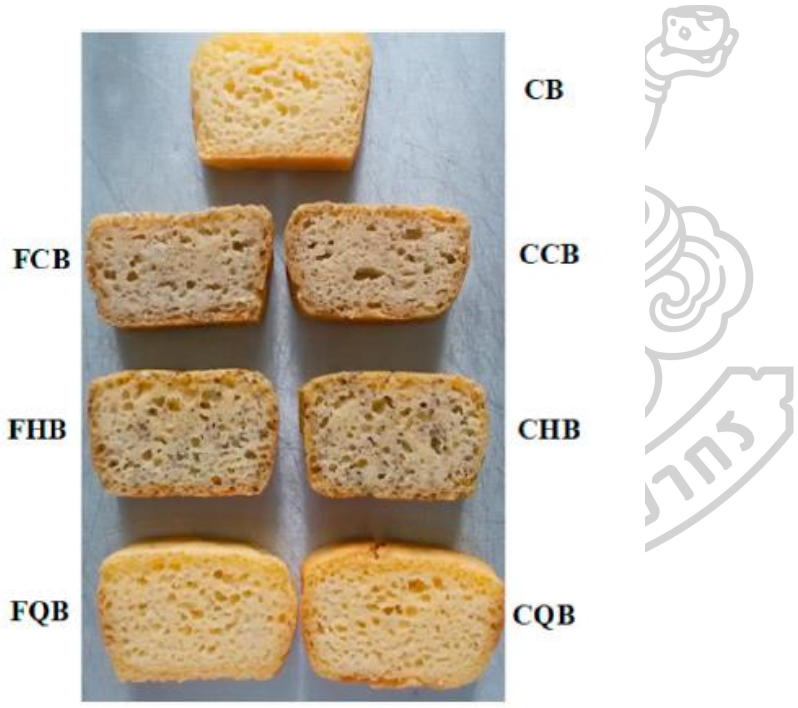


ภาพที่ 4 ภาพแสดงความต่างของขนมปังสูตรควบคุมกับขนมปังที่เติมแป้งหมักจากเมล็ดเจียและเมล็ดแฟลกซ์ ในปริมาณที่ต่างกัน (A ตัวอย่างขนมปังแป้งหมักจากเมล็ดเจีย B ขนมปังแป้งหมักจากเมล็ดแฟลกซ์ Reference ขนมปังจากแป้ง sorghum 100%)

ที่มา : Maidana และคณะ (2020)

อิทธิพลของแป้งหมักจากเมล็ดควินัว เมล็ดกัญชง และ เมล็ดเจียต่อคุณภาพขนมปังจากแป้งข้าว

งานวิจัยของ Jagelaviciute และ Cizeikiene (2021) ได้ศึกษาศักยภาพการใช้แบคทีเรีย *Lactobacillus sanfranciscensis* ในการหมัก เมล็ดควินัว เมล็ดกัญชง และ เมล็ดเจีย สำหรับการผลิตขนมปังที่ปราศจากกลูเตน การประยุกต์ใช้แป้งหมักจากเมล็ดพืช พบว่าการใช้เมล็ดพืชที่ผ่านการหมักที่ได้จากการทดลองส่งผลให้ขนมปังเกิดการเน่าเสียได้น้อยลง เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดของเนื้อขนมปังแต่กลับทำให้ปริมาตรจำเพาะลดลงและเพิ่มปริมาณรูพรุนในเนื้อขนมปังเมื่อเทียบกับแบบที่ไม่ได้ทำการหมักเมล็ดพืชแต่ยังคงมีปริมาณรูพรุนน้อยกว่าขนมปังสูตรควบคุม (ภาพที่ 5)จากการสำรวจความพึงพอใจพบว่าขนมปังจากแป้งข้าวที่ทำการเติมเมล็ดพืชหมักจากการทดลองได้รับการยอมรับมากกว่าขนมปังจากข้าวที่ไม่ได้ทำการเติมเมล็ดพืชหมัก

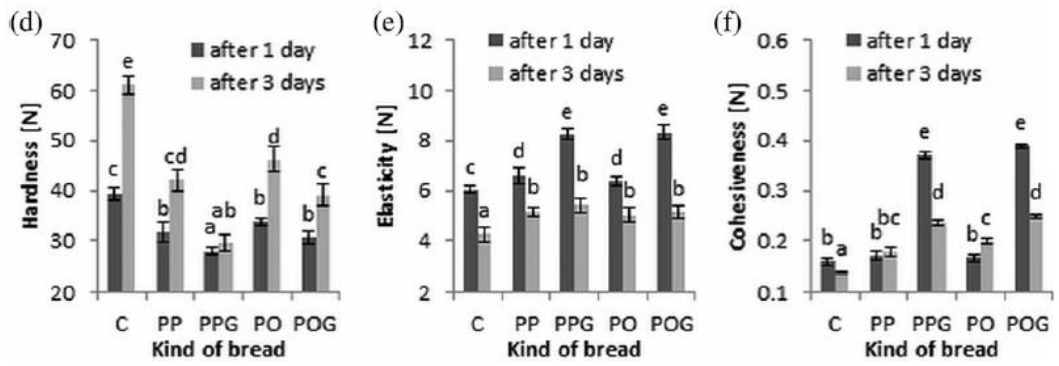


ภาพที่ 5 ภาพแสดงความต่างของขนมปังสูตรควบคุมกับขนมปังที่เติมแป้งหมักจากควินัว กัญชง และ เมล็ดเจีย (CB ตัวอย่างขนมปังควบคุมที่ไม่มีการเติมแป้งหมัก CCB, CHB, CQB แทนตัวอย่างของขนมปังที่ทำการเติมแป้งจาก ควินัว กัญชง และ เมล็ดเชีย แบบไม่หมักตามลำดับ FCB, FHB, FQB แทนตัวอย่างของขนมปังที่ทำการเติมเมล็ดพืชหมักจาก ควินัว กัญชง และ เมล็ดเชียตามลำดับ)

ที่มา : Jagelaviciute และ Cizeikiene (2021)

การใช้เทียนเกล็ดหอย (ไซเลี่ยม ฮัสค์) เป็นไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติในขนมปังปลอดกลูเตน

จากงานวิจัยของ Ziemichód และคณะ (2019) ศึกษาการใช้เทียนเกล็ดหอยทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ *Plantago psyllium* (PP) และ *Plantago ovata* (PO) ในรูปแบบของการเติมทั้งเมล็ดและแบบบดลงในขนมปังปลอดกลูเตนพบว่าการเติมทั้ง 2 แบบ มีส่วนช่วยในการเพิ่มความนุ่มและความสามารถในการดูดซับน้ำของเนื้อขนมปังอีกทั้งยังลดค่า pH ให้อยู่ในช่วง 5.47-5.29 อีกด้วย ในกรณีที่ทำการเติมเกล็ดเทียนหอยแบบบดแล้วช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของขนมปังประมาณ 40% (ภาพที่ 6) สรุปว่าทั้ง PP และ PO มีผลดีต่อการผลิตขนมปังและช่วยเพิ่มคุณสมบัติเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังปลอดกลูเตน ดังนั้นการเติมเกล็ดเทียนหอยทั้งในรูปแบบเมล็ดหรือแบบบดสามารถใช้ทดแทนไฮโดรคอลลอยด์ได้



ภาพที่ 6 กราฟแสดงลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปัง c ขนมปังสูตรควบคุมจากแป้งข้าว 100% PP ขนมปังสูตรเติมเทียนเกล็ดหอยชนิด *Plantago psyllium* PPG ขนมปังสูตรเติมเทียนเกล็ดหอยชนิด *Plantago psyllium* แบบบด PO ขนมปังสูตรเติมเทียนเกล็ดหอยชนิด *Plantago ovata* POG ขนมปังสูตรเติมเทียนเกล็ดหอยชนิด *Plantago ovata* แบบบด
ที่มา : Ziemichód และคณะ (2019)

การใช้กัมจากเมล็ดพืชในการผลิตเค้ก

จากงานวิจัยของ Salehi (2019)เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพเค้กปลอดกลูเตนโดยเปรียบเทียบการเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ ซึ่งผู้วิจัยได้สนใจในส่วนของการเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากเมล็ดแมงลักซึ่งเป็นกัมชนิดโพลิแซคคาไรด์ที่มีความสามารถใกล้เคียงกับไฮโดรคอลลอยด์ทางการค้าพบว่าเมื่อมีการเติมกัมจากเมล็ดแมงลักในปริมาณ 0-1.5% ในเค้กที่ทำจากข้าว มีความหนืดและปริมาณความชื้นที่เพิ่มมากขึ้นแต่การขึ้นฟูจะลดลงซึ่งสามารถบอกได้ว่ากัม

จากเมล็ดแมงลักมีความสามารถในการเป็นไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

การใช้แป้งและ สตาร์ชมันสำปะหลังในการทำขนมปังปลอดกลูเตน

จากงานวิจัยของ Sigüenza-Andrés และคณะ (2021) ศึกษาผลของการเติมแป้งและสตาร์ชมันสำปะหลังในปริมาณต่างๆในขนมปังปลอดกลูเตน พบว่าการเติมแป้งหรือสตาร์ชมันสำปะหลังลงในขนมปังปลอดกลูเตนในอัตราร้อยละ10 สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังโดยเฉพาะเนื้อสัมผัสและปริมาตรเฉพาะ โดยจะทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังมีความแข็งลดลง อีกทั้งยังสามารถช่วยเพิ่มการขึ้นฟูของเนื้อขนมปัง (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ตารางแสดงปริมาตรจำเพาะและความค่าความแข็งของเนื้อขนมปัง

ตัวอย่าง	Specific volume (cm^3/g)	Hardness 24h (N)
Control	5.10 ± 0.00^{b}	2.36 ± 0.33^{a}
CF10	5.39 ± 0.11^{c}	1.39 ± 0.08^{a}
CF20	2.08 ± 0.11^{a}	14.10 ± 1.52^{b}
NCS10	5.70 ± 0.12^{d}	1.36 ± 0.15^{a}
NCS20	5.39 ± 0.08^{c}	1.26 ± 0.03^{a}
SCS10	5.77 ± 0.04^{d}	1.50 ± 0.16^{a}
SCS20	5.28 ± 0.12^{c}	1.79 ± 0.16^{a}

* หมายเหตุCF : แป้งมันสำปะหลัง, NCS : สตาร์ชมันสำปะหลังและ SCS : แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการหมัก

ที่มา : Sigüenza-Andrés และคณะ (2021)

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

- แป้งข้าวเจ้า (ยี่ห้อ ปลาไทย 5 ดาว)
- แป้งข้าวโพด (ยี่ห้อ ซุปเปอร์ไฟน์)
- สตาร์ชมันสำปะหลัง (ยี่ห้อ ปลาไทย 5 ดาว)
- ยีสต์ (ยี่ห้อ pakmaya)
- น้ำตาล (ยี่ห้อวังขนาย)
- เกลือ (ยี่ห้อปรุงทิพย์)
- ขนมปังทางการค้าที่ 1 ซื้อจากร้าน กรูเมต์มาเก็ท ห้างสรรพสินค้า สยามพารากอน
- ขนมปังทางการค้าที่ 2 ซื้อจากร้าน ท็อปซูปเปอร์มาร์เก็ต ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลศาลายา
- เมล็ดแมงลัก (ยี่ห้อ ข้าวทอง) ปั่นให้เป็นผงด้วยเครื่องปั่นผสมชิ้นงานหนัก (Waring Blender) และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 เมช

3.2 สารเคมี

- 0.1N NaOH (ยี่ห้อ Merck, Germany)
- HCL (ยี่ห้อ Qrec, New Zealand)
- H_3BO_3 (ยี่ห้อ Qrec, New Zealand)
- Petroleum ether (ยี่ห้อ Labscan, New Zealand)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง (Sartorius, Germany)
- เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, Model TA-XT2i, Stable Micro System, UK)
- เครื่องวัดสี ColorFlex EZ System (รุ่น CFEZ-4500L, Virginia)
- เครื่องวัดคุณสมบัติของแป้ง RVA (Newport scientific รุ่น RVA-4)
- เครื่องปั่นผสม (Blender, รุ่น HR 2115 ยี่ห้อ Philips)
- pH meter (รุ่น PHM 210 ยี่ห้อ Radiometer)

- ตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Binder)
- เครื่องสกัดไขมัน (รุ่น 1047 ยี่ห้อTECATOR)
- เครื่องกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน (รุ่น Vapodest 33 ยี่ห้อC. GERHARDT)
- เตาเผา (ยี่ห้อ Carbolite,UK)

3.4 วิธีการทดลอง

1. การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดแมงลัก วิเคราะห์ใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ตามวิธีของ AOAC (2019)985.29,991.42 และ 991.19 ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) (ภาคผนวก ก)

1.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมจาก แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งผสมที่มีการเติมเมล็ดแมงลักในปริมาณต่างๆ (2,4 และ 6%) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ตามวิธีของ AACC ปี2016 หมายเลข AACC 61-02.01 โดยตั้งโปรแกรม STD1 ในการทดสอบความหนืด (ภาคผนวก ก)

2. การวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังแป้งหมักทางการค้า

2.1 ทำการวัดขนมปังแป้งหมักทางการค้าจาก 2 แหล่ง ได้แก่ท็อปซุปเปอร์มาเก็ต ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลศาลายาและ กรูเมต์มาเก็ต ห้างสรรพสินค้าสยามพารากอน โดยจะทำการวิเคราะห์ดังนี้

2.1.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter โดย ดัดแปลงวิธีจาก (Mantzourani และคณะ, 2019)เตรียมตัวอย่างโดยการนำขนมปัง 25 กรัม เติมน้ำกลั่นจำนวน 25 กรัม จากนั้นปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม (Blender, รุ่น HR 2115 ยี่ห้อ Philips) และนำไปวัด pH

2.1.2 ค่าปริมาณกรด โดยดัดแปลงจาก Mantzourani และคณะ (2019)เตรียมโดยการนำตัวอย่าง 10 กรัม ผสมกับน้ำ 90 มิลลิลิตร ปั่นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นผสม (Blender, รุ่น HR 2115 ยี่ห้อ Philips) และนำมาไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่

มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้ pH 8.5 รายงานผลการทดลองเป็นปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ml) ต่อน้ำหนักตัวอย่าง 10 กรัม

2.1.3 ค่าสี ของขนมปังแป้งหมักในระบบ CIE ทำการวัดในรูปของค่า L*, a* และ b* โดยใช้ เครื่องวัดสี (ColorFlex EZ System, รุ่น CFEZ-4500L, Virginia) โดยวัดสีส่วนของเปลือกและเนื้อขนมปัง

2.1.4 ปริมาณรูพรุนของเนื้อขนมปัง คำนวนด้วยโปรแกรม ImageJ โดยใช้ขนาดพื้นที่ในการวัด 30x40 มิลลิเมตร และขนาดรูพรุนที่ 0.1-infinity

2.1.5 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง ตามวิธีของ (AACC, 2000) ทดสอบโดยการชั่งน้ำหนักขนมปังหลังจากตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำมาวัดปริมาตรของขนมปังด้วยวิธีแทนที่ด้วยเมล็ดงาในภาชนะ ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง (เซนติเมตร^3/กรัม) คำนวณดังนี้

การคำนวณ:

ปริมาตรจำเพาะ = (ปริมาตรงาเริ่มต้น – ปริมาตรงาหลังแทนที่ด้วยผลิตภัณฑ์)/ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์

2.1.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปัง ดัดแปลงจากวิธีของ Jekle และคณะ (2018) เตรียมตัวอย่างโดยตัดตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และสูง 1 เซนติเมตร วัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Model TA-XT2i, Stable Micro System, UK) โดยใช้หัว probe P50 ใช้อัตราการเคลื่อนที่ของหัววัดดังนี้ pre-test speed = 3 (mm/s) test speed = 1 (mm/s) และ post-test speed = 3 (mm/s) และ trigger force = 0.049 N

2.1.7 ลักษณะความแข็งของเปลือกขนมปัง ดัดแปลงจากวิธี Pico และคณะ (2019) วัดด้วย Texture Analyzer (Model TA-XT2i, Stable Micro System, UK) โดยใช้หัว Diameter cylindrical probe เส้นผ่าศูนย์กลาง 2mm ใช้อัตราการเคลื่อนที่ของหัววัดดังนี้ test speed 0.5 (mm/s) (punching area 3 (mm^2) โดยจะวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ที่หัว กลาง และท้ายของขนมปัง

2.1.8 ความชื้นในเนื้อขนมปังตามวิธีของ AOAC (2000) นำตัวอย่างขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนปริมาณ 5 g ไปเข้าตู้อบที่ 105 $^{\circ}$C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแล้วคำนวนหาปริมาณความชื้นในเนื้อขมปัง

3. การศึกษาผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

ศึกษาการเติมผงเมล็ดแมงลักที่ปริมาณ 0 (สูตรควบคุม), 2, 4 และ 6% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด เปรียบเทียบกับสูตรที่มีการให้ความร้อนแป้งข้าวโพด และสตาร์ชมันสำปะหลัง ก่อนการผสมกับหัวเชื้อซาวโด โดยมีกระบวนการผลิตขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน ดังนี้

3.1 เตรียมหัวเชื้อซาวโด โดยการชั่งแป้งข้าวเจ้า 100 กรัม ละลายยีสต์ 3 กรัม กับน้ำตาล 6 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร ผสมส่วนผสมทั้งหมดและพักไว้ที่ตู้บ่มอุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2 สูตรควบคุม เตรียมได้โดยการชั่งแป้งข้าวเจ้า 120 กรัม แป้งข้าวโพด 30 กรัม และ สตาร์ชมันสำปะหลัง 40 กรัม ผสมส่วนผสมแห้งทั้งหมดให้เข้ากัน ละลายยีสต์ 4 กรัม กับน้ำตาล 8 กรัม ในน้ำ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำแป้งที่ผสมไว้ก่อนหน้าใส่ลงในเครื่องผสมอาหาร (Kitchen Aid,USA) เติมยีสต์ที่ละลายไว้ และ หัวเชื้อซาวโดที่เตรียมได้จากข้อ 1.1 ปริมาณ 20 กรัม และเติมน้ำ 100 มิลลิลิตร ผสมจนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันแล้วนำมาเทใส่แม่พิมพ์ พักไว้ในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 210 °C นาน 30 นาที

3.3 สูตรให้ความร้อนกับแป้งข้าวโพดและสตาร์ชมันสำปะหลังจนเกิดการเจลาติไนซ์บางส่วน เตรียมโดยชั่งแป้งข้าวโพด 30 กรัมและ สตาร์ชมันสำปะหลัง 40 กรัม ผสมกับน้ำ 100 มิลลิลิตรโดยให้ความร้อนบนแท่นให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 62-65 °C จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ละลายยีสต์ 4 กรัม กับน้ำตาล 8 กรัม ในน้ำ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำแป้งที่ให้ความร้อนไว้ก่อนหน้าใส่ลงในเครื่องผสมอาหาร (Kitchen Aid,USA) ผสมกับแป้งข้าวเจ้า 120 กรัม เติมยีสต์ที่ละลายไว้ และ หัวเชื้อซาวร์โดที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ปริมาณ 20 กรัม ผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันแล้วนำมาเทใส่แม่พิมพ์ พักไว้ในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 210 °C นาน 30 นาที

3.4 สูตรผสมผงเมล็ดแมงลัก เตรียมโดยการชั่งแป้งข้าวเจ้า 120 กรัม แป้งข้าวโพด 30 กรัม สตาร์ชมันสำปะหลัง 40 กรัมและผงเมล็ดแมงลัก ในปริมาณต่างๆ 4, 8 และ 12 กรัม (คิดเป็น 2, 4 และ 6% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด) เริ่มโดยการผสมส่วนผสม

แห้งทั้งหมดให้เข้ากันใส่ลงใน เครื่อง Kitchen Aid ละลายยีสต์ 4 กรัม กับน้ำตาล 8 กรัม ในน้ำ 50 มิลลิลิตร และเทใส่ในส่วนผสมแห้ง และเติมซาวร์โดที่เตรียมได้จากข้อ 1.1 ปริมาณ 20 กรัม และเติมน้ำอีก 100 มิลลิลิตร ผสมจนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันแล้ว นำมาเทใส่แม่พิมพ์ พักไว้ในตู้บ่มอุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาอบที่ 210 °C นาน 30 นาที

4. การวิเคราะห์คุณภาพของโดขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

4.1 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความร้อนของโดจากแป้งผสม แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งผสมที่มีการเติมเมล็ดแมงลักในปริมาณต่างๆ (2,4 และ 6%) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry ดัดแปลงจากวิธีของ Zaidul และคณะ (2008) โดยให้ความร้อนจาก 25 - 130 °C ด้วยอัตราการเพิ่มของความร้อนที่ 10 °C ต่อนาที วัดโดยการบรรจุใน Stainless pan

4.2 ความหนืดของโด ดัดแปลงวิธีจาก Sciarini และคณะ (2008) เตรียมตัวอย่างโดย นำโดที่ผ่านการหมักแบบไม่ใช้ยีสต์ ปริมาณ 30 มิลลิลิตร นำมาใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร วัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Model TA-XT2i, Stable Micro System, UK) โดยใช้หัว probe P25 ใช้อัตราการเคลื่อนที่ของหัววัดดังนี้ pre-test speed = 3 (mm/s) test speed = 1 (mm/s) ระยะทางการวัดที่ 15 mm

5. การวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

5.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) วัดด้วยเครื่อง pH meter โดยใช้วิธีเดียวกันกับข้อ 2.1.1โดยจะวัดจาก 3 ช่วงของการทำขนมปัง ก่อนการหมัก หลังการหมักและ หลังการอบ

5.2 ค่าความเป็นกรด ใช้วิธีเดียวกันกับข้อ 2.1.2 โดยจะวัดจาก 3 ช่วงของการทำขนมปัง ก่อนการหมัก หลังการหมักและหลังการอบ

5.3 ค่าสี ใช้วิธีวัดเดียวกับข้อ 2.1.3

5.4 ปริมาณรูพรุนของเนื้อขนมปัง ใช้วิธีวัดเดียวกับข้อ 2.1.4

5.5 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง ใช้วิธีวัดเดียวกับข้อ 2.1.5

5.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปัง ใช้วิธีวัดเดียวกับข้อ 2.1.6

5.7 ลักษณะความแข็งของเปลือกขนมปัง ใช้วิธีวัดเดียวกับข้อ 2.1.7

5.8 ความชื้นของเนื้อขนมปังใช้วิธีวัดเดียวกับข้อ 2.1.8

5.9 การพรรณนาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 5 คนในการประชุมแบบกลุ่ม (focus group) โดยใช้ขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่เตรียมในห้องปฏิบัติการจำนวน 5 ตัวอย่างและ ขนมปังแป้งหมักทางการค้า (จากแป้งสาลี) จำนวน 1 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 2) ตามวิธีของ Sigüenza-Andrés และคณะ (2021)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพและเคมีโดยจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำมาประมวลผลและ วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงข้อมูลด้วยค่ากลาง (mean) ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Tukey HSD เทียบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในผงเมล็ดแมงลัก

เมล็ดแมงลักมีปริมาณใยอาหารทั้งหมด 41.7 กรัม ต่อ 100 กรัม (ตารางที่ 6) โดยเมล็ดแมงลักมีใยอาหารไม่ละลายน้ำเป็นส่วนมาก (37.9 กรัม ต่อ 100 กรัม) ซึ่ง มีค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Calderon Bravo และคณะ (2021) ที่ทำการวัดปริมาณใยอาหารในเมล็ดแมงลักได้เพียง 22.6-26.1 กรัมต่อ100 กรัมซึ่งความต่างนี้เนื่องจากความแตกต่างของสายพันธุ์เมล็ดแมงลัก รวมถึงปริมาณเถ้า เปอร์เซ็นไขมัน โปรตีนและความชื้นที่แตกต่างกันตัวอย่างในงานวิจัยของ Calderon Bravo และคณะ (2021)โดยพบว่าตัวอย่างจากเมล็ดแมงลักสายพันธุ์อินเดียมีปริมาณเถ้า 7.7 % ไขมัน 13.8 % โปรตีน 14.8 % ความชื้น 9.6 %

