

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งถั่วแดงและการใช้ประโยชน์  
ในการผลิตพิซซ่าปราศจากกลูเตน

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF RED KIDNEY BEAN FLOUR  
AND ITS UTILIZATION TO PRODUCE GLUTEN-FREE PIZZA



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งถั่วแดงและการใช้ประโยชน์ในการ  
ผลิตพิซซ่าปราศจากกลูเตน

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF RED KIDNEY BEAN FLOUR  
AND ITS UTILIZATION TO PRODUCE GLUTEN-FREE PIZZA

จัดทำโดย

พิชญภา อัสวเดชาโชติ รหัสนักศึกษา 62080042

วรรณรัตน์ กล้าอาษา รหัสนักศึกษา 62080053

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

(ผศ.ดร. ยุพร พิชกมฺุทร)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

11 / 5 / 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งถั่วแดงและการใช้ประโยชน์ ในการผลิตพิซซ่าปราศจากกลูเตน		
ชื่อนักศึกษา	พิชญญา อัสวเดชาโชติ	รหัสนักศึกษา	62080042
	วรรณรัตน์ กล้าอาษา	รหัสนักศึกษา	62080053
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร		
พ.ศ.	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ยุพร พิชกมูทร		

### บทคัดย่อ

ถั่วแดงเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีโปรตีนสูง ไขมันต่ำและเมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่นแล้วถั่วแดงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงจึงเหมาะกับการนำมาแปรรูปเป็นแป้งถั่วแดงเพื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วแดงทำให้ทราบว่าแป้งถั่วแดง 100 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 64.17 กรัม โปรตีน 19.55 กรัม ไขมัน 1.73 กรัม โยอาหาร 4.49 กรัม และเถ้า 3.93 กรัม วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งถั่วแดงค่าสีของแป้งถั่วแดง  $L^*=62.39$   $a^*=2.61$   $b^*=6.10$  ค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันเท่ากับ 2.00 กรัม/น้ำต่อกรัมแป้งถั่วแดง และ 1.41 กรัม/น้ำมันต่อกรัมแป้งถั่วแดง การศึกษาค่าสีของก้อนโดพิซซ่าเมื่อนำแป้งถั่วแดงหลวงไปแทนที่แป้งผสมที่มีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง แป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าความสว่างของก้อนโดลดลงแต่ค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น และเมื่อนำพิซซ่าไปอบให้ความร้อนพบว่าค่าความสว่างลดลง และเมื่อนำแป้งถั่วแดงไปทดแทนแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 10% 20% และ 30% เพื่อผลิตพิซซ่าปราศจากกลูเตนทำให้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่สูตร 30% มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าแรงต้านทานในการดึง (Resistance to extension) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 27.4 g แล้วจากการการตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของพิซซ่าปราศจากกลูเตนที่ทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดง พบว่าค่า Hardness, Springiness, Chewiness, และ Gumminess มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมแป้งถั่วแดงซึ่งเกิดจากแป้งถั่วแดงมีปริมาณโยอาหารสูง ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของพิซซ่าปราศจากกลูเตนที่ทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดง พบว่าความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อพิซซ่าปราศจากกลูเตนทั้ง 4 สูตรในทุกๆ ด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

คำสำคัญ: ถั่วแดง แป้งถั่วแดง แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง แป้งมันสำปะหลัง พืชปราศจากกลูเตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Physiical amd chemical properties of red kidney bean flour and its utilization to produce gluten-free pizza	
Student name	Pishayapa Aussawadechachote	Student ID 62080042
	Warunrat Klaarsa	Student ID 62080053
Program	Bachelor of Science in Food Science and Technology	
Year	2023	
Advisor	Assist.Prof.Dr. Yuporn Puechkamut	

## ABSTRACT

Red kidney beans are a high-protein legume that is low in fat. When compared to other beans, red beans are high in carbohydrates, making them suitable for processing into red bean flour to be used in bakery products. The chemical composition analysis of red kidney bean flour revealed that 100 g of red bean flour contained 64.17 g of carbohydrates, 19.55 g of protein, 1.73 g of fat, 4.49 g of dietary fiber, and 3.93 g of ash. The physical properties of red bean flour were analyzed.  $\ast=62.39$   $a\ast=2.61$   $b\ast=6.10$  Water and oil adsorption values were 2.00 g of water per gram of red kidney bean flour and 1.41 g of oil per gram of red kidney bean flour. The color value of pizza dough changed when the mixture of rice flour, brown rice flour, and tapioca flour was replaced with red kidney bean flour. It was found that the brightness of the dough decreased but the red and yellow values increased. And when the pizza was heated, it was found that the brightness decreased. When red bean flour was substituted for rice flour, brown rice flour, and tapioca flour at the ratios of 10%, 20%, and 30% to produce gluten-free pizza, the temperature that changed viscosity properties of the batter at the 30% formulation were significantly different ( $p < 0.05$ ). It has the highest resistance to extension compared to other formulas, equal to 27.4 g, and then from the measurement of the texture characteristics of gluten-free pizza that substituted flour with red bean flour, it was found that values of hardness, springiness, chewiness, and gumminess increased with the addition of red bean flour due to the high dietary fiber content of red bean flour. In sensory testing of gluten-free pizza substituted with red bean flour, it was found that the preferences of consumers toward gluten-free pizza from all four recipes were not significantly different ( $p \geq 0.05$ ).

Keywords: Red kidney bean, Red kidney bean flour, Rice flour, Brown rice flour, Tapioca flour, and Gluten-free pizza

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงที่ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร. ยุพร พิชกมฺุร อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์อย่างแท้จริงและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย และขอแสดงความกตัญญูตเวทิตาคุณแต่บิดา มารดา ที่ส่งเสริมให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสได้ศึกษาเล่าเรียนจนทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสทำงานวิจัยเล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดและยินดีที่จะได้รับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

พิชญาภา อัสวเดชาโชติ

วรุณรัตน์ กล้าอาษา

7 มีนาคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ถั่วแดง	3
2.2 แป้งถั่วแดงหลวง	5
2.3 เส้นใยอาหาร	6
2.4 กลูเตน	7
2.5 แป้ง	8
2.5.1 ชนิดของแป้ง	8
2.5.2 ลักษณะของเม็ดแป้ง	8
2.5.3 องค์ประกอบของแป้ง	9
2.6 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้ง	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย	9
2.6.2 การเกิดเจลาตินไนเซชันของแป้ง (Gelatinization)	10
2.6.3 สมบัติทางความหนืดของแป้ง (Pasting properties)	11
2.7 พืชช่า	13
2.7.1 ต้นกำเนิดของพืชช่า	13
2.7.2 ส่วนประกอบของพืชช่า	14
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	17
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	17
3.2 อุปกรณ์	18
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	19
3.3.1 การเตรียมแป้งจากถั่วแดงทั้งเมล็ด (preparation of red kidney bean flour)	19
3.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วแดง (analysis of flour)	20
3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของแป้งผสมและการทำพืชช่าปราศจากกลูเตน	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	30
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของแป้งจากถั่วแดงหลวง	30
4.1.1 ผลของค่าสีของแป้งถั่วแดงหลวง	31
4.1.2 ผลของค่าดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งถั่วแดงหลวงเทียบกับแป้งข้าวกล้อง	31
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วแดงหลวง	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลของการทดแทนแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งถั่วแดง หลวงต่อคุณภาพของพิซซ่า	33
4.3.1 ผลของการทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงหลวงในอัตราส่วนต่าง ๆ ต่อสมบัติด้านความ หนืดของแป้งผสม	33
4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพก่อนโคของพิซซ่าปราศจากกลูเตนจาก การทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งถั่วแดงหลวง	35
4.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของพิซซ่าปราศจากกลูเตนจากการ ทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งถั่วแดงหลวง	37
4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส	39
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	44
ภาคผนวก ข	47
ภาคผนวก ค	52
ประวัติผู้เขียน	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	5
2.2	6
2.3	7
3.1	27
4.1	31
4.2	32
4.3	33
4.4	34
4.5	36
4.6	37
4.7	38
4.8	39
4.9	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ถั่วแดงหลวง	3
2.2	ถั่วนี้้วนางแดง	4
2.3	กลูเตน	7
2.4	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งระหว่างการต้มสุก	11
2.5	รูปแบบความหนืดของแป้งสุกจากแป้งชนิดต่าง ๆ	12
3.1	ขั้นตอนการผลิตแป้งถั่วแดง	19
4.1	แป้งถั่วแดงหลวง	30
4.2	ลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ทั้ง 4 สูตร	34
4.3	ก้อนโดของพิซซ่าปราศจากกลูเตน	36
4.4	ลักษณะเนื้อสัมผัสของพิซซ่าปราศจากกลูเตนจากการวัดด้วย TPA	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พืชตระกูลถั่ว (Legumes) นั้นเป็นแหล่งโปรตีนพืชที่สำคัญของมนุษย์ มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ หาซื้อได้ง่ายสะดวกและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ถั่วแดง (Red kidney bean) จัดเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยโปรตีนสูง แต่มีไขมันต่ำ เมื่อเทียบกับถั่วทางการค้าชนิดอื่น สายพันธุ์ที่นำมาผลิตเป็นแป้งถั่วแดงคือ ถั่วแดงหลวงเนื่องจากเมล็ดถั่วแดงหลวงจะมีขนาดใหญ่กว่าถั่วนี้วนางแดง ในแป้งถั่วแดง 100 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 64.17 กรัม มีโปรตีน 19.55 กรัม มีไขมัน 1.73 กรัม นอกจากนี้มีการศึกษาการปรับปรุงสูตรแป้งเค้กด้วยแป้งถั่วแดงของ Nitgün (2021) พบว่า คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่เพิ่มขึ้นเมื่อทดแทนด้วยแป้งถั่วแดง โดยองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงมีปริมาณโปรตีนและเถ้าที่สูงขึ้น มีปริมาณไขมันที่น้อยลงเท่ากับ 9.71%, 1.51% และ 20.99% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเบเกอรี่สูตรแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีน เถ้า และไขมันเท่ากับ 7.57%, 1.32% และ 21.59%

ผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตนในท้องตลาดเพิ่มสูงมากขึ้น ดังนั้นอาหารที่ไม่มีส่วนประกอบของกลูเตน เช่น ข้าว พืชจำพวกพืชหัว พืชตระกูลถั่วหรือพืชชนิดอื่น ๆ จึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจในการใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก อย่างเช่น พิซซ่า ในปัจจุบันพิซซ่าเป็นหนึ่งในอาหารประเภทพาสตี่ฟู๊ดที่เป็นที่นิยมทั่วโลก มีความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นอาหารที่ทานง่าย สะดวก สามารถหาซื้อได้ทั่วไป มีหน้าพิซซ่าให้เลือกได้หลากหลาย ส่วนผสมหลักที่นำมาทำพิซซ่าจะเป็นแป้งสาลี น้ำตาล ยีสต์ ซึ่งในแป้งสาลีจะมีกลูเตนที่ทำหน้าที่ช่วยให้แป้งขึ้นฟู มีความยืดหยุ่น ในการทอดลองนี้ จึงสนใจที่จะเตรียมแป้งจากถั่วแดงหลวง ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งที่ผลิตได้ และนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของการผลิตพิซซ่าปราศจากกลูเตน เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับถั่วแดงหลวง และสามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับพิซซ่าปราศจากกลูเตนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งถั่วแดงหลวง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วแดงต่อคุณภาพของพิซซ่าปราศจากกลูเตน

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบถึงลักษณะทางเคมีกายภาพของแป้งถั่วแดง
- 1.3.2 เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์พิซซ่าปราศจากกลูเตน
- 1.3.3 ทราบถึงปริมาณแป้งถั่วแดงที่ใช้ในการทดแทนแป้งข้าวกล้องในผลิตภัณฑ์พิซซ่าปราศจากกลูเตนที่เหมาะสม และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ถั่วแดง

##### 2.1.1 ถั่วแดงในประเทศไทย

ถั่วแดงที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีสองสายพันธุ์หลัก คือ

##### 1) ถั่วแดงหลวง

ถั่วแดงหลวง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Phasecolus vulgaris* L. มีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปแอฟริกา นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยในปริมาณมากเมื่อปี 2514 โดยหม่อมเจ้าภีศเดช รัชนี องค์ประธานมูลนิธิโครงการหลวง เพื่อจุดประสงค์ให้ชาวไทยภูเขาปลูกเป็นพืชทดแทนฝิ่นและช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินบนที่สูง ปัจจุบันถั่วแดงหลวงได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของชาวไทยภูเขาและเป็นที่สนใจของเกษตรกรในพื้นที่ราบทั่วไปในเขตภาคเหนือ



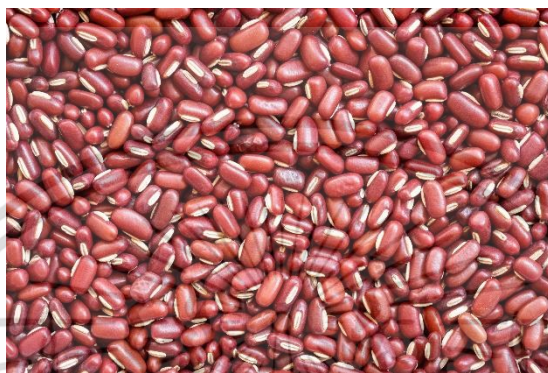
ภาพที่ 2.1 ถั่วแดงหลวง

ที่มา : <https://www.siamagrithailand.com/products>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ถั่วนี้้วนางแดง

ถั่วแดงหรือถั่วนี้้วนางแดง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Phasecolus calcaratus* Roxb. เป็นพืชตระกูลที่ค่อนข้างรู้จักกันมากในปัจจุบัน เพราะเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง แหล่งเพาะปลูกถั่วนี้้วนางแดงที่สำคัญได้แก่ จังหวัดเลย



ภาพที่ 2.2 ถั่วนี้้วนางแดง

ที่มา : <https://www.siamagrithailand.com/products>

ถั่วแดงมีคุณค่าทางโภชนาการ แสดงดังตารางที่ 7.1 นอกจากนี้ถั่วแดงหลวงมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์สูง เช่น แคลเซียม อะลูมิเนียม คลอรีน แมงกานีส และสังกะสี ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ร่างกายขาดไม่ได้ โดยถั่วแดง 100 กรัมให้พลังงาน 337 กิโลแคลอรี ถั่วแดงหลวงมีเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้จึงช่วยดูดซับน้ำและพองตัวได้ดี จึงทำให้การย่อยและการดูดซึมอาหารช้าลง จึงรู้สึกอิ่มนาน ส่งผลให้น้ำหนักตัวลดลงตาม และยังช่วยในการขับถ่าย ป้องกันการท้องผูก ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ และที่เปลือกหุ้มเมล็ดของถั่วแดง มีรงควัตถุสีเข้ม คือแอนโทไซยานิน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** คุณค่าทางโภชนาการของถั่วแดงหลวง (ต่อ 100 กรัม)

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัม)
พลังงาน	296 กิโลแคลอรี
ความชื้น	11.6 กรัม
โปรตีน	20.37 กรัม
ไขมัน	1.87 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	36.77 กรัม
เส้นใยอาหาร	25.4 กรัม
เถ้า	4.06 กรัม
ธาตุแคลเซียม	95 มิลลิกรัม
ธาตุฟอสฟอรัส	426 มิลลิกรัม
ธาตุเหล็ก	6.86 มิลลิกรัม
วิตามินบี2	1.32 มิลลิกรัม
วิตามินบี3	2.64 มิลลิกรัม
กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด	0.84 กรัม

ที่มา : ดัดแปลงจากสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (2561)

## 2.2 แป้งถั่วแดงหลวง

แป้ง (flour) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปนเช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ เป็นพอลิแซคคาไรด์เกิดจากกลูโคสจำนวนหลายพันโมเลกุลมาต่อกัน มีโครงสร้างเป็นทั้งแบบสายยาวและกิ่งก้านสาขา แป้งมีมากในพืชประเภทเมล็ดและหัว

Kongchaleam และ Puechkamut (2012) ได้ทดลองเตรียมแป้งถั่วแดงหลวง โดยนำถั่วแดงหลวงมาล้างทำความสะอาด คัดแยกเมล็ดเสีย เศษก้อนกรวด ก้อนดินออก นำเมล็ดถั่วแดงที่ได้มาแช่น้ำ นาน 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำ เท่ากับ 1:4 กรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำถั่วแดงทั้งเมล็ดมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง บดให้เป็นผงที่มีขนาด 0.25 มิลลิเมตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แป้งถั่วแดงหลวงทั้งเมล็ดที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมี แสดงดังตารางที่ 7.2 และผลการตรวจสอบทางด้านกายภาพของแป้งการเกิดเจลลิตีไนส์เซชัน พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้แป้งเกิดการเจลลิตีไนส์เซชันคือ 67.7 องศาเซลเซียส ใช้พลังงาน 2.68 จูลต่อกรัม และความสามารถในการดูดซับน้ำ 2.62 มิลลิลิตรต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วแดงทั้งเมล็ดและแป้งสาลี (กรัม/100กรัม)

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งถั่วแดงหลวงทั้งเมล็ด	แป้งสาลี
คาร์โบไฮเดรต	66.53 ± 0.21	85.09 ± 0.97
โปรตีน	21.97 ± 0.22	12.88 ± 0.63
ไขมัน	1.60 ± 0.02	0.83 ± 0.04
เถ้า	5.03 ± 0.05	0.91 ± 0.10
เส้นใยอาหาร	4.87 ± 0.04	0.29 ± 0.14

ที่มา : อรุณี (2556)

### 2.3 เส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร หรือศัพท์ภาษาอังกฤษเรียกว่า “ไดเอทารีไฟเบอร์” (Dietary Fiber) หมายถึง ส่วนประกอบของผนังเซลล์ในพืชที่ไม่ใช่อาหารและไม่สามารถถูกย่อยสลายต่อไปได้อีกภายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากในร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ (enzyme) หรือน้ำย่อยที่สามารถย่อยสลายเส้นใยอาหารเหล่านี้ ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน หรือที่เรียกว่า “สารโพลีแซคคาไรด์” (Polysaccharide) ได้ จึงทำให้เส้นใยเหล่านี้ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อยมากหรือแทบไม่ได้เลย และเหลืออยู่ในระบบทางเดินอาหารพร้อมที่จะขับถ่ายออกมา

(ผกาวิ ตี นารอง, 2543)

แหล่งของเส้นใยอาหารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือชนิดที่ละลายในน้ำมีคุณสมบัติในการละลายในน้ำได้และสามารถดูดซับสารอาหารได้หลายอย่าง ใยอาหารชนิดนี้มักปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืชได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจส์ (ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2545) ชนิดที่สองเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ เป็นพวกเป็นพวก คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีความสามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้น้อย แต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำลักษณะคล้ายฟองน้ำ

(สุรัตน์ โคมินทร์, 2534)

เส้นใยอาหารของถั่วแดงมีปริมาณสูงถึง 4.6 เปอร์เซ็นต์ เป็นเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังแสดงตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ชนิดของเส้นใยอาหารของถั่วแดง

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ปริมาณ (กรัม/100 กรัมของเส้นใยอาหารทั้งหมด)
เซลลูโลส	6.22
เฮมิเซลลูโลส	20.20
ลิกนิน	1.21

ที่มา : ดัดแปลงจาก Grelaap (1995)

## 2.4 กลูเตน

กลูเตน (Gluten) เป็นโปรตีนที่สามารถจับตัวเป็นโครงสร้างของโดที่มีสมบัติความเหนียวและยืดหยุ่น (Elasticity) โดยการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลของกรดอะมิโน กลูเตนประกอบด้วยโปรตีนกลูทีนิน (glutenin) ซึ่งมีสมบัติสำคัญต่อลักษณะความยืดหยุ่นของโด และโปรตีนไกลอะดีน (gliadin) ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 30 ของโปรตีนข้าวสาลี เป็นโปรตีนที่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ มีความสำคัญในการปรับและควบคุมลักษณะความชื้นเหนียวของกลูเตน มีรายงานว่าโปรตีนไกลอะดีนมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันและเป็นพิษต่อผู้ป่วยที่เป็นโรคแพ้กลูเตน “Coeliac Disease” ซึ่งสาเหตุของโรคอาจเกิดจากพันธุกรรม หรือจากการกระตุ้นโดยสารที่อยู่สภาวะล้าวม รวมทั้งไวรัสและการติดเชื้อ หรือเกิดจากสภาวะเครียด หรือการตั้งครรภ์ นอกจากนี้มีรายงานว่า เด็กทารกแรกเกิดที่ได้รับการเกิดอาหารที่มีกลูเตนในช่วง 3 เดือนแรกจะมีโอกาสเป็นโรคแพ้กลูเตนสูงถึง 5 เท่าของทารกที่ได้รับกลูเตนในช่วง 4 ถึง 6 เดือนต่อมา