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในผงเมล็ดแมงลัก

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (g/100g)*
ใยอาหารทั้งหมด	41.7
ใยอาหารไม่ละลายน้ำ	37.9
ใยอาหารละลายน้ำได้	3.8
เถ้า	5.41 ±0.02
ไขมัน	23.36±8.53
โปรตีน	23.70±0.78
ความชื้น	6.61±0.05

หมายเหตุ *คำนวณบนฐานเปียก (Wet basis)

4.2 คุณภาพของขนมปังแป้งหมักทางการค้า

ตัวอย่างขนมปังแป้งหมักทางการค้าทั้งสองตัวอย่าง มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.78-4.91 และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TTA) อยู่ในช่วง 3.55-3.57 (ตารางที่ 7) ให้ผลไปในทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Sandra และคณะ (2012) ซึ่งตัวอย่างมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.6-5.9 และปริมาณกรดที่ไตเตรตได้อยู่ในช่วง 3.1-4.3 สำหรับค่าปริมาตรจำเพาะ และความชื้น (ตารางที่ 7) ที่ต่างกันเกิดจากปัจจัยหลายอย่างเช่น ส่วนผสมที่ต่างกัน และสภาวะในการอบ (อุณหภูมิและเวลา) (Bredariol และคณะ, 2019) จะส่งผลให้การขึ้นฟูไม่เท่ากันจึงทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของตัวอย่างต่างกันได้

ตารางที่ 7 ค่า pH ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (TTA) ปริมาตรจำเพาะและความชื้นของตัวอย่างขนมปังแป้งหมักทางการค้า

ขนมปังทางการค้า	pH	TTA (ml NaOH 0.1 N/10 g)	ปริมาตรจำเพาะ (ml/g)	ความชื้น %
ตัวอย่างที่ 1	4.78±0.01[a]	3.55±0.05[a]	2.38±0.04[a]	38.89±0.73[a]
ตัวอย่างที่ 2	4.91±0.02[b]	3.57±0.02[a]	1.57±0.02[b]	40.76±0.51[b]

[a,b] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

สีของขนมปังเป็นหนึ่งในดัชนีสำคัญเพื่อประเมินคุณภาพของขนมปัง สีของเปลือกและเนื้อของขนมปังควรเป็นสีน้ำตาลและสีครีมตามลำดับ (Olojede และคณะ, 2020) เมื่อพิจารณาเปลือกขนมปัง ค่า L* ที่ต่ำแสดงว่าตัวอย่างมีสีเข้มเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมไรเซชั่นในระหว่างการอบ (Tuta Şimşek, 2020) จากตารางที่ 8 และ 9 จะสังเกตุได้ว่าตัวอย่างที่ 1 มีค่า L* ที่ต่ำกว่า ทั้งในด้านของเปลือกและเนื้อของขนมปัง เนื่องจากปริมาณน้ำตาลและโปรตีนที่ต่างกันในตัวอย่างทั้ง 2 ทำให้ค่า L* ต่างกัน (Mollakhalili-meybodi และคณะ, 2023) รวมถึงอุณหภูมิในการอบที่สูงทำให้ตัวอย่างที่ 1 มีสีที่เข้มกว่า (Erbaş และคณะ, 2012) สำหรับค่า a* และ b* ของเปลือกและเนื้อของขนมปังแป้งหมักทางการค้ามีความต่างกัน

ตารางที่ 8 ค่าสีของเปลือกขนมปังแป้งหมักทางการค้า

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
ตัวอย่างที่ 1	75.72±0.71[a]	11.36±0.13[a]	20.11±0.04[a]
ตัวอย่างที่ 2	83.07±0.49[b]	11.52±0.06[b]	23.82±0.15[b]

[a,b,c] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 9 ค่าสีของเนื้อขนมปังแป้งหมักทางการค้า

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
ตัวอย่างที่ 1	79.57±0.02[a]	9.21±0.11[b]	17.21±0.35[a]
ตัวอย่างที่ 2	87.21±0.04[b]	7.27±0.27[a]	18.38±0.02[b]

[a,b] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

หมายเหตุ : L* หมายถึงค่าความสว่าง มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว

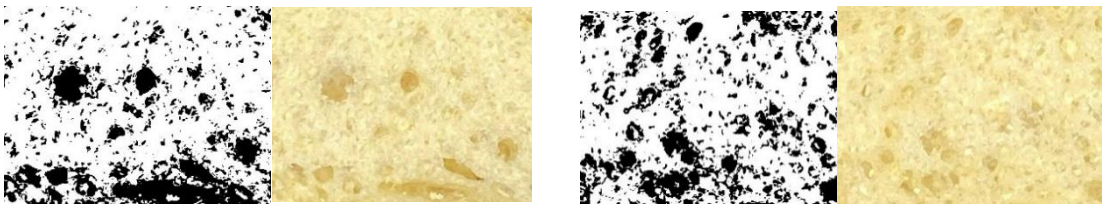
- แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*)
- แกน b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

ลักษณะของรูพรุนที่แสดงมี 3 อย่างได้แก่ Number of cell บ่งบอกถึงปริมาณรูพรุนที่วัดได้ Mean cell area (mm^2) หมายถึงขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยและ % cell area หมายถึงพื้นที่ของรูพรุนต่อพื้นที่ขนมปังทั้งหมด จากตารางที่ 10 จะสังเกตได้ว่าตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณรูพรุนที่น้อยกว่าแต่กลับมีพื้นที่ของรูพรุนที่มากกว่าโดยจะสังเกตุได้ว่าตัวอย่างที่มีพื้นที่ของรูพรุนที่มากกว่าทำให้มีการขึ้นฟูที่มากส่งผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะสูงขึ้น (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณและขนาดของรูพรุนในเนื้อขนมปังแป้งหมักทางการค้า

ตัวอย่าง	Number of cell	Mean cell area (mm^2)	% cell area
ตัวอย่างที่ 1	643.67±23.16[a]	0.28±0.068[a]	30.44±5.54[a]
ตัวอย่างที่ 2	653±80.72[b]	0.22±0.035[b]	28.23±5.05[b]

[a,b] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)



(ก) (ข)

ภาพที่ 7 ภาพหน้าตัดของเนื้อขนมปังทางการค้าด้วยโปรแกรม Image J โดยภาพด้านขวาเป็นภาพถ่ายจากกล้องและถาพด้านซ้ายเป็นภาพ Binary Image จากโปรแกรม Image J
หมายเหตุ ตัวอักษรในภาพแสดงถึง (ก) ตัวอย่างที่ 1 (ข) ตัวอย่างที่ 2

ด้านของความแข็ง และความยืดหยุ่น ของเนื้อขนมปังแป้งหมักทางการค้าสอง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 11) แต่ในด้านของค่าความแข็งของเปลือก พบว่าตัวอย่างที่ 1 มีค่าความแข็งที่สูงกว่ากันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอาจเนื่องจากสูตรที่ต่างกันของขนมปัง โดยองค์ประกอบที่อาจส่งผลต่อความแข็งของเปลือกคือปริมาณน้ำต่อต่อปริมาณแป้ง ส่วนค่าความยืดหยุ่นไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 12)

ตารางที่ 11 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของตัวอย่างเนื้อขนมปังแป้งหมักทางการค้า

ขนมปังทางการค้า	Hardness (g)	Springiness	Chewiness	Resilience
ตัวอย่างที่ 1	183.11±16.74[a]	1.34±0.20[a]	229.51±48.87[a]	0.44±0.01[a]
ตัวอย่างที่ 2	252.24±47.65[a]	0.96±0.02[a]	194.23±32.84[a]	0.40±0.04[a]

[a,b] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 12 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของตัวอย่างเปลือกขนมปังแป้งหมักทางการค้า

ขนมปังทางการค้า	Crust hardness (g)	Elasticity (mm)
ตัวอย่างที่ 1	1012.46± 114.11[b]	68.80±13.80[a]
ตัวอย่างที่ 2	610.98±87.44[a]	73.26± 0.61[a]

[a,b] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

4.3 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมจาก แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งผสมที่มีการเติมเมล็ดแมงลักในปริมาณต่างๆ (2,4 และ 6%)

จากตารางที่ 13 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของเมล็ดแมงลักจะส่งผลให้ตัวอย่างแป้งผสมมีความหนืดสูงสุด ค่าการแตกหัก (breakdown) ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัวมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมล็ดแมงลักมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มาก ทำให้น้ำในระบบลดลง อีกทั้งไฟเบอร์จำพวกกลูโคแมนแนนที่มีความสามารถในการก่อเจลที่สูงจะส่งผลให้ความหนืดของแป้งผสมเพิ่มมากขึ้น จากงานวิจัยของ Israr และคณะ (2017) ได้ศึกษาผลของการเติมกัมจากเมล็ดแมงลักในขนมปังได้ผลลัพท์เช่นเดียวกันคือเมื่อทำการเติมกัมจากเมล็ดแมงลักในขนมปังจะส่งผลให้มีความหนืดที่สูงขึ้น ส่วนค่า Break down (ค่าการแตกหัก)ที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากความต่างของค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุดเมื่อความหนืดสูงสุดเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ค่าการแตกหักสูงขึ้นตามไปด้วย

ค่า Setback (ค่าการคืนตัว) เป็นค่าที่สัมพันธ์กับค่าความแข็งที่เพิ่มมากขึ้นของขนมปังหลังจากการอบ ซึ่งการเติมเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการคืนตัวมากขึ้น (ตารางที่ 13) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Israr และคณะ (2017) เนื่องจากเมื่อมีปริมาณเมล็ดแมงลักเพิ่มมากยิ่งขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณเส้นใยมีมากขึ้นและเมื่อมีการเย็นตัวลง เส้นใยจากเมล็ดแมงลักจะมีความแข็งแรงของเจลเพิ่มมากขึ้นนั่นคือสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่าการคืนตัว

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสม (แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง และ แป้งข้าวโพด) และแป้งผสมที่มีการเติมเมล็ดแมงลักในปริมาณต่างๆ (2 - 6%)

ตัวอย่าง	Peak (cps)	Trough (cps)	Breakdown (cps)	Final viscosity (cps)	Setback (cps)	Pasting Temperature (^{o}C)
Control	4070±50^{a}	2991±139^{a}	1071±89^{a}	4767±68^{a}	1765±77^{a}	79.51±0.28^{c}
Bs 2 %	5140±8^{b}	3977±77^{b}	1365±138^{b}	5158±92^{a}	2088±40^{a}	79.38±0.52^{c}
Bs 4 %	5572±83^{c}	4193±91^{bc}	1539±60^{b}	5961±60^{b}	2294±91^{b}	76.65±0.62^{b}
Bs 6 %	5778±100^{c}	4493±222^{c}	1837±46^{c}	6462±110^{c}	2525±92^{b}	73.83±0.67^{a}

^{a,b} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

4.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนของโดขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

จากผลการทดลอง พบว่าตัวอย่างส่วนใหญ่มี peak ขึ้น 2 ตำแหน่ง (Tp_1 และ Tp_2) (ตารางที่ 14) สอดคล้องกับงานวิจัยของ León และคณะ (1997); Prakaywatchara และคณะ (2018) โดยพีคแรก (Tp_1) สัมพันธ์กับการเกิดเจลาติไนซ์เซชันของอะไมโลเพคติน (เรียกว่า G endotherm) พีคที่สอง (Tp_2) เป็นพีคที่เกิดจากการหลอมผลึกที่ตกค้างของแป้ง (เรียกว่า M endotherm) ซึ่งเป็นลักษณะพีคของตัวอย่างที่มีน้ำในปริมาณจำกัด (Bertrand และคณะ, 2019) ทำให้เกิดพีคขึ้น 2 ตำแหน่ง แต่ค่า Tp_2 ของตัวอย่าง HTPC ตรวจไม่พบ อาจเนื่องจากการให้ความร้อนกับแป้งในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทำให้ปริมาณผลึกหรือเกลียวคู่ในระบบลดลงจึงไม่พบพีคในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว

เมื่อพิจารณาการเติมเมล็ดแมงลัก พบว่าปริมาณผงเมล็ดแมงลักสูงขึ้น จะทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์เซชันสูงขึ้น เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณน้ำที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์เซชัน เพราะปริมาณเมล็ดแมงลักที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำในระบบลดลงเมื่อเทียบ

กับน้ำหนักของส่วนผสมรวมทั้งหมด หรืออาจเกิดจากสารจำพวกกลูโคแมนแนนที่พบในเมล็ดแมงลัก ซึ่งมีสมบัติที่สามารถเกิดเจลได้ จึงแย่งจับน้ำอิสระในระบบ (Israr และคณะ, 2017) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทำหน้าที่เป็น พลาสติไซเซอร์ของโมเลกุลพอลิเมอร์ ดังนั้นปริมาณน้ำอิสระที่ลดลง จึงส่งผลให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์เซชันสูงขึ้น (Torres และคณะ, 2013) แต่อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์เซชันที่จุดสูงสุดที่ตำแหน่ง Tp_1 ของทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$) Delta H เป็นค่าที่บ่งบอกการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนที่ความดันคงที่บ่งชี้การสูญเสียความเป็นระเบียบในโมเลกุล (เกลียวคู่) ในสตาร์ช (Li และคณะ, 2013) เมื่อทำการเติมผงเมล็ดแมงลัก ในแป้งผสม พบว่า ค่า Delta H มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแป้งรวมในระบบลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu และคณะ (2021) และ Zaidul และคณะ (2008) ซึ่งพบว่าเมื่อมีการเพิ่มเส้นใยในระบบจะทำให้ค่า Delta H ลดลง

ค่า Delta H ที่แตกต่างกันของตัวอย่างควบคุม (10.60 J/g) และตัวอย่าง HTPC (5.00 J/g) เนื่องจากตัวอย่าง HTPC มีการให้ความร้อนกับแป้งข้าวโพด และสตาร์ชมันสำปะหลัง ก่อนการผสมกับซาวโด (เตรียมจากแป้งข้าวเจ้า) ส่งผลให้เกลียวคู่บางส่วนในแป้งข้าวโพด และสตาร์ชมันสำปะหลังถูกหลอมในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง จึงทำให้ตัวอย่าง HTPC มีค่า Delta H ที่น้อยกว่าตัวอย่างควบคุม (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 14 ตารางแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนของโดขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

ตัวอย่าง	T_0	Tp_1	Tp_2	T_e	Delta H (J/g)
Control	66.31±0.43^{a}	74.11±1.13^{a}	84.42±0.67^{a}	99.63±2.36^{ab}	10.60±0.59^{c}
HTPC	64.99±0.78^{a}	74.33±0.48^{a}	-	95.87±2.05^{a}	5.00±0.53^{a}
Bs 2 %	68.03±0.37^{b}	75.64±0.21^{a}	96.38±0.01^{b}	100.71±3.86^{ab}	10.01±0.06^{b}
Bs 4 %	68.26±0.10^{b}	75.37±0.18^{a}	95.92±0.84^{b}	102.79±0.36^{b}	9.37±0.45^{b}
Bs 6 %	68.57±0.81^{b}	75.79±1.06^{a}	97.14±0.89^{b}	102.90±0.84^{b}	4.60±0.37^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรในตารางหมายถึง (T_0 : onset Temperature) (Tp_1 : peak 1 Temperature) (Tp_2 : peak 2 Temperature) (T_e: end Temperature) (- : ตรวจไม่พบpeak)

^{a,b,c} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

เมื่อเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณที่ต่างกัน (2, 4 และ 6%) พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของโดมีความหนืดขึ้น เนื่องจากปริมาณผงเมล็ดแมงลักที่เพิ่มขึ้นทำให้ใยอาหาร จำพวกกลูโคแมนแนนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งใยอาหารจำพวกกลูโคแมนแนน มีความสามารถในการก่อเจลที่สูง (Naji-Tabasi และ Razavi, 2017) โดยเจลนี้จะทำหน้าที่แทนกลูเตนในขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ช่วยในเรื่องโครงสร้างทำให้เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของเมล็ดแมงลัก ส่งผลให้โดของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนมีความหนืดเพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยจะอธิบายจากค่า Firmness (ค่าความแน่นเนื้อ) ซึ่งบ่งชี้แรงที่ใช้ในการกดตัวอย่าง หากมีค่ามากแสดงว่าตัวอย่างมีความแน่นเนื้อมาก Consistency (ค่าความคงตัว) เป็นค่าที่สัมพันธ์กับความหนืด ค่า consistency ที่มากแสดงว่าตัวอย่างมีความข้นหนืดมาก (Yilmaz-Ersan, 2022) จากตารางที่ 15 พบว่า โดของตัวอย่างควบคุมจะมีความแน่นน้อยหรือเกือบเหลว แต่ตัวอย่าง HTPC และตัวอย่างที่มีการเติมผงเมล็ดแมงลัก จะทำให้ค่า Firmness (ค่าความแน่น) และ Consistency (ค่าความคงตัว) มีค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้น ส่วนค่า Cohesiveness (ค่าการเกาะตัวกัน) เป็นค่าที่สัมพันธ์กับความแข็งแรงของพันธะที่จับยึดกันภายในโครงสร้าง และค่า Index of Viscosity (ค่าดัชนีความหนืด) เป็นค่าบ่งชี้ความต้านทานต่อการเสียสภาพของตัวอย่างเมื่อได้รับความเค้นเฉือน หรือตัวอย่างมีความข้นหนืดมาก (Yilmaz-Ersan, 2022) ผลที่ได้จากการทดลอง พบว่า ตัวอย่าง HTPC และตัวอย่างที่มีการเติมผงเมล็ดแมงลัก มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าตัวอย่างมีความหนืดมากยิ่งขึ้น (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน

ตัวอย่าง	Firmness (g)	Consistency (g.sec)	Cohesiveness (g)	Index of Viscosity (g.sec)
Control	52.63±3.25^{a}	498.45±49.63^{a}	-23.40±5.22^{c}	-208.908±69.04^{d}
HTPC	137.81±1.84^{a}	1434.94±53.03^{ab}	-55.19±2.44^{c}	-808.59±29.54^{c}
Bs 2 %	319.15±45.62^{b}	1859.74±537.97^{b}	-176.54±43.95^{b}	-1495.24±408.82^{b}
Bs 4 %	321.20±8.98^{b}	3540.26±163.33^{c}	-121.85±4.95^{b}	-1419.50±75.89^{b}
Bs 6 %	924.60±115.98^{c}	9179.27±822.19^{d}	-268.01±16.95^{a}	-2493.96±222.47^{a}

^{a,b,c} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

4.6 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณผงเมล็ดแมงลักสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า pH ของขนมปังที่ได้หลังการอบมีแนวโน้มสูงขึ้น (ตารางที่ 9) เนื่องจากปริมาณผงเมล็ดแมงลักที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณซาวโดต่อน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดลดลง จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดในขนมปังมีค่าสูงกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ก็ยังอยู่ในระดับเดียวกันกับของตัวอย่างทางการค้า (ตารางที่ 7) ในส่วนของตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนส์บางส่วนพบว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมหลังการหมักมีความต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจเป็นผลจากการเกิดเจลาติไนซ์บางส่วนทำให้แบคทีเรียทำงานได้น้อยลงเนื่องจากแป้งที่ถูกให้ความร้อนบางส่วนจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 62-67 $^{\circ}$C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการรอดชีวิตของเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติจึงส่งผลการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทำให้เกิดการปล่อยแลคติคแอซิดได้น้อยลง (Hao และคณะ, 2021) (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของแป้งผสมก่อนและหลังหมักและขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน

ตัวอย่าง	โด		ขนมปัง
	ก่อนการหมัก	หลังการหมัก	หลังการอบ
Control	4.89±0.02^{a}	4.71±0.02^{a}	4.73±0.02^{a}
HTPC	5.03±0.02^{bc}	4.94±0.04^{b}	4.99±0.02^{c}
Bs 2 %	5.01±0.02^{b}	4.79±0.04^{a}	4.84±0.05^{b}
Bs 4 %	5.10±0.02^{cd}	5.01±0.01^{b}	5.04±0.02^{c}
Bs 6 %	5.14±0.02^{d}	5.02±0.02^{b}	5.08±0.01^{c}

^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

4.7 ค่าปริมาณกรดของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

ค่าปริมาณกรดของขนมปัง ซึ่งรายงานเป็นปริมาตรของสารละลายด่างที่ใช้การไตเตรทตัวอย่าง (ตารางที่ 17) พบว่าตัวอย่างขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนจากการทดลองมีปริมาณกรดอยู่ในช่วง 4.30-4.95 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่ามากกว่าขนมปังแป้งหมักทางการค้า(จากแป้งสาลี) ซึ่งอยู่ในช่วง 3.55-3.57 มิลลิลิตร (ตารางที่7) อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำตาลที่เติมในส่วนผสม (Galle และคณะ, 2012)

ตัวอย่างที่มีปริมาณผงเมล็ดแมงลักเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าปริมาณกรดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งเหตุผลอธิบายได้เช่นเดียวกับผลต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ส่วนตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลาติไนซ์เซชันบางส่วนมีความต่างกัน (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17ค่าปริมาณกรด (ml NaOH 0.1N/10g) ของแป้งผสมก่อนและหลังหมักและขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน

ตัวอย่าง	โด		ขนมปัง
	ก่อนการหมัก	หลังการหมัก	หลังการอบ
Control	4.62±0.02^{c}	4.97±0.02^{d}	4.95±0.04^{d}
HTPC	4.30±0.04^{ab}	4.47±0.05^{ab}	4.45±0.04^{b}
Bs 2 %	4.58±0.05^{c}	4.68±0.02^{c}	4.62±0.02^{c}
Bs 4 %	4.42±0.06^{bc}	4.62±0.05^{bc}	4.57±0.02^{bc}
Bs 6 %	4.13±0.10^{a}	4.35±0.08^{a}	4.30±0.07^{a}

^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\geq0.05$)

4.8 ค่าสีของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

ค่าสีของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน พบว่าเมื่อมีปริมาณผงเมล็ดแมงลักในสูตรที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เปลือกและเนื้อขนมปังมีค่าความสว่างของสีลดลง (ตารางที่ 18 และ 19) เนื่องจากผงเมล็ดแมงลักมีสีดำจากแอนโทไซยานิน จากงานวิจัยของ Calderon Bravo และคณะ (2021) พบว่าค่าสีของเมล็ดแมงลักมีค่า L* (ค่าความสว่าง) อยู่ที่ 19.62-26.28 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณผงเมล็ดแมงลักในการเติมจะทำให้ขนมปังมีสีดำมากยิ่งขึ้น เป็นผลให้ค่าความสว่างลดลง ส่วนตัวอย่างควบคุมกับตัวอย่างที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลาติไนซ์บางส่วนมีค่า L* ต่างกันเป็นเพราะตัวอย่าง HTPC มีการใช้แป้งที่ได้ผ่านการให้ความร้อนบางส่วนก่อนเข้าอบจึงส่งผลให้ค่า L* ค่าความสว่างลดลง อีกทั้งยังทำให้ค่า a* b* เพิ่มขึ้นอีกด้วย (ตารางที่ 18 และ 19)(ภาพที่ 8 และ 9)

ตารางที่ 18 ค่าสีของเปลือกของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลัก เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
Control	80.85±0.16^{e}	1.01±0.01^{c}	13.47±0.01^{e}
HTPC	79.56±0.09^{d}	0.89±0.02^{a}	13.08±0.03^{d}
Bs 2 %	69.64±0.25^{c}	0.96±0.02^{b}	10.53±0.07^{c}
Bs 4 %	64.25±0.09^{b}	1.09±0.01^{d}	9.69±0.04^{b}
Bs 6 %	60.69±0.3^{a}	1.14±0.01^{e}	8.77±0.03^{a}