รูปที่ 2.3 กลูเตน

ที่มา : พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 แป้ง

แป้งเป็นสิ่งที่สะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ราก หัว เมล็ด ลำต้น ผล ในรูปของเม็ดแป้ง (granule) โดยเม็ดแป้งจากพืชชนิดต่าง ๆ มีรูปร่างลักษณะขนาดและองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกันไป (ณัชชชี และคณะ , 2551) โดยแป้งที่มีสิ่งเจือปนอื่น ๆ ผสม เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ เรียกว่า ฟลาวร์ (flour) แต่ถ้าสกัดสิ่งเจือปนอื่น ๆ ออกจนได้แป้งบริสุทธิ์ เรียกว่า สตาร์ช (สุทธิณี, 2563) เม็ดแป้งโดยทั่วไปมีอะไมโลเพคตินเป็นองค์ประกอบหลัก (60 – 90%) รองลงมาคือ อะไมโลส (10 – 40%) นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น โปรตีน (< 1%) ไขมัน (< 1%) และเกลือแร่ชนิดต่าง ๆ ในปริมาณเล็กน้อย (ณัชชชี และคณะ , 2551)

แป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline structure) โดยส่วนที่เป็นผลึกเกิดการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบของสายโซ่เกลียวคู่ (double helics) ที่เป็นสายโซ่กิ่งของอะไมโลเพคติน โดยลักษณะการจัดเรียงตัวของสายโซ่เกลียวคู่ทำให้จัดจำแนกแป้งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีลักษณะผลึกแบบ A แบบโมโนคลินิก (monoclinic symmetry) ซึ่งเป็นแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด กลุ่มที่สอง คือกลุ่มที่มีลักษณะผลึกแบบ B แบบเฮกซะโกนัล (hexagonal) ซึ่งจะเป็นแป้งจากหัวและราก เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งพุทธรักษา ส่วนแป้งที่มีโครงสร้างแบบผลึกทั้งสองแบบรวมกัน คือกลุ่มที่มีลักษณะผลึกแบบ C ส่วนใหญ่จะเป็นแป้งจากพืชตระกูลถั่ว (ณัชชชี และคณะ , 2551)

### 2.5.1 ชนิดของแป้ง (สุทธิณี, 2563)

แป้งในธรรมชาติมีคุณลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเม็ดแป้งที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง สามารถแบ่งแป้งตามองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.5.1.1 แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสน้อย ได้แก่ แป้งที่ผลิตจากพืชหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งที่ผลิตจากราก เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันเทศ แป้งเท้ายายม่อม และแป้งที่ผลิตลำต้น

2.5.1.2 แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสมาก ได้แก่ แป้งที่ผลิตจากธัญทั่วๆไป เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวเจ้า

2.5.1.3 แป้งที่ไม่มีอะไมโลสหรือมีอะไมโลเพคตินเกือบ 100% ได้แก่ แป้งข้าวโพดเหนียว (waxy maize) แป้งข้าวฟ่างเหนียว (waxy sorghum) และแป้งข้าวเหนียว (waxy rice)

### 2.5.2 ลักษณะของเม็ดแป้ง

ภายในเม็ดแป้งมีอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 20 – 30% และอะไมโลเพคตินประมาณ 70 - 80% แต่พืชบางชนิดก็มีปริมาณอะไมโลสสูงถึง 50 - 80% เช่น แป้งถั่วหรือแป้งข้าวโพดบางสายพันธุ์ ที่เรียกว่า แป้งข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง (amylomaize) และข้าวโพดบางสาย  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธุ์ที่ไม่มีอะไมโลสเลย เรียกว่า แป้งข้าวโพดเหนียว (waxy maize) จากความแตกต่างกันในพีซแต่ละชนิด ทำให้รูปร่างของเม็ดแป้งมีความแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งมีลักษณะของเม็ดแป้งเป็นวงรีคล้ายไข่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 – 100 ไมโครเมตรและมีพอสפורัสเป็นองค์ประกอบทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำและพองตัวได้ง่าย ส่วนเม็ดแป้งข้าวโพดจะมีลักษณะเหลี่ยมและกลมรวมกันหลากหลายรูปแบบ แป้งสาลีมีเม็ดแป้งที่แบนกลมคล้ายเลนส์ มีขนาดประมาณ 2 – 35 ไมโครเมตร และแป้งข้าวเจ้ามีเม็ดแป้งค่อนข้างเล็ก มีความหนาแน่นน้อยที่สุดทำให้สุกง่าย (สุทธิณี, 2563)

### 2.5.3 องค์ประกอบของแป้ง

แป้งมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยอะตอมของ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน โดยมีสูตรเคมีทั่วไปคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย หน่วยของน้ำตาลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ Glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่า Reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพคติน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน (สุทธิณี, 2563; ธนากร, 2559)

## 2.6 สมบัติเชิงหน้าที่แป้ง

แป้งมีบทบาทที่สำคัญคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากสมบัติเฉพาะตัวของแป้งจึงได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงสมบัติของอาหาร เช่นทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัว และเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน (pasteurization) และสเตอริไลเซชัน (sterilization) เป็นต้น นอกจากนี้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมแก้ว และอุตสาหกรรมแป้งตัดแปร

### 2.6.1 การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและการละลายของ แป้ง คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงของโครงสร้าง ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่ คาร์โบไฮเดรต และลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง การละลาย ของเม็ดแป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบที่ต่างกัน แป้งดิบจะไม่ ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจาก พันธะไฮโดรเจน ในหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่ใกล้เคียงกันเชื่อมต่อกัน แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายทำให้โมเลกุลของน้ำเชื่อมต่อกับหมู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮดรอกซิลอย่างอิสระ เม็ดแป้งจึงพองตัวและละลายน้ำได้ ส่งผลให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งจากธัญพืช ได้แก่ แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี โครงสร้างร่างแหภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้น้อย ส่วนแป้งจากรากหรือกลางลำต้น เช่น แป้งมันสำปะหลัง อุดมภูมิเจลาตินในซต์ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืชทำให้มีการพองตัวและการละลายที่ดีกว่า และแป้ง จากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง การพองตัวของเม็ดแป้งดีที่สุด เนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ และมีโครงสร้างที่ ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตที่ทำให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้า ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ (สุทธิณี, 2563)

### 2.6.2 การเกิดเจลาตินในเซชันของแป้ง (Gelatinization)

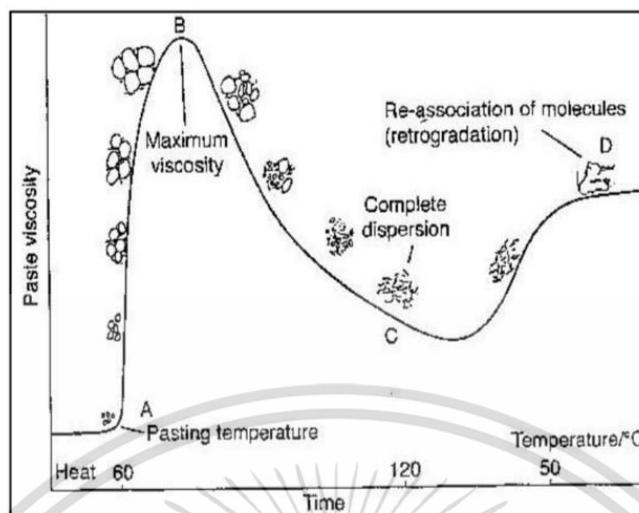
โมเลกุลของเม็ดแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นยาก ระยะในการเกิดเจลาตินในเซชันของเม็ดแป้ง (ภาพที่ 2.4) เป็นดังนี้

ระยะที่หนึ่ง ในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวเล็กน้อย ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้

ระยะที่สอง เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความข้นหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเจลาตินในเซชัน เมื่อตรวจด้วยเครื่องมือวัดความหนืดมักเรียกจุดนี้ว่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกัน แล้วแต่ชนิดของแป้ง

ระยะที่สาม เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีกรูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของเม็ดแป้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งระหว่างการต้มสุก  
ที่มา: พิมเพ็ญ และนิธิยา (2553)

### 2.6.3 สมบัติทางความหนืดของแป้ง (Pasting properties)

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น พฤติกรรมความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง หรือโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย โดยโมเลกุลของอะไมโลสที่ซึมออกมาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหนืด เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดลดลง (breakdown) ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลจากการพองตัวของเม็ดแป้งและการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง

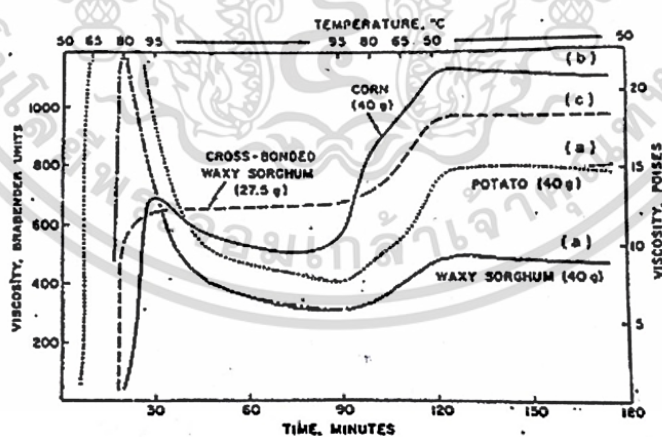
แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูงที่สุด และมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด (thickening power) สูงด้วย ในขณะที่แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีความหนืดสูงสุดต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งที่กำลังพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะไมโลสและไซมัน

การติดตามพฤติกรรมของแป้งขณะได้รับความร้อนและแรงกลจากการกวนสามารถติดตามได้โดยใช้เครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph) จุดสำคัญบนเส้นกราฟที่ใช้พิจารณาสมบัติของแป้งได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) อุณหภูมิเพสทิง (pasting temperature) เป็นอุณหภูมิที่มีความหนืดของเพสต์เริ่มปรากฏอุณหภูมินี้แปรผันตามชนิดของแป้งและการดัดแปร รวมถึงการมีสารเติมแต่งในสารละลาย (จุด A)
- 2) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดบนกราฟที่มีความหนืดสูงสุดปรากฏ โดยทั่วไปการต้มแป้งให้สุกจะต้องผ่านระยะนี้ (จุด B)
- 3) ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียส ความหนืดที่อุณหภูมินี้จะสะท้อนถึงความง่ายของการต้มแป้งให้สุก (จุด C)
- 4) ความหนืดที่ 95 องศาเซลเซียส จะแสดงหรือชี้บอกเสถียรภาพของเพสต์หรือแป้งเหนียวระหว่างการต้มแป้งภายใต้แรงเฉือนต่ำ (จุด D)
- 5) ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส ความหนืดที่จุดนี้จะช่วยวัดการคืนตัว (setback) ของเพสต์ร้อนเมื่อทำให้เย็น (จุด E)
- 6) ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส จะแสดงหรือชี้บอกเสถียรภาพของเพสต์สุกภายใต้สภาวะจำลอง (จุด F)