^{a,b,c} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

หมายเหตุ : L* หมายถึงค่าความสว่าง มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว

- แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*)
- แกน b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

(ก) (ข) (ค) (ง)

(จ)

ภาพที่ 8 ลักษณะปรากฏของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน สูตรควบคุม (ก) สูตรการให้ความร้อนกับแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง (ข) สูตรที่เติมผงเมล็ดแมงลัก 2% (ค) 4% (ง) และ 6% (จ)

ตารางที่ 19 ค่าสีของเนื้อของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลัก เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
Control	79.21±0.38^{d}	1.36±0.07^{a}	16.28±0.53^{b}
HTPC	71.42±0.73^{c}	4.32±0.16^{c}	24.11±0.99^{c}
Bs 2 %	61.58±2.06^{b}	1.31±0.15^{a}	13.09±0.75^{a}
Bs 4 %	58.69±1.83^{b}	1.35±0.36^{a}	11.34±1.43^{a}
Bs 6 %	49.43±1.68^{a}	2.11±0.09^{b}	12.71±0.42^{a}

^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

หมายเหตุ : L* หมายถึงค่าความสว่าง มี ค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว

- แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*)
- แกน b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

(ก) (ข) (ค) (ง)

(จ)

ภาพที่ 9 ภาพตัดขวางของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนตรควบคุม (ก) สูตรการให้ความร้อนกับแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง (ข) สูตรที่เติมผงเมล็ดแมงลัก 2% (ค) 4% (ง) และ 6% (จ)

4.9 ปริมาตรจำเพาะและความชื้นของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

ขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนมีปริมาตรจำเพาะอยู่ในช่วง 1.47-1.94 มิลลิลิตร/กรัม (ตารางที่ 20) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ 2 ทางการค้า ซึ่งมีค่าปริมาตรจำเพาะ 1.57 มิลลิลิตร/กรัม (ตารางที่ 7) การเติมผงเมล็ดแมงลักปริมาณ 2% ได้ขนมปังที่มีค่าปริมาตรจำเพาะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่เมื่อเติมผงเมล็ดแมงลักปริมาณ 4% และ 6% ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง โดยมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 20) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rezapour และคณะ (2016) ซึ่งศึกษาการเติมผงเมล็ดแมงลักในขนมปังฝรั่งเศสที่เตรียมจากแป้งสาลี ซึ่งเติมผงเมล็ดแมงลักได้เพียง 0.5% ที่ให้ค่าปริมาตรของขนมปังไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุม เนื่องจากผงเมล็ดแมงลักมีใยอาหารปริมาณมาก (47.1%) ใยอาหารที่มากนี้ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มแก๊สของขนมปังลดลง (Aguilar และคณะ, 2016) ทำให้การขึ้นฟูลดลงจึงเป็นผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะลดลง ในด้านของตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลาติไนซ์บางส่วนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแสดงได้ว่าการให้ความร้อนจนเกิดเจลาติไนซ์บางส่วนไม่ส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะ (ตารางที่ 20)

ความชื้น เมื่อเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณที่ต่างกัน (2, 4 และ 6%) พบว่าปริมาณความชื้นในเนื้อขนมปังมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของใยอาหารจำพวกกลูโคแมนแนนที่มีความสามารถในการก่อเจลที่สูงด้วยเหตุนั้นทำให้ปริมาณน้ำในระบบถูกดึงไปใช้ในการก่อเจลทำให้ปริมาณน้ำที่สามารถระเหยออกจากการอบมีการลดลงทำให้ปริมาณน้ำในเนื้อขนมปังเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเติมเมล็ดแมงลักในปริมาณที่มาก ส่วนตัวอย่างที่ ให้ความร้อนจนเกิดเจลาติไนซ์บางส่วน(HTPC) นั้นอาจเกิดการดูดซับน้ำได้มากก่อนเข้าอบจึงทำให้ปริมาณความชื้นหลังอบมีมากกว่าตัวอย่างควบคุม โดยปริมาณความชื้นจะส่งผลต่อคุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนในรูปแบบของค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเนื้อขนมปัง

ตารางที่ 20 ค่าปริมาตรจำเพาะและความชื้นของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน

ตัวอย่าง	Specific volume (ml/g)	ความชื้น %
Control	1.94±0.01[c]	35.48±3.78[a]
HTPC	1.94±0.02[c]	42.93±0.93[b]
Bs 2 %	1.92±0.02[c]	39.02±0.34[ab]
Bs 4 %	1.73±0.04[b]	40.12±0.43[ab]
Bs 6 %	1.47±0.0[a]	41.26±0.67[b]

[a,b,c] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

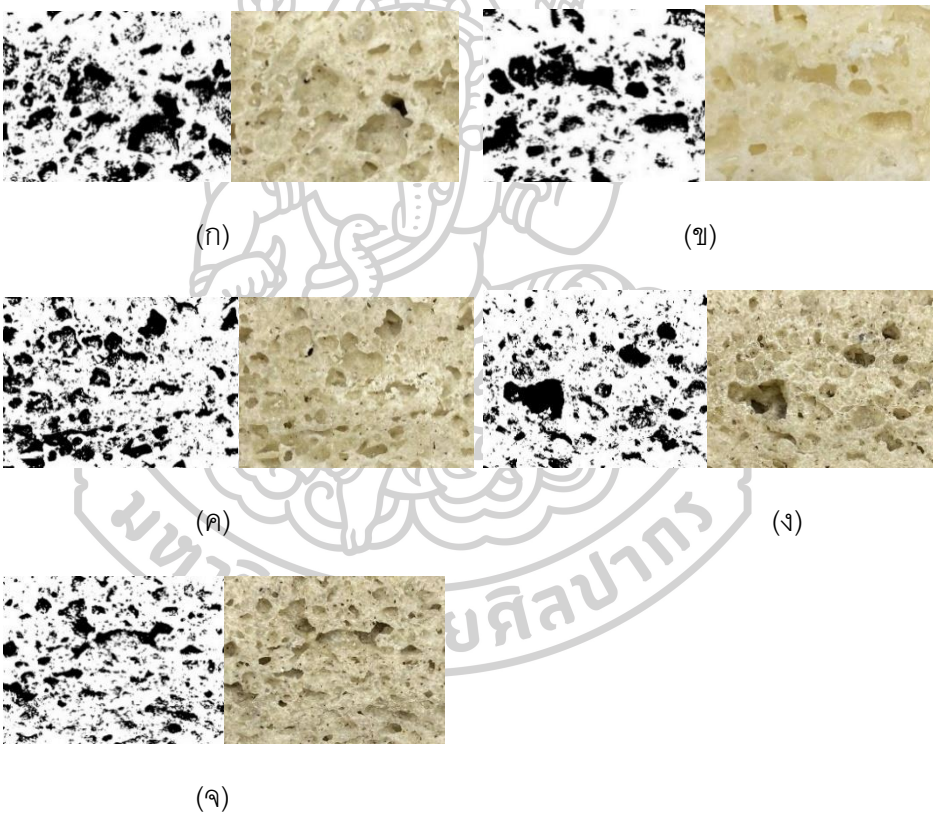
4.10 ปริมาณและขนาดของรูพรุนในเนื้อขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

เมื่อเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณที่ต่างกัน (2, 4 และ 6%) พบว่าปริมาณรูพรุน (Number of cell) เพิ่มขึ้นตามลำดับ (ตารางที่ 21 ภาพที่10)เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของใยอาหารจำพวกกลูโคแมนแนน ทำให้โครงสร้างในการกักเก็บแก๊สมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้นทำให้ฟองอากาศเกิดการขยายขนาดได้น้อย ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเมล็ดแมงลักจะส่งผลให้ปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้นและยังส่งผลต่อของพื้นที่ของรูพรุนต่อพื้นที่ขนมปังทั้งหมด (% cell area) ที่มีปริมาณที่สูงขึ้น ส่วนตัวอย่างควบคุมเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลาติไนซ์บางส่วนจะสังเกตุได้ว่าตัวอย่าง HTPC มีปริมาณรูพรุนที่มากกว่า เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนจนเกิดเจลาติไนซ์ (HTPC) แป้งจะมีความเหนียวที่มากขึ้นทำให้โครงสร้างในการกักเก็บก๊าซแข็งแรงมากยิ่งขึ้นจึงส่งผลให้มีปริมาณรูพรุนที่มากกว่าโดยจะสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังเมื่อมีปริมาณรูพรุนที่มากจะส่งผลให้เนื้อขนมปังมีความนุ่มมากขึ้น (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 ปริมาณและขนาดของรูพรุนในเนื้อขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

ตัวอย่าง	Number of cell	Mean cell area (mm^2)	% cell area
Control	512±53 [a]	0.41±0.20 [a]	15.45±2.37 [a]
HTPC	660±165 [ab]	0.39±0.21 [a]	18.78±6.07 [a]
Bs 2 %	965±57 [bc]	0.26±0.28 [a]	20.22±1.36 [a]
Bs 4 %	1338±272 [c]	0.21±0.10 [a]	21.41±3.00 [a]
Bs 6 %	1019±176 [bc]	0.25±0.05 [a]	20.09±0.78 [a]

[a,b,c] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)



ภาพที่ 10 ภาพหน้าตัดของเนื้อขนมปังด้วยโปรแกรม Image J โดยภาพด้านขวาเป็นภาพถ่ายจากกล้องและภาพด้านซ้ายเป็นภาพ Binary Image จากโปรแกรม Image J

หมายเหตุ ตัวอักษรในภาพแสดงถึง (ก) ตัวอย่างควบคุม (ข) ตัวอย่างที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลาติไนซ์บางส่วน (ค)ตัวอย่างที่เติมผงเมล็ดแมงลัก 2% (ง) ตัวอย่างที่เติมผงเมล็ดแมงลัก 4% (จ) ตัวอย่างที่เติมผงเมล็ดแมงลัก 6%

4.11 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

เมื่อเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณที่ต่างกัน (2, 4 และ 6%) พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) ของขนมปังมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณผงเมล็ดแมงลักที่เพิ่มขึ้นทำให้ใยอาหาร จำพวกกลูโคแมนแนนเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถอธิบายด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับปริมาตรจำเพาะ แต่เมื่อมีปริมาณผงเมล็ดแมงลักที่มากเกินไปจะทำให้โครงสร้างในการกักเก็บก๊าซแข็งแรงจนเกินไปที่จะสามารถขึ้นฟูได้ตามปกติ อีกทั้งการที่ผงเมล็ดแมงลักสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้น(ตารางที่ 15) จึงเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้การขึ้นฟูลดลง (ตารางที่ 22) และส่งผลให้ค่าความแข็งของขนมปังเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่การเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณ 0-6% เนื้อขนมปังมีค่า Springiness (ความยืดหยุ่น) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แต่ตัวอย่าง HTPC จะมีค่า Springiness (ความยืดหยุ่น) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และการเติมด้วยผงเมล็ดแมงลัก จะสังเกตได้ว่ามีความแน่นของเนื้อขนมปังที่มากขึ้นสามารถอธิบายการด้วยเพิ่มขึ้นของค่า Chewiness (ค่าความต้านทานการเคี้ยว) ได้อีกด้วย ส่วนค่า Springiness (ค่าความยืดหยุ่น) และค่า Resilience (ค่าการคืนตัว) ของขนมปังให้ผลค่อนข้างไปในทางเดียวกัน โดยเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่มีการเติมผงเมล็ดแมงลักจะมีค่าที่ Resilience (ค่าการคืนตัว) สูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของเจลจำพวกกลูโคแมนแนนที่พบในผงเมล็ดแมงลัก แต่ตัวอย่างที่ได้รับการให้ความร้อนบางส่วนมี Springiness (ค่าความยืดหยุ่น) ที่สูงแตกต่างออกไปเนื่องจากการให้ความร้อนจนเกิดการเจลาติไนซ์บางส่วนทำให้โดมีความเหนียวมากยิ่งขึ้นเมื่อแป้งที่ให้ความร้อนจนเกิดการเจลาติไนซ์จะมีลักษณะคล้ายยางและมีความเหนียวที่สูง (ตารางที่ 15) ทำให้ค่า Springiness (ค่าความยืดหยุ่น) และ Resilience (ค่าการคืนตัว) สูงเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 22 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน

ตัวอย่าง	Hardness (g)	Springiness	Chewiness	Resilience
Control	958.84±78.66^{ab}	0.99±0.02^{a}	796.67±98.01^{ab}	0.52±0.05^{a}
HTPC	630.46±194.63^{a}	1.13±0.09^{b}	626.66±145.53^{a}	0.67±0.06^{c}
Bs 2 %	1169.48±190.20^{bc}	0.98±0.02^{a}	936.16±111.00^{abc}	0.56±0.02^{ab}
Bs 4 %	1233.95±223.84^{bc}	1.00±0.02^{a}	1049.10±190.27^{bc}	0.60±0.02^{bc}
Bs 6 %	1540.80±259.99^{c}	0.97±0.01^{a}	1274.24±196.11^{c}	0.61±0.01^{bc}

^{a,b,c} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

4.12 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเปลือกขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน

เมื่อเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณที่ต่างกัน (2, 4 และ 6%) พบว่าค่าความแข็งส่วนเปลือกของขนมปังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น(ตารางที่ 23) เนื่องจากปริมาณผงเมล็ดแมงลักที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อปริมาณใยอาหารในเปลือกขนมปังมีเพิ่มมากยิ่งขึ้น ความสามารถในการจับน้ำไว้ส่วนเนื้อขนมปังเพิ่มขึ้นจึงลดการเคลื่อนย้ายความชื้นมาที่เปลือกขนมปัง (Gallagher และคณะ, 2003) ทำให้ผิวของขนมปังมีค่าความแข็งเพิ่มมากยิ่งขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเมล็ดแมงลัก ส่วนของค่าความยืดหยุ่นไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างที่ให้ความร้อนบางส่วนจนเกิดการเจลาติไนซ์มีความแข็งของเปลือกมากกว่าตัวอย่างควบคุมเนื่องจากตัวแป้งที่เกิดการเจลาติไนซ์แล้วถูกให้ความร้อนอีกรอบจะทำให้แข็งกว่าตัวอย่างที่ไม่ถูกทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ก่อนหน้าแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความแข็งของเปลือกจะเชื่อมโยงกับปริมาตรจำเพาะเนื่องจากเมื่อเปลือกมีความแข็งจะทำให้อัตราการขึ้นฟูลดลงส่งผลให้ค่าปริมาตรจำเพาะลดลงในทิศทางตรงกันข้าม และเมื่อเทียบกันตัวอย่างจากทางการค้าพบว่า (ตารางที่ 12) ตัวอย่างจากการทดลอง มีค่าความแข็งของเปลือกที่น้อยกว่า เพราะตัวอย่างจากทางการค้ามีกลูเตนที่ทำหน้าที่ในการเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงและต่อเนื่องกว่าขนมปังแป้งปลอดกลูเตนจึงทำให้โครงสร้างที่ผิวของขนมปังจากการทดลองจึงมีความเปราะมากกว่า

ตารางที่ 23 ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของเปลือกขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและตัวอย่างที่ทำจากแป้งเจลาติไนซ์บางส่วน

ตัวอย่าง	Crust hardness (g)	Elasticity (mm)
Control	331.312±61.32 [a]	45.89±0.88 [a]
HTPC	366.11±52.34 [ab]	44.96±1.93 [a]
2%	372.79±84.51 [ab]	46.01±1.91 [a]
4%	421.48±123.66 [ab]	45.66±1.69 [a]
6%	524.23±58.69 [b]	43.94±1.79 [a]

[a,b,c] ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

4.13 การพรรณนาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนเทียบกับตัวอย่างทางการค้า

จากการการทดสอบชิมโดยผู้ชิม 5 คน ได้ประเมินคุณลักษณะของขนมปังดังนี้ คือ ลักษณะของเปลือก เนื้อขนมปัง รูพรุน กลิ่นและ รสชาติ โดยจากภาพรวมแล้วสรุปออกมาได้ว่า ตัวอย่างทางการค้าจะมีลักษณะเปลือกที่แข็งกว่าขนมปังทั่วไป เนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังมีลักษณะเหนียวนุ่มและมีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมปังทั่วไป ในส่วนของรสชาติจะมีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อยเป็นรสชาติตกค้างหลังการชิม ในส่วนของตัวอย่างจากการทดลองพบว่า ลักษณะของเปลือกมีความแข็งและเหนียว ไม่เปราะเมื่อเทียบกับตัวอย่างทางการค้า โดยเฉพาะในตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เกิดการเจลาติไนซ์บางส่วน จะต้องใช้แรงในการกัดเพื่อให้ขาดออกจากกัน แต่กลับกันในตัวอย่างที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักจะรู้สึกถึงความกัดขาดง่ายได้มากกว่า ในด้านของเนื้อสัมผัสของขนมปังทุกตัวอย่างมีความเหนียวและนุ่มแต่จะให้เนื้อสัมผัสที่ต่างออกจากตัวอย่างทางการค้าโดยจะไล่เรียงระดับความเหนียวและนุ่มจาก ตัวอย่างควบคุม(C), 2%, ตัวอย่างที่เกิดการเจลาติไนซ์บางส่วน (HTPC), 4% และ 6% ทุกตัวอย่างจะมีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อยเป็นรสชาติตกค้างหลังการชิม และมีกลิ่นของแป้งหมักที่ค่อนข้างแรงแต่ในตัวอย่างที่ทำการเติมผงเมล็ดแมงลักจะมีกลิ่นของเมล็ดแมงลักรวมอยู่ด้วยยิ่งมีปริมาณผงเมล็ดแมงลักในสูตรเพิ่มมากขึ้น ยิ่งส่งผลให้กลิ่นของเมล็ดแมงลักแรงขึ้นตามลำดับ (ตารางที่ 24)

บทที่ 5

สรุป

ขนมปังแป้งหมักทางการค้า(จากแป้งสาลี) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ ปริมาตรจำเพาะ และความชื้นอยู่ในช่วง 4.78-4.91, 3.55-3.57 มิลลิลิตร, 1.57-2.38 มิลลิลิตร/กรัม และ 38.89-40.76% ตามลำดับ เปลือกมีความแข็ง (610-1012 กรัม) และเหนียว (Elasticity 68.80-73.26 มิลลิเมตร) เนื้อขนมปังมีความนุ่ม(Hardness 183-252 กรัม) มีความต้านทานการเคี้ยว (Chewiness 194-229) และยืดหยุ่น (Springiness 0.96-1.34)

การเติมผงเมล็ดแมงลักในปริมาณที่เหมาะสม (2% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด) ช่วยปรับปรุงคุณภาพของโดและเนื้อขนมปัง ในโดจะส่งผลมีค่าความเหนียวที่เพิ่มมากขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อค่าปริมาตรจำเพาะ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความแข็ง และความยืดหยุ่นของเนื้อและเปลือกของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยเมื่อทำการเติมผงเมล็ดแมงลักจะทำให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งขึ้นแต่ค่าความยืดหยุ่นจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด รวมถึงการลดลงของปริมาณกรดของขนมปังแต่ตัวอย่างที่มีการให้ความร้อนจนเกิดการเจลาติไนซ์บางส่วนกับแป้งข้าวโพดและสตาร์ชมันสำปะหลังส่งผลให้ขนมปังมีค่าความแข็งที่ลดลงแต่มีความเหนียวของเนื้อขนมปังที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังส่งผลต่อค่าสีของขนมปังให้มีความสว่างลดลง อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณรูพรุนแต่ลดขนาดของรูพรุนในเนื้อขนมปัง ในส่วนของความชื้นไม่มีความต่างอย่างเห็นได้ชัด ในด้านของการทดสอบชิมพบว่ารสชาติของทุกตัวอย่างมีความเปรี้ยวเล็กน้อย เนื้อสัมผัสของเปลือกมีความแข็งมากกว่าตัวอย่างทางการค้า เนื้อมีความเหนียวคล้ายตัวอย่างการค้าแต่สามารถกัดขาดได้ง่ายกว่า ในตัวอย่างที่มีการเติมผงเมล็ดแมงลัก จะได้กลิ่นของเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้นตามลำดับจาก 2-6 %

รายการอ้างอิง

Aguilar, N., Albanell, E., Miñarro, B.Capellas, M. (2016). Chestnut flour sourdough for gluten-free bread making. *European Food Research and Technology,* 242(10), 1795-1802. doi:10.1007/s00217-016-2679-z

Anonymous. (No Date). Texture Analysis And Texture Profile Analysis. Retrieved from www.rheologylab.com/services/texture-analysis,27/9/2565

AOAC. (2000). *Association of Official Analytical Chemists* (18th Ed.). Official Methods of Analysis of AOAC International: Washington, DC.

Arendt, E. K., Ryan, L. A.Dal Bello, F. (2007). Impact of sourdough on the texture of bread. *Food microbiology,* 24(2), 165-174.

Bertrand, R., Holmes, W., Orgeron, C., McIntyre, C., Hernandez, R.Revellame, E. D. (2019). Rapid estimation of parameters for gelatinization of waxy corn starch. *Foods,* 8(11), 556.

Boulemkahel, S., Garzon, R., Benatallah, L.Rosell, C. M. (2021). Development of gluten-free bread using low-pressure homogenized rice flour supplemented with faba bean flour. *Cereal Chemistry,* 99(2), 368-379. doi:10.1002/cche.10498

Bourekoua, H., Benatallah, L., Zidoune, M. N.Rosell, C. M. (2016). Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. *LWT,* 73, 342-350. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.032

Bredariol, P., Spatti, M.Vanin, F. M. (2019). Different baking conditions may produce breads with similar physical qualities but unique starch gelatinization behaviour. *LWT,* 111, 737-743. doi:10.1016/j.lwt.2019.05.094

Calderon Bravo, H., Vera Cespedes, N., Zura-Bravo, L.Munoz, L. A. (2021). Basil Seeds as a Novel Food, Source of Nutrients and Functional Ingredients with Beneficial Properties: A Review. *Foods,* 10(7), 1467. doi:10.3390/foods10071467

Dan, H., Gu, Z., Li, C., Fang, Z., Hu, B., Wang, C., Chen, S., Tang, X., Ren, Y., Wu, W., Zeng, Z.Liu, Y. (2022). Effect of fermentation time and addition amount of rice sourdoughs with different microbial compositions on the physicochemical

properties of three gluten-free rice breads. *Food Res Int,* 161, 111889. doi:10.1016/j.foodres.2022.111889

Erbaş, M., Sekerci, H., Arslan Tontul, S.Durak, A. (2012). Effect of sodium metabisulfite addition and baking temperature on maillard reaction in bread. *Journal of Food Quality,* 35. doi:10.1111/j.1745-4557.2012.00439.x

Falade, A. T., Emmambux, M. N., Buys, E. M.Taylor, J. R. N. (2014). Improvement of maize bread quality through modification of dough rheological properties by lactic acid bacteria fermentation. *Journal of Cereal Science,* 60(3), 471-476. doi:10.1016/j.jcs.2014.08.010

Gallagher, E., Gormley, T. R.Arendt, E. K. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering,* 56(2), 153-161. doi:https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00244-3

Galle, S., Schwab, C., Dal Bello, F., Coffey, A., Gänzle, M. G.Arendt, E. K. (2012). Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. *International Journal of Food Microbiology,* 155(3), 105-112. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.009

Hao, F., Fu, N., Ndiaye, H., Woo, M. W., Jeantet, R.Chen, X. D. (2021). Thermotolerance, Survival, and Stability of Lactic Acid Bacteria After Spray Drying as Affected by the Increase of Growth Temperature. *Food and Bioprocess Technology,* 14(1), 120-132. doi:10.1007/s11947-020-02571-1

Israr, T., Rakha, A., Rashid, S., Shehzad, A., Ahmed, W.Sohail, M. (2017). Effect of Basil Seed Gum on Physico-Chemical and Rheological Properties of Bread. *Journal of Food Processing and Preservation,* 41(5), e13128 doi:10.1111/jfpp.13128

Jagelaviciute, J.Cizeikiene, D. (2021). The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. *LWT,* 137, 110457. doi:10.1016/j.lwt.2020.110457

Jekle, M., Fuchs, A.Becker, T. (2018). A normalized texture profile analysis approach to evaluate firming kinetics of bread crumbs independent from its initial texture. *Journal of Cereal Science,* 81, 147-152.