เมื่อลดอุณหภูมิลงโมเลกุลอิสระที่กระจายออกมา ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและไม่ยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นมานี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้คือการตัวของแป้ง (retrogradation) ความหนืดของสตาร์ชขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสตาร์ช สมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดสตาร์ช เช่น ขนาดของเม็ดสตาร์ช การกระจายตัว ขนาดของเม็ดสตาร์ช อัตราส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคติน และปริมาณแร่ธาตุ



ภาพที่ 2.4 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกจากแป้งชนิดต่าง ๆ  
ที่มา : กลณรงค์ และเกื้อกุล (2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการแบ่งประเภทแป้งตามกราฟแสดงพฤติกรรมความหนืด ตามวิธีของ Schoch และ Maywald (1968) ซึ่งรูปแบบความหนืดของแป้งสุกจากแป้งชนิดต่าง ๆ ที่วัดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโลกราฟ (Brabender viscoamylograph) แบ่งได้ 4 แบบ แสดงดัง ภาพที่ 2.4

1) แบบ a เป็นลักษณะของกราฟที่ได้จากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวสูง (high swelling starch) ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้ง waxy จากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่พืชเหล่านี้ เม็ดแป้งจะมีการ พองตัวมาก ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลงและเม็ดแป้งจะแตกออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ดังนั้น ลักษณะกราฟของความหนืดจึงสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

2) แบบ b เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวปานกลาง (moderate-swelling starch) ได้แก่ แป้งจากธัญพืชทั่วไป เนื่องจากเม็ดแป้งจะไม่พองตัวมากถึงกับแตกออก ลักษณะกราฟของ ความหนืดจึงสูงขึ้นน้อยกว่า และเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

3) แบบ c เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวจำกัด (restricted-swelling starch) ได้แก่ แป้งถั่วต่าง ๆ และแป้งแปรสภาพทางเคมีโดยการ cross-linked การ cross-linked ภายในเม็ดแป้ง ทำให้การพองตัวและการละลายลดลง และยังทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น ดังนั้นลักษณะ กราฟของความหนืดจึง ไม่ปรากฏยอดสูงสุด แต่มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างการต้ม สุก

4) แบบ d เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (highly-restricted swelling starch) ได้แก่ แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลส 55 - 70 %

## 2.7 พืชเช่า

พืชเช่าจัดอยู่ในหมวดเดียวกับขนมปัง flat bread หรือขนมปังที่มีลักษณะเนื้อแน่นแผ่นแบน ตกแต่งหน้าด้วยชีส ซอสมะเขือเทศและเครื่องเคียงต่าง ๆ (กัญญาภรณ์ และคณะ, 2560)

### 2.7.1 ต้นกำเนิดของพืชเช่า

เมื่อ 2200 ปีก่อนคริสตกาล ในประเทศอียิปต์ได้มีการผลิตขนมปังแบนเกิดขึ้น และทำการราดหน้าขนมปังด้วยเครื่องแกงต่าง ๆ เรียกขนมปังชนิดนี้ว่า “Dukka” และได้พบหลักฐานการทำขนมปังแบนในอิตาลีเมื่อ 4000 ปีที่ผ่านมา ในช่วง 930 – 970 ปีก่อนคริสตกาล ค้นพบว่าชาวเปอร์เซียและชาวกรีกเริ่มทดลองทำบางอย่างจนมีลักษณะคล้ายพืชเช่า แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์ที่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าเป็นพืชเช่า มีเพียงเอกสารที่ระบุไว้เมื่อ 12000 ปีก่อนคริสตกาล ว่าชาวอียิปต์บดเมล็ดหญ้าป่าลงในแป้งเพื่อทำขนมปัง ราดซอสรสชาติต่าง ๆ ลงบนขนมปัง และนำไปอบด้วยเถ้าของภูเขาไฟจนสุก แล้วจึงนำมาตัดแบ่งเป็น 8 ส่วนเท่า ๆ กัน เช่นเดียวกับพืชเช่าในสมัยปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.2 ส่วนประกอบของพิซซ่า

### 2.7.2.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นส่วนผสมที่ทำให้เราสามารถแยกผลิตภัณฑ์แป้งสาลีออกจากชนิดอื่นได้ แป้งสาลีที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เกือบทุกชนิด แป้งสาลีทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว แป้งสาลีนั้นเมื่อนำมาผสมกับน้ำในสภาพที่เหมาะสมจะให้ก้อนโดยืดหยุ่นได้ ก้อนโดมีคุณสมบัติสามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นในขณะทำการหมักได้นอกจากนี้ก้อนโดยังมีคุณสมบัติทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นต่ำมีโครงสร้างเซลล์ที่เล็กและสม่ำเสมอ เมื่อเคี้ยวจะทำให้มีความรู้สึกนุ่มและยืดหยุ่น ในการทำพิซซ่าจะใช้แป้งสาลีเนกประสงค์ ซึ่งแป้งสาลีเนกประสงค์ได้มาจากการผสมข้าวสาลีชนิดหนักและเบาพร้อมกัน ทำให้เกิดโครงสร้างในผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูปเมื่อสุก

### 2.7.2.2 น้ำตาล

น้ำตาลที่ใช้ในการทำพิซซ่า คือ น้ำตาลทราย (Granulated Sugar) น้ำตาลช่วยให้ความหวานของผลิตภัณฑ์ ช่วยเก็บความชื้นของผลิตภัณฑ์

### 2.7.2.3 เกลือ

เกลือถูกเติมเพื่อเพิ่มรสชาติและช่วยเน้นให้รสชาติของส่วนผสมอื่น ๆ เด่นชัดขึ้นและควบคุมกระบวนการหมักโดยให้ผลทางออสโมติกแก่เซลล์ยีสต์ทำให้มีผลต่อการหมัก ถ้ามีแรงดันออสโมติกสูงขึ้นอัตราเร็วในการเกิดการหมักด้วยยีสต์จะลดลง เนื่องจากยีสต์ขาดน้ำทำให้ส่งผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) กล่าวคือถ้าให้เกลือมากเกินไปจะขัดขวางกระบวนการหมักไม่ให้เป็นไปอย่างเหมาะสม แต่ถ้าไม่ใส่จะทำให้การหมักเป็นไปอย่างรวดเร็วเกินไปจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อหยาบและรสชาติไม่ดี

### 2.7.2.4 น้ำมันพืช

น้ำมันจะเป็นตัวช่วยให้เกิดความอ่อนนุ่ม ให้กลิ่นรสที่ดี ช่วยในการกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น โดยทำให้กลูเตนมีความแน่นจนอากาศเข้าไม่ได้ ทำให้ปริมาณเกลือและเปลือกนอกของขนมปังดีขึ้น และช่วยในการหล่อลื่นกลูเตน ก้อนแป้งจะยอมให้ก๊าซที่ช่วยในการขึ้นฟูแพร่กระจายและขยายตัวให้สะดวกขึ้น ทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้เนื้อไม่แน่นและไม่ขึ้นฟู

### 2.7.2.5 น้ำ

น้ำเป็นส่วนสำคัญเนื่องจากน้ำจะช่วยในการรวมตัวของโปรตีนในแป้งสาลีให้เกิดเป็นกลูเตนที่จะกลายเป็นโดที่มีความนุ่ม ยืดหยุ่นดี น้ำที่ใช้ได้ดีควรเป็นน้ำที่มีความกระด้างปานกลาง จะช่วยควบคุมความหนืดและอุณหภูมิของโดให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดก๊าซในกระบวนการหมัก ช่วยละลายส่วนผสมอื่น ๆ เช่น เกลือ น้ำตาล เมื่อรวมกับคุดแล้วกลายเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเข้าอบน้ำมีส่วนทำให้สตาร์ชเกิดเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กลูเตนเกิดการขยายตัว และเปลี่ยนสภาพจากดิบเป็นสุกทำให้เกิดโครงร่าง และคงรูปไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2.6 ยีสต์

เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharomyces cerevisiae* ช่วยทำให้เกิดการสร้างก๊าซภายในโดปรับสภาพโดให้เหมาะสมและให้กลิ่นรส ยีสต์จะเริ่มเจริญเติบโตเมื่อมีน้ำและอากาศจากการผสม มีอาหารคือน้ำตาลและสารอาหารอื่น ๆ จากโด ทำให้ยีสต์เพิ่มจำนวนมากขึ้น พร้อมกันนี้เอนไซม์ต่าง ๆ ในยีสต์จะแปรสภาพสารอาหารโดยเฉพาะน้ำตาลให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรนาถ และสุภักษร (2552) ศึกษาการผลิตพาสต้าจากแป้งถั่วแดงหลวงแทนแป้งเซโมลินา โดยทดแทนในระดับ 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแป้ง) พบว่าค่าความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง แต่ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวจะลดลงตามปริมาณแป้งถั่วแดงหลวงที่ใช้ทดแทนมากขึ้น และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงหลวง 20 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการยอมรับมากที่สุด และมีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหาร แ่ที่สูงกว่ามาตรฐานด้วย

ยุพร และโสธยา (2556) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางโครงสร้าง และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชที่เตรียมจากแป้งถั่วแดงหลวงและถั่วเขียวแดงทั้งเมล็ดและที่ลอกเปลือกออก แล้วนำแป้งถั่วแดงที่ได้มาใช้ประโยชน์โดยการนำมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ พบว่าแป้งถั่วแดงหลวงและถั่วเขียวแดงทั้งเมล็ดและที่ลอกเปลือกออก เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูง แต่มีปริมาณไขมันต่ำ แป้งถั่วแดงที่มีทั้งเมล็ดจะมีปริมาณใยอาหารและแ่ที่สูงกว่าแป้งถั่วแดงที่ลอกเปลือกออก ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วแดงหลวงยอมรับแป้งถั่วแดงทั้งเมล็ดที่ระดับ 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์และแป้งถั่วแดงหลวงลอกเปลือกออกที่ 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วแดงจะทำให้อัตราการขึ้นฟูและความกรอบของแครกเกอร์ลดลง แต่ค่าสีของแครกเกอร์ที่ผ่านการอบเพิ่มขึ้น

กุลยา และคณะ (2560) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว โดยเตรียมแป้งถั่ว 3 ชนิด ได้แก่ แป้งถั่วแดง แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วเขียว และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่าแป้งถั่วทั้ง 3 ชนิดเป็นแหล่งของโปรตีน แร่ธาตุ ใยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระแต่แป้งถั่วแดงและแป้งถั่วดำมีปริมาณแอนโทไซยานินและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าแป้งถั่วเขียว และศึกษาการพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตพาสต้าข้าวเจ้าแบบเอ็กซ์ทรูชัน โดยศึกษาหาปริมาณแป้งถั่วที่เหมาะสมในสูตรพาสต้า โดยแปรปริมาณแป้งถั่วแดง แป้งถั่วดำ และแป้งถั่วเขียวที่ใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้า (0-50% โดยน้ำหนักแป้ง) วิเคราะห์คุณภาพของพาสต้า ได้แก่ คุณภาพหลังการต้ม คุณลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า พาสต้าที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงร้อยละ 40 แป้งถั่วดำร้อยละ 40 และแป้งถั่วเขียวร้อยละ 30 ได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรรษา และกานติมา (2561) ได้ศึกษาการใช้แป้งถั่วแดงทดแทนแป้งสาลีในหมั่นโถว ซึ่งมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่าแป้งถั่วแดงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH, ABTS, FARP เมื่อแป้งถั่วแดงมาทดแทนแป้งสาลีในหมั่นโถวที่ระดับ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแป้งสาลี) พบว่าแป้งถั่วแดงเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อคุณภาพของหมั่นโถว หมั่นโถวจะมีค่าความแข็ง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น ส่วนความยืดหยุ่น ปริมาตรจำเพาะ และความสว่างลดลง จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าปริมาณแป้งถั่วแดงที่เหมาะสมคือ 20 เปอร์เซ็นต์

Nilgün (2021) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมแป้งถั่วแดงในกรรมวิธีต่าง ๆ ดังนี้ นำถั่วแดงไปแช่และเอาเปลือกออก นำไปปรุงสุก นำไปคั่ว และถั่วแดงที่ไม่ผ่านกรรมวิธีใดเลย ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เค้ก และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของแป้งถั่วแดงและเค้ก ได้ผลว่าแป้งถั่วแดงที่ผ่านกรรมวิธีแบบแช่น้ำและนำเปลือกออก และกรรมวิธีปรุงสุก เหมาะสำหรั้นำมาผลิตแป้งในเชิงอุตสาหกรรมมากที่สุด

Maria และคณะ (2022) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงผนังเซลล์ของถั่วแดง ที่ส่งผลต่อการเกิดอะคริลาไมด์ในระหว่างการอบบิสกิต ผลที่ได้คือบิสกิตที่ใช้แป้งถั่วแดงที่มีผนังเซลล์ที่แข็งแรงสามารถลดการเกิดอะคริลาไมด์ได้ 15 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับบิสกิตที่ใช้แป้งถั่วแดงที่ผนังเซลล์ถูกทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

ถั่วแดงหลวง จาก บ.ตะวันพืชผล จำกัด, ประเทศไทย

##### 3.1.2 วัตถุดิบในการผลิตพืชชาปราศจากกลูเตน

แป้งข้าวเจ้า (ตราโลตัส, บ.บางกอกอินเตอร์ฟูด จำกัด, ประเทศไทย)

แป้งมันสำปะหลัง (ตราปلامังกร, ห้างหุ้นส่วนสามัญนิติบุคคล ตงจั่น, ประเทศไทย)

แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ (ตราB NATURAL, หจก.บางใหญ่ซัพพลาย, ประเทศไทย)

เกลือ (ตราปรุงทิพย์, บ.อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด, ประเทศไทย)

แซนแทนกัม (ตราSWAN, ประเทศไทย)

ผงฟู (ตราอิมพีเรียล, บ.เคซีจี คอร์ปอเรชั่น จำกัด, ประเทศไทย)

ยีสต์ (ตราsaf-instant, ประเทศอินโดนีเซีย)

น้ำมันถั่วเหลือง (ตราอู๋งุ่น, บ.น้ำมันพืชไทย จำกัด, ประเทศไทย)

น้ำตาล (ตราลิน, บ.ไทยรุ่งเรืองอุตสาหกรรม จำกัด, ประเทศไทย)

น้ำ

เนยรสจืด (ตราออร์คิด, บ.มะลิ กรู๊ป 1962 จำกัด, ประเทศไทย)

ซอสพิชซ่า (ตราคนอร์, บ.ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดีนส์ จำกัด, ประเทศไทย)

ชีส

แฮม

ออริกาโน (ตรามายช้อยส์, บ. อัจฉิตต์อินเตอร์เนชั่นแนลเพิพเพอร์แอนด์สไปซ์ จำกัด, ประเทศไทย)

##### 3.1.2 สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether), RCI Labscan, Ireland

ซีไลท์ (celite)

กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. sulphuric acid)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (com grade sodium hydroxide)

Anti foaming agent (n-Otanol)

Copper(III) sulfate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Potassium sulfate  
 กรดบอริก (boric acid)  
 อินดิเคเตอร์เมทิลีนบลู (methylene blue) 0.1%  
 อินดิเคเตอร์เมทิลเรด (methyl red)  
 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. hydrochloric acid)

### 3.2 อุปกรณ์

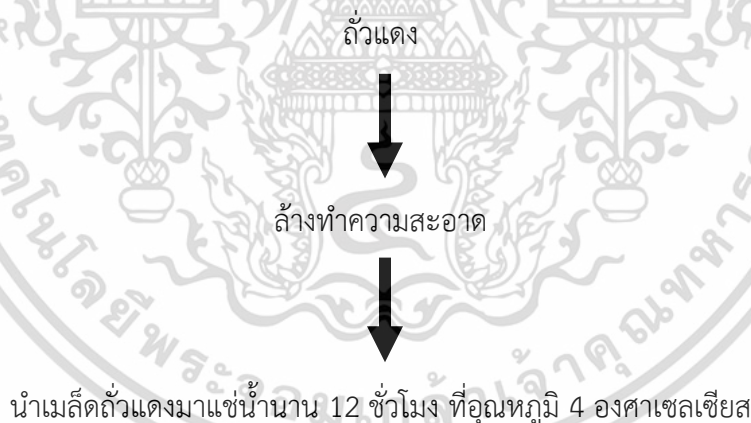
เครื่องปั่น (blender): Starwell, Thailand  
 ตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer)  
 เครื่องบดแบบหยาบ (hammer mill): WACO  
 เครื่องบดแบบเข็ม (pin mill): Retsch ZM1000, Germany  
 เครื่องวัดสี (colorimeter): Konika Minolta CR-400 chroma meter, Japan  
 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (precision balance 2 digits): Mettler Toledo, Switzerland  
 เครื่องเขย่าสาร (vortex mixer): Yakos HAS-120-CB-A, Taiwan  
 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบความเร็วต่ำควบคุมอุณหภูมิ (refrigerated centrifuge): Eppendorf 5804R, Germany  
 ตู้อบลมร้อน (hot air oven): Memmert UM 400, Germany  
 โถดูดความชื้น (desiccator)  
 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (precision balance 4 digits): Mettler Toledo, Switzerland  
 เครื่องสกัดไขมัน (fat extraction): Gerhardt S306AK, Germany  
 เตาไฟฟ้า (hot plate): IKA, Germany  
 เครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร (fiber extraction): Foss Fibertec 1020, Denmark  
 เตาเผา (Muffle Furnace): NaberTherm LT40/11/B170, Germany และ Carbolite CWF11/13, UK  
 เตาหลุมให้ความร้อน (heating mantle): Gerhardt, Germany  
 ชุดกลั่นโปรตีน: Gerhardt, Germany  
 เตาอบไฟฟ้า (electric oven): Tecnogas, Italy  
 เครื่องวัดความหนืดของน้ำแป้งแบบหมุน (viscograph): Brabender Viscograph E, US  
 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer): Stable Micro Systems TA-XT plus, US

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมแป้งจากถั่วแดงทั้งเมล็ด (preparation of red kidney bean flour)

การเตรียมแป้งจะใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก Kongchaleam และ Puechkamut (2012) ถั่วแดงหลวงนำมาล้างทำความสะอาด คัดแยกเมล็ดเสีย นำเมล็ดถั่วแดงที่ได้มาแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำกลั่น เท่ากับ 1:4 กรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นแยกถั่วแดงหลวงที่อืดตัวด้วยน้ำออกจากน้ำแช่ก่อนนำมาปั่นที่ความเร็วระดับ 1 ด้วยเครื่องปั่น (blender) เป็นเวลา 10 วินาทีก่อนนำไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer) โดยวางถั่วบนถาดตะแกรงเหล็กขนาด 20.5x15 เซนติเมตร แต่ละถาดใส่ถั่วแดงหนัก 150 กรัม ใช้ทัพพีเกลี่ยให้เต็มพื้นที่ตะแกรงหนา 0.5 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง จนถั่วแดงมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ นำถั่วแดงแห้งที่ได้มาบดหยาบด้วยเครื่องบดแบบหยาบ (hammer mill) แล้วจึงนำแป้งถั่วแดงที่ผ่านการบดหยาบไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) ด้วย sieve ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ความเร็วหน้าเครื่องตั้งเป็น 10000 แป้งถั่วแดงทั้งเมล็ดที่ได้นำไปบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองต่อไปล้างทำความสะอาดถั่วแดง



นำเมล็ดถั่วแดงมาแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

นำมาปั่นด้วยเครื่องปั่น (blender) ความเร็วระดับ 1 นาน 10 วินาที

อบแห้งโดยใช้ เครื่องอบลมร้อน (tray dry) 70 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บดหยาบด้วยเครื่องแฮมเมอร์มิล (Hammer mill)



นำแป้งถั่วแดงมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (Pin mill) ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 0.25 มิลลิเมตร



แป้งถั่วแดงบรรจุในถุงสุญญากาศและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตแป้งถั่วแดง

ที่มา : ดัดแปลงจาก Kongchaleam และ Puechkamut (2012)

### 3.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพแป้งถั่วแดง (analysis of flour)

#### 3.3.2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพ (physical analysis)

โดยนำแป้งถั่วแดงทั้งหมดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพดังนี้

1) การวิเคราะห์ค่าสี (color measuring) ด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter) ระบบ CIE lab โดยต้องทำการ calibrate กับแผ่นสีมาตรฐานก่อนนำมาวัดค่าสีตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ค่าที่วัดมี 3 ค่า ดังนี้

$L^*$  ค่าความสว่าง (lightness) โดย 0 = สีดำ และ 100 = สีขาว

$a^*$  ค่าสีแดงและสีเขียว ค่า  $a^*$  เป็นบวก = สีแดง ค่า  $a^*$  เป็นลบ = สีเขียว

$b^*$  ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน ค่า  $b^*$  เป็นบวก = สีเหลืองค่า  $b^*$  เป็นลบ = สีน้ำเงิน

2) การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water absorption capacity)

ก. ใช้เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (precision balance 2 digits) ชั่งแป้งถั่วแดง 1 กรัมและจดบันทึก