Kittin Assavavichi. (2015). ตำนานขนมปังเปรี้ยว Sourdough. Retrieved from https://www.kinandleisure.com, Access Date1/12/2022

León, A., Durán, E.de Barber, C. B. (1997). A new approach to study starch changes occurring in the dough-baking process and during bread storage. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A,* 204(4), 316-320. doi:10.1007/s002170050083

Li, Q., Xie, Q., Yu, S.Gao, Q. (2013). New approach to study starch gelatinization applying a combination of hot-Stage light microscopy and differential scanning calorimetry. *J. Agric. Food Chem,* 61, 1211-1218.

Liu, Y., Chen, Q., Fang, F., Liu, F., Wang, z., Chen, H.Zhang, F. (2021). The influence of konjac glucomannan on the physicochemical and rheological properties and microstructure of canna starch. *Foods*(10), 422.

Luo, S., Yan, X., Fu, Y., Pang, M., Chen, R., Liu, Y., Chen, J.Liu, C. (2021). The quality of gluten-free bread made of brown rice flour prepared by low temperature impact mill. *Food Chemistry,* 348, 129032. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129032

Maidana, S. D., Finch, S., Garro, M., Savoy, G., Gänzle, M.Vignolo, G. (2020). Development of gluten-free breads started with chia and flaxseed sourdoughs fermented by selected lactic acid bacteria. *LWT,* 125, 109189.

Mantzourani, I., Plessas, S., Odatzidou, M., Alexopoulos, A., Galanis, A., Bezirtzoglou, E.Bekatorou, A. (2019). Effect of a novel Lactobacillus paracasei starter on sourdough bread quality. *Food Chem,* 271, 259-265. doi:10.1016/j.foodchem.2018.07.183

Marco, C.Rosell, C. M. (2008). Breadmaking performance of protein enriched, gluten- free breads. *European Food Research and Technology,* 227, 1205-1213.

Mert, I. D., Campanella, O. H., Sumnu, G.Sahin, S. (2014). *Gluten-free sourdough bread prepared with chestnut and rice flour.* Paper presented at the 9th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food for Consumer Well-Being”.

Miao, M., Jiang, B., Cui, S. W., Zhang, T.Jin, Z. (2013). Slowly Digestible Starch—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* 55(12), 1642-1657.

doi:10.1080/10408398.2012.704434

Milde, L. B., Ramallo, L. A.Puppo, M. C. (2010). Gluten-free Bread Based on Tapioca Starch: Texture and Sensory Studies. *Food and Bioprocess Technology,* 5(3), 888-896. doi:10.1007/s11947-010-0381-x

Mishra, S.Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids,* 20(5), 557-566. doi:10.1016/j.foodhyd.2005.01.001

Mollakhalili-meybodi, N., Sheidaei, Z., khorshidian, N., Nematollahi, A.khanniri, E. (2023). Sensory attributes of wheat bread: a review of influential factors. *Journal of Food Measurement and Characterization,* 17(3), 2172-2181. doi:10.1007/s11694-022-01765-9

Naji-Tabasi, S.Razavi, S. M. A. (2017). Functional properties and applications of basil seed gum: An overview. *Food Hydrocolloids,* 73, 313-325. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.007

Nasaruddin, F., Chin, N. L.Yusof, Y. A. (2012). Effect of Processing on Instrumental Textural Properties of Traditional Dodol Using Back Extrusion. *International Journal of Food Properties,* 15(3), 495-506. doi:10.1080/10942912.2010.491932

Nawaz, H., Waheed, R., Nawaz, M.Shahwar, D.-e. (2020). *Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity* (M. Emeje Ed.). Vienna, Austria: IndechOpen.

Olojede, A. O., Sanni, A. I.Banwo, K. (2020). Effect of legume addition on the physiochemical and sensorial attributes of sorghum-based sourdough bread. *LWT,* 118, 108769. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108769

Pico, J., Reguilón, M. P., Bernal, J.Gómez, M. (2019). Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of rice flour-corn starch based gluten-free breads. *Journal of Cereal Science,* 86, 92-101.

Prakaywatchara, P., Wattanapairoj, C.Thirathumthavorn, D. (2018). Effects of Emulsifier Types and Levels in Combination With Glycerol on the Gelatinization and Retrogradation Properties of Gluten-Free Rice-Based Wonton Wraps. *Starch - Stärke,* 70(5-6), 1700227. doi:10.1002/star.201700227

Reyes, I., Hernandez-Jamies, C., Meraz, M.Rodriguez-Huezo, M. E. (2018).

Physicochemical changes of corn starch during lactic acid fermentation with *Lactobacillus bulgaricus*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química,* 17(1), 279-289.

Rezapour, R., Tarzi, B. G.Movahed, S. (2016). The Effect of Adding Sweet Basil Seed Powder (Ocimum basilicum L). *Paper presented at the 9th Baltic Conference on Food Science and Technology "Food for Consumer Well-Being".*

Rinaldi, M., Paciulli, M., Caligiani, A., Scazzina, F.Chiavaro, E. (2017). Sourdough fermentation and chestnut flour in gluten-free bread: A shelf-life evaluation. *Food Chemistry,* 224, 144-152.

Różyło, R., Rudy, S., Krzykowski, A., Dziki, D., Siastała, M.Polak, R. (2016). Gluten-Free Bread Prepared with Fresh and Freeze-Dried Rice Sourdough-Texture and Sensory Evaluation. *Journal of Texture Studies,* 47(5), 443-453. doi:10.1111/jtxs.12180

Salehi, F. (2019). Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. *Food Sci Nutr,* 7(11), 3391-3402. doi:10.1002/fsn3.1245

Sandra, G., Schwab, C., Bello, F. D., Coffey, A., Gänzle, M.Arendt, E. (2012). Comparison of the impact of dextran and reuteran on the quality of wheat sourdough bread. *Journal of Cereal Science,* 56(3), 531-537. doi:10.1016/j.jcs.2012.07.001

Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E.Pérez, G. T. (2008). Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology,* 3(4), 577-585. doi:10.1007/s11947-008-0098-2

Sigüenza-Andrés, T., Gallego, C.Gómez, M. (2021). Can cassava improve the quality of gluten free breads? *LWT,* 149, 111923. doi:10.1016/j.lwt.2021.111923

Torres, M. D., Moreira, R., Chenlo, F.Morel, M. H. (2013). Effect of water and guar gum content on thermal properties of chestnut flour and its starch. *Foods*(33), 192-198.

Tuta Şimşek, S. (2020). Evaluation of partial-vacuum baking for gluten-free bread: Effects on quality attributes and storage properties. *Journal of Cereal Science,* 91, 102891. doi:https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102891

Ucok, G.Hayta, M. (2015). Effect of sourdough addition on rice based gluten-free formulation: rheological properties of dough and bread quality. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*.(7), 643-649.

Yilmaz-Ersan, L. a. T. (2022). Evaluation of instrumental and sensory measurements using multivariate analysis in probiotic yoghurt enriched with almond milk. *Journal of Food Science and Technology,* 59, 133-143.

Zaidul, I., Absar, N., Kim, S.-J., Suzuki, T., Karim, A., Yamauchi, H.Noda, T. (2008). DSC study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starches. *Journal of Food Engineering,* 86(1), 68-73.

Ziemichód, A., Wójcik, M.Różyło, R. (2019). Seeds of Plantago psyllium and Plantago ovata: Mineral composition, grinding, and use for gluten-free bread as substitutes for hydrocolloids. *Journal of Food Process Engineering,* 42(1), e12931. doi:10.1111/jfpe.12931

แก่นพงศ์ บุญถาวร. (2558). รู้จักจุลินทรีย์ สิ่งมีชีวิตตัวจิ๋วที่อยู่ใกล้ตัว. Retrieved from https://www.tkpark.or.th, เข้าถึงเมื่อ 17/11/2020

ไม่ปรากฏผู้แต่ง. (2561). หน้าที่ของยีสต์ในขนมปัง. Retrieved from https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/69378, เข้าถึงเมื่อ13/4/2565

ไม่ปรากฏผู้แต่ง. (2565). Retrieved from https://th.wikipedia.org, เข้าถึงเมื่อ 22/2/2566

กล้าณรงค์ ศรีรอดเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2550). (พิมพ์ครั้งที่ 4 ed.). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จินตนา แจ่มเมฆอรอนงค์ นัยวิกุล. (2539). เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยลัยเกษตรศาสตร์.

บุษกร อุตรภิชาติ. (2548). 'มารู้จัก "แบคทีเรียกรดแลคติก" กันเถอะ'. มารู้จัก "แบคทีเรียกรดแลคติก" กันเถอะ, 2, 18-33.

ศุภมาส เชิญอักษร. (2560). โรคเซลิแอค กับอาการแพ้กลูเตนในเบเกอรี่. Retrieved from https://www.rama.mahidol.ac.th/ramachannel, เข้าถึงเมื่อ 3/2/2023

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2532). ข้าวสาลี : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์:

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ ตามวิธีการของ AOAC (2000)

1. ปริมาณความชื้น ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด 3-5 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว (ถ้วยอลูมิเนียมผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก) นำถ้วยอลูมิเนียมพร้อมตัวอย่างเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที ทำเช่นเดิมจนได้น้ำหนักที่คงที่ ซึ่งมีผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 2 มิลลิกรัม แล้วคำนวณหาร้อยละปริมาณความชื้น ดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

2. โปรตีน

2.1 ขั้นตอนการย่อย

เตรียมตัวอย่าง 0.5-1.0 กรัมผสมกับ $CuSO_4$ 0.1 กรัม และ Na_2SO_4 2 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน แล้วเติม conc. H_2SO_4 25 มิลลิลิตร และใส่ boling chip ก่อนนำหลอดไปวางในเครื่องย่อย แบบ semi-micro เปิดเครื่องดักจับไอกรดและเครื่องย่อย โดยย่อยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 380 องศาเซลเซียส ย่อยต่ออีกจนได้สารละลายใส ปิดเครื่องย่อย แล้วปล่อยหลอดย่อยทิ้งไว้ให้เย็น

2.2 ขั้นตอนการกลั่นและไตเตรท

เปิดเครื่องกลั่นหาปริมาณไนโตรเจนและเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่น ใส่ boric acid (ความเข้มข้นร้อยละ 4) 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติม methyl red 2 หยด แล้วนำขวดรูปชมพู่ไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรด นำหลอดย่อยที่เย็นแล้วจากข้อ 2.1 มาเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่องกลั่น เป็นเวลา 600 วินาที ตัวอย่างจะทำปฏิกิริยากับ NaOH (ความเข้มข้นร้อยละ 50) จะได้สารละลายสีน้ำตาลขุ่น จากนั้นนำของเหลวที่ได้ในขวดรูปชมพู่มาไตเตรทด้วย HCl (ความเข้มข้น 0.1 N) จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู่อ่อน ทำข้อ 2.1 และ 2.2 กับหลอด blank แต่เปลี่ยนจากตัวอย่างเป็นน้ำกลั่น แล้วคำนวณหาร้อยละปริมาณโปรตีน ดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณโปรตีน} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007 \times F}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

A= ปริมาณ HCl ที่ใช้ในการเตรียมการไตเตรตตัวอย่าง

B= ปริมาณ HCl ที่ใช้ในการไตเตรตแบล็ง

N= โมลของ HCl

W= น้ำหนักของตัวอย่าง

3. ไขมัน ชั่งน้ำหนักถ้วยที่ทำการอบที่ 105 °C ข้ามคืน ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด 3-5 กรัม ห่อตัวอย่างให้มิดชิด แล้วใส่ลงในทิมเบิล นำทิมเบิลพร้อมตัวอย่างต่อเข้ากับเครื่องสกัดไขมัน เติมตัวทำละลาย petroleum ether 250 มิลลิลิตร ใส่ในถ้วยอลูมิเนียมสำหรับสกัดไขมันที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ถ้วยอลูมิเนียมผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก) โดยให้ทิมเบิลจุ่มลงในตัวทำละลายและถ้วยอลูมิเนียมวางบนแผ่นให้ความร้อนของเครื่องสกัดไขมัน ซึ่งกระบวนการสกัดมีทั้งหมด 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนแรก boiling ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ขั้นตอนที่สอง rinsing ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ขั้นตอนที่สาม solvent recovery ใช้เวลา 30 นาที และขั้นตอนสุดท้าย pre-drying ใช้เวลา 30 นาที เมื่อครบทั้ง 4 ขั้นตอน นำถ้วยอลูมิเนียมไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาร้อยละปริมาณไขมัน ดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

4. เถ้า เผาถ้วยตัวอย่างที่ 550 °C 24 ชั่วโมง พักไว้ในเดซิเคเตอร์ 30 นาที ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด 5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบสำหรับหาเถ้าที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ถ้วยกระเบื้องเคลือบผ่านการเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศา-เซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก) แล้วเผาบนเตาไฟฟ้า จนหมดควัน จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง จนได้เถ้าสีเทาอ่อนหรือสีขาว แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก เผาซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที ทำเช่นเดิมจนได้น้ำหนักที่คงที่ ซึ่งมีผลต่างของน้ำหนักไม่เกิน 2 มิลลิกรัม แล้วคำนวณหาร้อยละปริมาณเถ้า ดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าที่ได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

5. ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมจาก แป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งผสมที่มีการเติมเมล็ดแมงลักในปริมาณต่างๆ (2,4 และ 6%) ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ตามวิธีของ AACC ปี2016 หมายเลข AACC 61-02.01 โดยตั้งโปรแกรม STD1 ในการทดสอบความหนืด โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

M2 = ((100-14)x M1)/(100- w1)

W2 = 25+(M1 -M2)

เมื่อ M1 = น้ำหนักตัวอย่างที่มีความชื้น 14% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.5กรัม

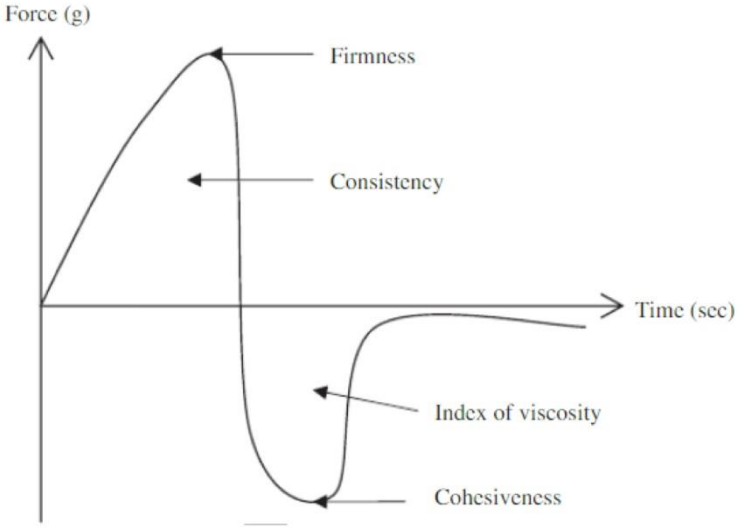
M2 = น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องใช้ (กรัม)

W1 = ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง

W2 = ปริมาณน้ำที่ต้องใช้

เติมน้ำกลั่น (W2) ลงในกระป๋องสำหรับบรรจุตัวอย่าง ชั่งตัวอย่าง (M2) แล้วเทลงในกระป๋อง ใช้ใบพัดกวนผสมตัวอย่างให้เข้ากันและไม่จับตัวเป็นก้อน นำไปต่อเข้ากับเครื่องทำการวิเคราะห์ บันทึกกราฟความหนืดต่างๆ ได้แก่ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น (Holding strength) ความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำให้เย็น (Breakdown) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) และอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature)

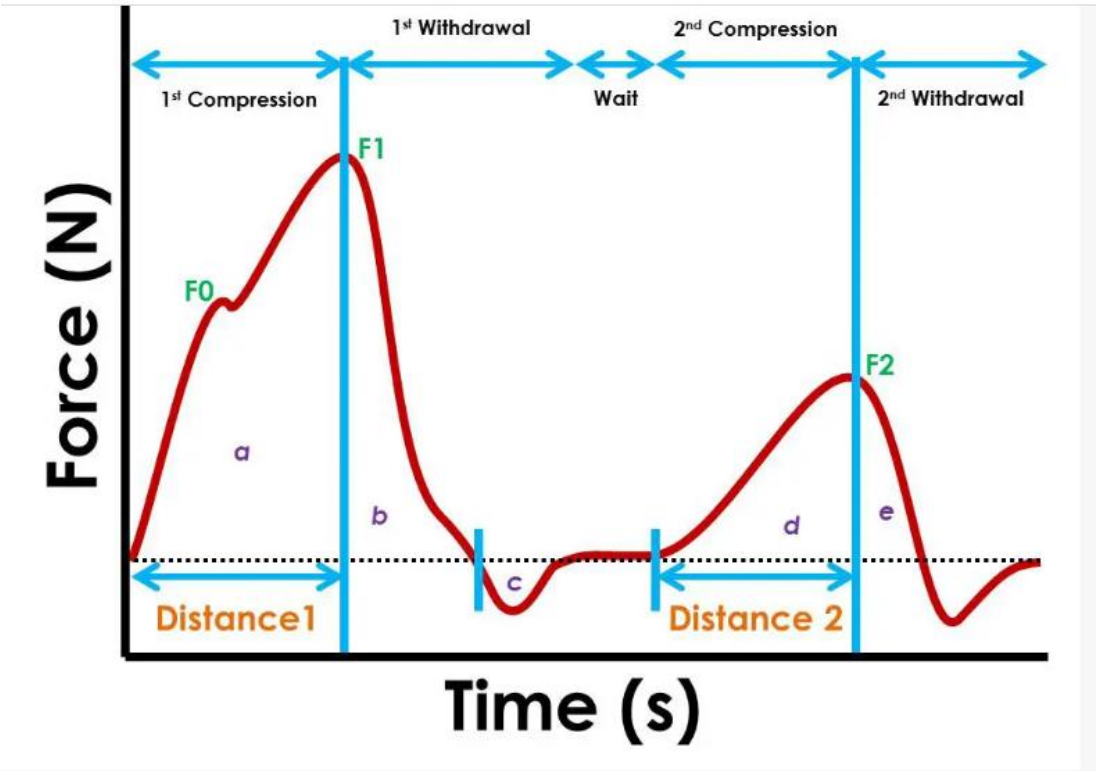
6. การคำนวนลักษณะของโดขนมปัง



ภาพที่ 11 ตัวอย่างกราฟจากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดของขนมปังด้วยเครื่อง Texture analyzer
ที่มา : Nasaruddin และคณะ (2012)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

7. การคำนวณค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปัง



ภาพที่ 12 ตัวอย่างกราฟจากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ TPA ด้วยเครื่อง Texture analyzer

ที่มา : Anonymous (No Date)

7.1 Hardness = (ค่าความแข็ง) F1 พีคสูงสุดจากการกดครั้งแรก

7.2 Springiness = (ค่าความยืดหยุ่น) (Distance 1/ Distance 2)x 100

7.3 Chewiness = (ค่าความเหนียว) (F1x Distance 2)/(Distance 1x(d+e)/a+b))

7.4 Resilience (ค่าการคืนตัว) = b/a

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบชิมทางประสาทสัมผัสแบบพรรณนาของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้า

ตัวอย่าง	ลักษณะเปลือก	ลักษณะเนื้อขนมปัง	รูพรุน	รสชาติ	กลิ่น
ตัวอย่างทางการค้า 2	มีความเหนียวมากกว่าขนมปังทั่วไป	เหนียวนุ่มมีความยืดหยุ่น	โพรงอากาศละเอียด กระจายตัวดี	มีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อย	มีกลิ่นของยีสต์กลิ่นแป้งหมัก
Control	แข็งและเหนียวกัดขาดยาก	นิ่มแต่มีความเหนียวกัดขาดง่าย	โพรงอากาศใหญ่กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ	รสจืด	มีกลิ่นแป้งข้าวหมัก
HTPC	แข็งและเหนียวกัดขาดยาก	มีความเหนียวและยืดหยุ่นอยู่ระหว่างตัวอย่างควบคุมและ 2%	โพรงอากาศกระกระจายตัวได้ดีกว่าตัวอย่างควบคุม	มีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อยเป็นรสชาติตกค้าง	มีกลิ่นแป้งข้าวหมัก
Bs2%	มีความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม	มีความแน่นและเหนียวกัดขาดง่าย	โพรงอากาศกระจายสม่ำเสมอมากกว่าตัวอย่างควบคุมแต่น้อยกว่าตัวอย่าง Bs 4-6%	มีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อยเป็นรสชาติตกค้าง	มีกลิ่นแป้งข้าวหมักลดลง
Bs4%	เปลือกไม่มีความแข็งและเหนียว	มีความแน่น และเหนียวกว่าตัวอย่าง 2% มีความยืดหยุ่น	โพรงอากาศกระจายตัวสม่ำเสมอ	มีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อยเป็นรสชาติตกค้าง น้อยกว่าตัวอย่าง 2%	มีกลิ่นแป้งข้าวหมักลดลงเริ่มได้กลิ่นของเมล็ดแมงลัก
Bs6%	เปลือกไม่มีความแข็งและเหนียว	มีความแน่นและเหนียว	โพรงอากาศเล็กและกระจายตัวดี	มีรสชาติเปรี้ยวเล็กน้อยเป็นรสชาติตกค้าง	กลิ่นแป้งข้าวหมักลดลงกลิ่นของเมล็ดแมงลักชัดเจน

มหาวิทยาลัยศิลปากร

หนังสือฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

รหัสโครงการ: REC 66.0530-083-5242

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): ผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลังและ แป้งข้าวโพด

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ): Effect of Adding Basil Seed Powder on Gluten-Free Sourdough Bread Made by Rice Flour, Tapioca Starch and Corn Flour

ผู้วิจัยหลัก: นายณัฐวุฒิ สิทธานครินทร์

สังกัด: คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารที่รับรอง:

1. แบบเสนอเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เวอร์ชั่น 01 ฉบับลงวันที่ 30 พฤษภาคม 2566
2. แบบเสนอโครงการวิจัยเพื่อการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (ฉบับภาษาไทย) เวอร์ชั่น 01 ฉบับลงวันที่ 30 พฤษภาคม 2566

ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยยึดหลักเกณฑ์ตามคำประกาศ เฮลซิงกิ (Declaration of Helsinki) และมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมายข้อบังคับ และข้อกำหนดภายในประเทศ

(ศาสตราจารย์ ดร.พรศักดิ์ ครือมรศักดิ์)
ประธานกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศิลปากร

หมายเลขใบรับรอง COE 66.0602-051
วันที่รับรอง: 2 มิถุนายน พ.ศ. 2566

สำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์
6 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
โทร 0-3425-5808 โทรสาร (Fax) : 0-3425-5808
email : humanethics@su.ac.th

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐวุฒิ สิทธานครินทร์
วัน เดือน ปี เกิด	02/March/1997
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลพระราม 9
วุฒิการศึกษา	ปริญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	201/224 พัฒนาการ 76 เขตประเวศ แขวงประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250
ผลงานตีพิมพ์	ณัฐวุฒิ สิทธานครินทร์ 2565 ผลของการเติมผงเมล็ดแมงลักต่อคุณภาพของขนมปังแป้งหมักปลอดกลูเตนที่ทำจากแป้งผสม การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 12 23-24 มิถุนายน 2565 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร p.183-189

มหาวิทยาลัยศิลปากร