ข. ชั่งน้ำหนักรุ่นน้ำปริมาณ 20 มิลลิลิตรก่อนหมวนเหวี่ยงและจดบันทึก

ค. นำแป้งถั่วแดงจากข้อ ก ไปผสมกับน้ำจากข้อ ข ในหลอดเซนตริฟิวจ์

ง. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (vortex mixer) ความเร็วระดับ 7 เป็นเวลา 10 วินาที

ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. พักตัวอย่างเป็นเวลา 30 นาที

แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบความเร็วต่ำควบคุมอุณหภูมิ (refrigerated centrifuge)

ที่ความเร็วรอบ 5000g อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ฉ. ชั่งน้ำหนักน้ำหลังเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงและจดบันทึก

ช. คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำ จากสมการ

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำก่อนหมุนเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักน้ำหลังหมุนเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักแป้งถั่วแดงแห้ง}}$$

3) การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (oil absorption capacity)

ก. ชั่งแป้งถั่วแดง 1 กรัมและจดบันทึก

ข. ชั่งน้ำหนักน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณ 12 มิลลิลิตรก่อนหมุนเหวี่ยงและจดบันทึก

ค. นำแป้งถั่วแดงจากข้อ ก ไปผสมกับน้ำมันจากข้อ ข ในหลอดเซนตริฟิวจ์

ง. เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (vortex mixer) ความเร็วระดับ 7 เป็นเวลา 10 วินาที

ที่อุณหภูมิห้อง

จ. พักตัวอย่างเป็นเวลา 30 นาที

แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบความเร็วต่ำควบคุมอุณหภูมิ (refrigerated centrifuge)

ที่ความเร็วรอบ 5000g อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ฉ. ชั่งน้ำหนักน้ำมันถั่วเหลืองหลังเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงและจดบันทึก

ช. คำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำมัน จากสมการ

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันก่อนหมุนเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักน้ำมันหลังหมุนเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักแป้งถั่วแดงแห้ง}}$$

### 3.3.2.2 การวิเคราะห์ทางเคมี

โดยการนำแป้งถั่วแดงมาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีโดยทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน

ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการวิเคราะห์ AOAC (2011)

1) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2011)

ก. นำถั่วอะลูมิเนียมพร้อมฝาไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven)

ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่โถดูดความชื้น (desiccator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ที่คืบคืบด้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาตลอดการทดลอง รอทิ้งไว้ให้เย็น 10

นาทีแล้วนำไปชั่งด้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาน้ำหนักที่แน่นอน (W)

ข. ชั่งน้ำหนักแบ่งถั่วแดง 3 กรัมลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ผ่านการไล่ความชื้นแล้ว

บันทึกน้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝากับแบ่งถั่วแดง ( $W_1$ )

ค. นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมงโดยเปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมไว้

ง. เมื่อครบเวลา นำถ้วยอะลูมิเนียมออกจากตู้อบโดยปิดฝาทันที

แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน อบซ้ำอีกครั้งครึ่งละ 1 ชั่วโมง

จ. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของแป้ง จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นของแป้ง} = \left[ \frac{(W_1 - W) - (W_2 - W)}{W_1 - W} \right] \times 100$$

W = น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา (กรัม)

$W_1$  = น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา และแบ่งถั่วแดงก่อนอบ (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักของถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา และแบ่งถั่วแดงหลังอบ (กรัม)

2) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2011)

ก. อบปีกเกอร์ไขมันพร้อมกับ boiling chip ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

ข. นำไปพักให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (precision balance 4 digits) และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_1$ ) โดยใช้ที่คืบคืบปีกเกอร์ไขมัน

ค. ชั่งแบ่งถั่วแดง 3 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (W) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ในทิมเบล (extraction thimble)

ง. เติมตัวละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) 150 มิลลิลิตร ใส่ในปีกเกอร์ไขมันที่มีทิมเบลใส่แบ่งถั่วแดงอยู่ (ทำในตู้ดูดควัน) ต้องระวังอย่าให้แป้งล้นออกมานอกทิมเบล

จ. นำปีกเกอร์จากข้อ ง เข้าเครื่องสกัดไขมัน (fat extraction)

ทำการสกัดไขมันตามโปรแกรมของเครื่อง

ฉ. เมื่อครบเวลานำปีกเกอร์ไขมัน มาตั้งบนเตาไฟฟ้า (hot plate) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกบางส่วน (ทำในตู้ดูดควัน)

ช. นำปีกเกอร์ไขมันไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจนหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช. นำบีกเกอร์ไปพักให้เย็นลงในโถดูดความชื้นก่อนใช้ที่ตบคืบไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_2$ )  
 ฉ. คำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันในแป้ง จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมันในแป้ง} = \left[ \frac{W_1 - W_2}{W} \right] \times 100$$

W = น้ำหนักของแป้งถั่วแดง (กรัม)

$W_1$  = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมัน และแป้งถั่วแดงก่อนสกัด (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักของบีกเกอร์ไขมัน และแป้งถั่วแดงหลังสกัด (กรัม)

### 3) การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (AOAC, 2011)

- ก. ชั่งน้ำหนักแป้งถั่วแดงที่สกัดไขมันออกแล้ว 1 กรัมใส่ในถ้วยชนิดทนไฟและเติมซีไรท์ (celite) เพื่อช่วยในการกรอง 1 กรัม (W)  
 ข. นำถ้วยชนิดทนไฟต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร (fiber extraction)  
 ค. เปิดฝาด้านบนของเครื่องเติมกรดซัลฟูริก (sulphuric acid) 1.25% ที่อุณหภูมิ 150 มิลลิลิตรลงในขวดย่อยของแต่ละตัวอย่าง  
 ง. เติม n-Octanol ปริมาณ 2 - 3 หยดเพื่อป้องกันการเกิดฟองล้นและนำไปให้ความร้อนจนเดือดในเครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร  
 จ. ลดความร้อนลงแล้วต้มต่อเป็นเวลา 30 นาที  
 ฉ. ถ่ายกรดออก  
 ช. ล้างกากที่ติดค้างอยู่บนหลอดด้านบนด้วยน้ำกลั่นร้อน แล้วถ่ายน้ำออกก่อนเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ชนิด com grade 1.25% ที่อุณหภูมิ 150 มิลลิลิตร เติม n-Octanol 2 - 3 หยด และให้ความร้อนจนเดือดในเครื่องวิเคราะห์ใยอาหาร  
 ซ. ลดความร้อนลงแล้วต้มต่อเป็นเวลา 30 นาที  
 ฌ. ถ่ายเบสออก  
 ญ. ล้างกากที่ติดค้างอยู่บนหลอดด้านบนด้วยน้ำกลั่นร้อน แล้วถ่ายน้ำออกให้หมด  
 ฎ. นำถ้วยชนิดทนไฟออกจากเครื่องวิเคราะห์ใยอาหารเพื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที และนำไปชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ )  
 ฏ. นำไปเผาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมงและนำไปชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ )  
 ฐ. คำนวณเปอร์เซ็นต์ใยอาหารในแป้ง จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เปอร์เซ็นต์โยอาหารในแป้ง} = \left[ \frac{W_1 - W_2}{W} \right] \times 100$$

$W$  = น้ำหนักของแป้งถั่วแดงกับซีไลท์ และน้ำหนักถ้วยชนิดทนไฟ (กรัม)

$W_1$  = น้ำหนักของถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังอบแห้ง (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักของถ้วยชนิดทนไฟและกากหลังจากเผา (กรัม)

#### 4) การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2011)

ก. เผาถ้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง แล้วคืบถ้วยกระเบื้องนำมาพักให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด ( $W$ )

ข. ชั่งน้ำหนักแป้งถั่วแดงใส่ลงถ้วยกระเบื้อง 3 กรัม ( $W_1$ )

ค. นำไปเผาบนเตาไฟฟ้า โดยเพิ่มความร้อนขึ้นทีละน้อยจนตัวอย่างไหม้เกรียม และหมดควัน (ทำในตู้ดูดควัน)

ง. นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ได้เถ้าสีขาว

จ. คืบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ )

ฉ. คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าของแป้ง จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้าของแป้ง} = \left[ \frac{W_2 - W}{W_1 - W} \right] \times 100$$

$W$  = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง (กรัม)

$W_1$  = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง และตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้อง และตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

#### 5) การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2011)

ก. ชั่งแป้งถั่วแดง 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน เติม mixed catalyst 10 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร และใส่ boiling chip 3 ลูก

ข. นำไปย่อยบนเตาหลุมให้ความร้อน (heating mantle) โดยใช้ความร้อน 180 องศาเซลเซียสจนกระทั่งหมดฟอง แล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 380 องศาเซลเซียสนาน 40 นาทีจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้าใส แล้วทิ้งไว้ให้เย็น (อย่าปิดเครื่องดูดไอรกด)

ค. นำหลอดย่อยไปต่อเข้ากับชุดกลั่นโปรตีน โดยตั้งให้เครื่องทำงาน step 1 เติมน้ำกลั่น 4 นาที step 2 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% 8 นาที step 3 20 นาที step 4 120 นาที 85 องศาเซลเซียส และ step 5 25 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. เติมกรดบอริก (boric acid) 4% ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตรหยดอินดิเคเตอร์เมทิลีนบลู (methylene blue) 0.1% และเมทิลเรด (methyl red) 0.2% อย่างละ 3 หยด จะได้สารละลายสีชมพูม่วง วางขวดรูปชมพู่ลงในชุดกลั่น  
เสียบท่อพลาสติกที่ต่อจากคอนเดนเซอร์ลงในกรดบอริกเพื่อดักจับแก๊สแอมโมเนียที่กลั่นออกมาได้

จ. เปิดเครื่องกลั่น

ฉ. นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายที่กลั่นเสร็จแล้วซึ่งมีสีเขียวมาไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) เข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมชมพู แล้วบันทึกค่าปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

ช. ทำblankตามข้อที่ ก.-ฉ. โดยไม่ต้องใส่แป้งถั่วแดง

ซ. คำนวณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในแป้ง จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในแป้ง} = \left[ \frac{(A - B) \times N \times 14}{W \times 1000} \right] \times 100$$

A = ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับแป้งถั่วแดง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับblank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ (N)

W = น้ำหนักของแป้งถั่วแดง (กรัม)

ณ. คำนวณเปอร์เซ็นต์โปรตีนในแป้ง จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีนในแป้ง} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในแป้ง} \times 6.25$$

6) การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตคำนวณจากสมการ

$$\text{คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{ใยอาหาร} + \% \text{เถ้า})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของแป้งผสมและการทำพิซซ่าปราศจากกลูเตน

#### 3.3.3.2 การศึกษาการทดแทนแป้งถั่วแดงในพิซซ่าปราศจากกลูเตน

ทำการผลิตพิซซ่าปราศจากกลูเตนดังตารางที่ 3.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วแดงทดแทนแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิต่อคุณภาพของพิซซ่าปราศจากกลูเตน โดยมีรายละเอียดและวิธีการทำดังนี้

1 เตรียมยีสต์ผสมกับน้ำตาลและน้ำแล้ววางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 40 นาที

2 นำแป้งถั่วแดงมาทดแทนแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง

และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิในการผลิตพิซซ่าปราศจากกลูเตน โดยทำการทดแทนในปริมาณ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในสูตรตารางที่ 3.2

3 ผสมแป้งถั่วแดง แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ เกลือ ผงฟู แขนแทนกันเข้าด้วยกันแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรง

4 เทยีสต์ที่เตรียมไว้จากข้อ 1 ผสมลงไปในส่วนผสมข้อ 3

5 ใส่น้ำมันถั่วเหลือง แล้วนวดผสมแป้งด้วยมือนาน 10 นาที

6 เมื่อส่วนผสมทั้งหมดผสมเข้ากันเป็นแป้งผสมดีแล้ว ให้นำแป้งผสมนั้นมาพักไว้ในกะละมังสเตนเลสและพักแป้งไว้ 50 นาที

7 เมื่อครบเวลานำแป้งจากข้อ 6 มาคลึงให้เป็นแผ่นกลมหนา 0.3 เซนติเมตร ด้วยไม้นวดแป้ง และใช้ช้อนจิ้มที่หน้าพิซซ่าให้เป็นรูเล็กๆ

8 นำเข้าเตาอบไฟฟ้า (electric oven) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส วางไว้ด้านล่าง 7 นาที

9 นำพิซซ่าออกมาทาเนยรสจืดบริเวณผิวหน้าให้ทั่วพร้อมกับทาซอสพิซซ่าและโรยหน้าด้วยแฮม ชีส

10 นำพิซซ่าเข้าเตาอบไฟฟ้าอีกครั้งแต่วางไว้ด้านบนนาน 8 นาที

11 นำพิซซ่าออกจากเตาอบ ตัดเป็นชิ้นๆ พร้อมเสิร์ฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สูตรพืชมัชร่พราศจากกลูเตนสูตรควบคุมและสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงในอัตราส่วนต่าง ๆ

ส่วนประกอบ (กรัม)	สูตรควบคุม	สูตรที่1 (10%)	สูตรที่ 2 (20%)	สูตรที่ 3 (30%)
แป้งถั่วแดง	0	18	36	54
แป้งข้าวเจ้า	60	54	48	42
แป้งมัน สำปะหลัง	60	54	48	42
แป้งข้าวกล้อง	60	54	48	42
เกลือ	2	2	2	2
แซนแทนกัม	1.35	1.35	1.35	1.35
ผงฟู	1.5	1.5	1.5	1.5
ยีสต์	4.5	4.5	4.5	4.5
น้ำมันถั่วเหลือง	5	5	5	5
น้ำตาล	11	11	11	11
น้ำ	133	133	133	133

ที่มา: ดัดแปลงจากอภิชนา (2565)

3.3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) ของแป้งผสม ในการทดลอง ได้ทดลองทดแทนแป้งในตารางที่ 3.1 ด้วยแป้งถั่วแดงในปริมาณ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของแป้งที่ใช้ในสูตร และนำแป้งผสม ทั้งตัวอย่างควบคุม และแป้งผสมที่ใช้แป้งถั่วแดงทดแทนมาวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืด ดังนี้

1 นำแป้งผสมปริมาณ 50 กรัม มาผสมกับน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์

2 คนให้แป้งละลายน้ำ

3 วิเคราะห์คุณสมบัติการให้ความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดของน้ำแป้งแบบหมุน (brabender visco amylograph) โดยตั้งโปรแกรม เพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นในอัตรา 1 องศาเซลเซียสต่ออนาทีนาน 45 นาทีถึงจะมีอุณหภูมิแป้งอยู่ที่ 95 องศาเซลเซียสแล้วปล่อยให้อุณหภูมินี้คงที่นาน 20 นาที แล้วจึงค่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 1 องศาเซลเซียสต่อนาที่นาน 45 นาทีจนถึง 50

องศาเซลเซียสแล้วปล่อยให้อุณหภูมินี้คงที่นาน 20 นาที

4 บันทึกค่าการทดสอบของอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด(Pasting Temperature), ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity), ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืด ต่ำสุด (Breakdown viscosity), ค่าความหนืดคืนตัว (Setback viscosity) และค่าความหนืด สุดท้าย (Final viscosity)

### 3.3.3.4 การวิเคราะห์คุณภาพของก้อนโด

1 วัดขนาดของแผ่นแป้งพิซซ่า นำแผ่นแป้งพิซซ่าที่ผ่านการคลึงเป็นแผ่นบางๆ โดยวัดความหนาหน้าก่อนอบ 0.3 เซนติเมตรและหลังอบ 0.5 เซนติเมตรในเตาอบไฟฟ้า

2 วิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยการนำตัวอย่างก้อนโด มาวัดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ด้วยวิธีมาตรฐาน AACC 2010 โดยวัดความสามารถในการขยายตัวของแป้ง (Kieffer dough-gluten extensibility rig) วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3.3.5 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งพิซซ่า นำพิซซ่าที่ผลิตจากแป้งถั่วแดงทดแทนแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ ในสัดส่วนต่างๆ มาทดสอบคุณภาพดังนี้

1) การวิเคราะห์ค่าสีโดยการนำตัวอย่างพิซซ่าที่ได้มาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี โดยจะทำการวัดค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง โดยใช้แผ่นสีมาตรฐานแล้วจึงนำมาวัดสีของตัวอย่าง ทำซ้ำ 3 ครั้งสำหรับแต่ละตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ย

$L^*$ ค่าความสว่าง	โดย 0 = สีดำ	100 = สีขาว
$a^*$ ค่าสีแดงและสีเขียว	ค่า $a^*$ เป็นบวก = สีแดง	ค่า $a^*$ เป็นลบ = สีเขียว
$b^*$ ค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน	ค่า $b^*$ เป็นบวก = สีเหลือง	ค่า $b^*$ เป็นลบ = สีน้ำเงิน

2) การวิเคราะห์ด้านคุณลักษณะเนื้อสัมผัส

โดยการนำตัวอย่างพิซซ่าได้มาทำการตัดให้มีขนาดที่เท่ากัน แล้วนำไปวัดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ด้วยวิธีมาตรฐาน AACC 2010 โดยวัด TPA texture profile analysis วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

โดยทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 7-point hedonic scale จากผู้ทดสอบชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน และมีคุณลักษณะที่ทดสอบ คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส ความเหนียวนุ่มและความชอบโดยรวม เพื่อเลือกสูตรที่เป็นที่ยอมรับ

### 3.3.4 การวางแผนการทดลอง แบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

โดยนำข้อมูลที่ได้รับมาวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสถิติโดยใช้ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของแป้งจากถั่วแดงหลวง

จากการศึกษาการนำถั่วแดงหลวงมาทำเป็นแป้งโดยการเตรียมแป้งจะใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก Kongchaleam และ Puechkamut (2012) ถั่วแดงหลวงนำมาล้างทำความสะอาด คัดแยกเมล็ดเสีย นำเมล็ดถั่วแดงที่ได้มาแช่น้ำนาน 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในอัตราส่วนถั่วแดงต่อน้ำกลั่น เท่ากับ 1:4 กรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นแยกถั่วแดงหลวงที่อิมตัวด้วยน้ำออกจากน้ำแช่ก่อนนำมาปั่นที่ความเร็วระดับ 1 ด้วยเครื่องปั่น (blender) เป็นเวลา 10 วินาทีก่อนนำไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer) โดยวางถั่วบนถาดตะแกรงเล็กขนาด 20.5x15 เซนติเมตร แต่ละถาดใส่ถั่วแดงหนัก 150 กรัม ใช้ทัพพีเกลี่ยให้เต็มพื้นที่ตะแกรงหนา 0.5 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง จนถั่วแดงมีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นนำถั่วแดงแห้งที่ได้มาบดหยาบด้วยเครื่องบดแบบหยาบ (hammer mill) แล้วจึงนำแป้งถั่วแดงที่ผ่านการบดหยาบไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) ด้วย sieve ขนาด 0.25 มิลลิเมตร ความเร็วหน้าเครื่องตั้งเป็น 10000 แป้งถั่วแดงทั้งเมล็ดที่ได้นำไปบรรจุในถุงพอลิเอทิลีนปิดสนิท ลักษณะของแป้งถั่วแดงที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดแป้งสีขาวผสมกับสีแดงแสดงดังภาพที่ 4.1 เนื่องจากเป็นการนำถั่วแดงหลวงทั้งเมล็ดมาทำเป็นแป้งไม่ได้มีการลอกเปลือกออก



ภาพที่ 4.1 แป้งถั่วแดงหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 ผลของค่าสีของแป้งถั่วแดงหลวง

จากการทดลองการตรวจหาค่าสีของแป้งจากถั่วแดงหลวงด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น C 400 โดยใช้ระบบ CIE L\* (ค่าความสว่าง) a\* (ค่าสีแดง) b\* (ค่าสีเหลือง) แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าแป้งจากถั่วแดงหลวงมีค่าความสว่างเท่ากับ  $62.39 \pm 1.38$  ค่าสีแดงเท่ากับ  $2.61 \pm 0.09$  และค่าสีเหลืองเท่ากับ  $6.10 \pm 0.20$

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งถั่วแดงหลวง

	L*	a*	b*
แป้งถั่วแดงหลวง	$62.39 \pm 1.38$	$2.61 \pm 0.09$	$6.10 \pm 0.20$

#### 4.1.2 ผลของค่าดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งถั่วแดงหลวงเทียบกับแป้งข้าวกล้อง

จากการทดลองการตรวจหาค่าการดูดซับน้ำ (WAC) และการดูดซับน้ำมัน (OAC) ของแป้งถั่วแดงหลวงเปรียบเทียบกับแป้งข้าวกล้อง แสดงดังตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบผลของค่าดูดซับน้ำของแป้งถั่วแดงหลวงและแป้งข้าวกล้อง พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งถั่วแดงหลวงและแป้งข้าวกล้องแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งถั่วแดงหลวงอยู่ที่  $2.00 \pm 0.07$  ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าแป้งข้าวกล้องที่ความสามารถในการดูดซับน้ำอยู่ที่  $1.17 \pm 0.16$  การที่แป้งแป้งแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับน้ำที่ต่างกันนั้น เนื่องจากความแตกต่างของโครงสร้างโปรตีน (protein structure) และความแตกต่างของสายโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตที่ชอบน้ำ (hydrophilic carbohydrate) () จากการศึกษาของ sidqiq และคณะ (2010) ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งถั่วในตระกูล *Phasecolus vulgaris* L. มีค่าอยู่ระหว่าง 2.23 – 2.62 กรัมต่อกรัมของแป้ง (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งจากการทดลองนี้จะเห็นว่าค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งถั่วแดงหลวงที่ได้มีค่าน้อยกว่าทฤษฎี อาจจะเนื่องมาจากค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นมาของแป้งถั่วแดงหลวงที่เพิ่มขึ้นจาก 4% เป็น 6% ทำให้แป้งถั่วแดงมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อยลง เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมัน พบว่าค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันของแป้งถั่วแดงหลวงอยู่ที่  $1.41 \pm 0.03$  เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวกล้องมีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันอยู่ที่  $1.39 \pm 0.98$  พบว่าไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าดูดซับน้ำและน้ำมันของแป้งถั่วแดงหลวง

พารามิเตอร์	แป้งถั่วแดงหลวง	แป้งข้าวกล้อง <sup>1</sup>
ความสามารถในการดูดซับน้ำ (g/g)	2.00 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.17 ± 0.16 <sup>b</sup>
ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (g/g)	1.41 ± 0.03 <sup>ns</sup>	1.39 ± 0.98 <sup>ns</sup>

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ที่มา : <sup>1</sup> Oppong และคณะ (2021)

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งจากถั่วแดงหลวง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วแดงเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลัง (ตารางที่ 4.3) พบว่าแป้งถั่วแดงหลวงมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด ( $6.24 \pm 0.39$ ) เมื่อเทียบกับแป้งอีกสามชนิด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีน พบว่าแป้งถั่วแดงหลวงมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด ( $19.55 \pm 0.28$ ) รองลงมาคือ แป้งข้าวกล้อง ( $8.39 \pm 0.02$ ) และแป้งข้าวเจ้า ( $6.57 \pm 0.00$ ) ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด ( $0.11 \pm 0.00$ ) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) สำหรับปริมาณไขมันพบว่าแป้งข้าวกล้องมีปริมาณไขมันมากที่สุด ( $4.07 \pm 0.02$ ) รองลงมาคือแป้งถั่วแดง ( $1.73 \pm 0.05$ ) และแป้งข้าวเจ้า ( $0.55 \pm 0.00$ ) ส่วนแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณไขมันน้อยที่สุด ( $0.09 \pm 0.00$ ) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วแดงหลวงสอดคล้องกับผลการศึกษาของ sididiq และคณะ (2010) คือถั่วแดงจัดอยู่ในกลุ่มของถั่วที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก มีโปรตีนสูง และมีไขมันต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณใยอาหารพบว่าแป้งถั่วแดงหลวงมีปริมาณใยอาหารสูงที่สุด ( $4.49 \pm 0.28$ ) และแตกต่างจากแป้งทั้งสามชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบว่าแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด ( $87.42 \pm 0.00$ ) รองลงมาคือแป้งข้าวเจ้า ( $81.61 \pm 0.00$ ) แป้งข้าวกล้อง ( $72.7 \pm 0.00$ ) และแป้งถั่วแดงหลวง ( $64.17 \pm 0.46$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วแดงหลวงเปรียบเทียบกับ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งถั่วแดงหลวง	แป้งข้าวเจ้า <sup>1</sup>	แป้งข้าวกล้อง <sup>2</sup>	แป้งมันสำปะหลัง <sup>3</sup>
ความชื้น (%)	6.24 ± 0.39 <sup>d</sup>	10.10 ± 0.00 <sup>c</sup>	12.00 ± 0.10 <sup>a</sup>	11.1 ± 0.00 <sup>b</sup>
เถ้า (%)	3.93 ± 0.29 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.00 <sup>c</sup>	1.56 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>d</sup>
ไขมัน (%)	1.73 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.00 <sup>c</sup>	4.07 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>d</sup>
โปรตีน (%)	19.55 ± 0.28 <sup>a</sup>	6.57 ± 0.00 <sup>c</sup>	8.39 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>d</sup>
ใยอาหาร (%)	4.49 ± 0.28 <sup>a</sup>	0.8 ± 0.00 <sup>d</sup>	1.28 ± 0.01 <sup>bc</sup>	1.2 ± 0.00 <sup>bc</sup>
คาร์โบไฮเดรต (%)	64.17 ± 0.46 <sup>d</sup>	81.61 ± 0.00 <sup>b</sup>	72.7 ± 0.00 <sup>c</sup>	87.42 ± 0.00 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่กำกับค่าต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ที่มา : <sup>1,3</sup> สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (2561) และ 2 ชูติมา และคณะ (มปป.)

### 4.3 ผลของการทดแทนแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งถั่วแดงหลวงต่อคุณภาพของพืชข้า

#### 4.3.1 ผลของการทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงหลวงในอัตราส่วนต่าง ๆ ต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งผสม

ผลของการศึกษาสมบัติด้านความหนืดของแป้ง เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพของสารละลายน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อน (จารุวรรณ และคณะ 2555) โดยนำแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วแดงหลวงในอัตราส่วนต่าง ๆ มาผสมกับน้ำแล้วทำการวัดด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph จนถึงอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) โดยมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาเพื่อให้เข้าใจในการทำงานและสามารถคาดการณ์คุณภาพของแป้งในระบบอาหาร ได้แก่ อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด (Breakdown Viscosity, BDV) ค่าความหนืดคืนตัว (Setback Viscosity, SBV) และค่าความหนืดสุดท้าย (Final Viscosity, FV) (ปริญญา และคณะ, 2565)

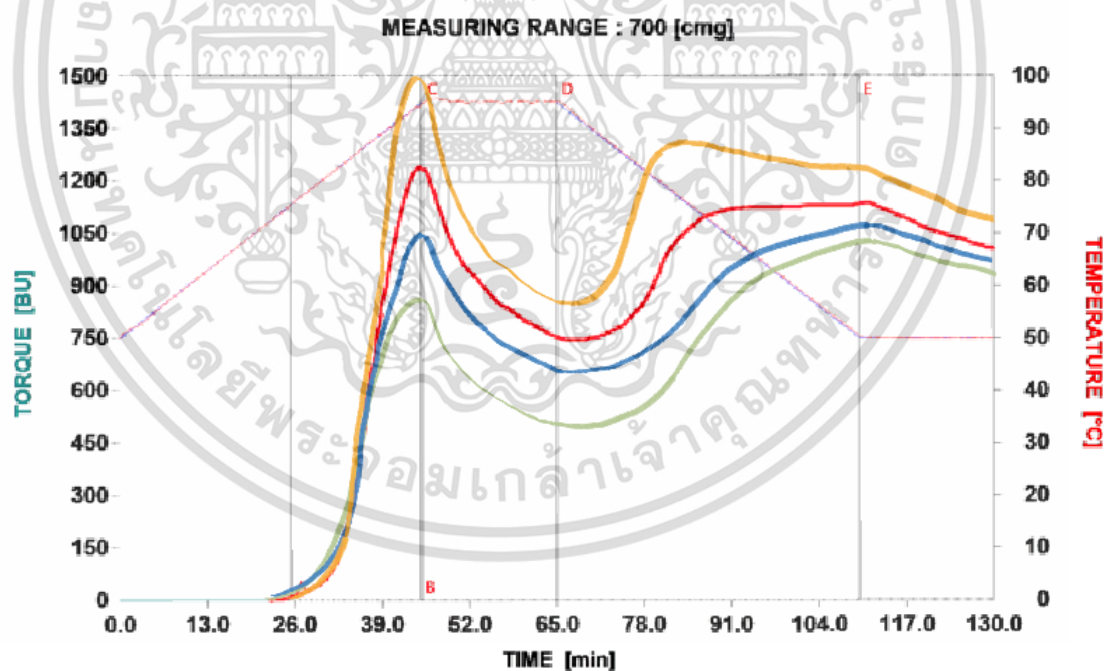
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Brabender Viscoamylograph ของแป้งผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ

พารามิเตอร์	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (10%)	สูตรที่ 2 (20%)	สูตรที่ 3 (30%)
PT (C°)	75.1 <sup>a</sup>	75.4 <sup>a</sup>	75.2 <sup>a</sup>	73.9 <sup>b</sup>
PV (BU)	1490 <sup>a</sup>	1240 <sup>b</sup>	1040 <sup>c</sup>	860 <sup>d</sup>
BDV (BU)	643 <sup>a</sup>	491 <sup>b</sup>	389 <sup>c</sup>	363 <sup>d</sup>
SBV (BU)	390 <sup>d</sup>	387 <sup>c</sup>	414 <sup>b</sup>	532 <sup>a</sup>
FV (BU)	1089 <sup>a</sup>	1001 <sup>b</sup>	967 <sup>c</sup>	936 <sup>d</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

PT; Pasting temperature, PV; Peak viscosity, BDV; Breakdown viscosity, SBV; Setback viscosity, FV; Final viscosity, สูตรควบคุม; แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลัง สูตรที่ 1,2 และ 3 ผสมแป้งผสมและแป้งถั่วแดงหลวง 10% 20% และ 30% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 ลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ทั้ง 4 สูตร

(สีเหลือง) สูตรควบคุม, (สีแดง) สูตรที่ 1, (สีน้ำเงิน) สูตรที่ 2, (สีเขียว) สูตรที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลของคุณสมบัติความหนืดของแป้งผสมทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แป้งสูตรควบคุม (แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลัง) และแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังที่มีการทดแทนด้วยแป้งถั่วแดงหลวงในอัตราส่วนที่ต่างกัน (10, 20 และ 30%) พบว่า Pasting temperature (PT) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งผสมที่ได้รับความร้อนจะบอถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่จำเป็นสำหรับการเกิดเจลลาติโนส (ปริญา และคณะ, 2565 อ้างอิง Eriksson และคณะ, 2014) พบว่าอุณหภูมิที่ส่งผลทำให้แป้งทั้ง 3 สูตรเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) แต่สูตรที่มีแป้งถั่วแดงหลวงทดแทนที่ 30% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดหรือการเกิดเจลลาติโนสของแป้งทั้ง 3 สูตรอยู่ในช่วง 75.1 – 75.4 °C ซึ่งความหนืดถือเป็นสมบัติของแป้ง ความแตกต่างของความหนืดบอถึงความสามารถในการทนความร้อน ความสามารถในการจับน้ำของแป้งหรือส่วนผสม และบอถึงแรงหนืดที่ต้องใช้ในการกวนหรือให้ความร้อน (จารุวรรณ และคณะ 2555)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งเม็ดแป้งจะขยายตัวและดูดซึมน้ำพองตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณน้ำรอบเม็ดแป้งน้อยลงทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก ซึ่งส่งผลให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้นเร็วมากจนถึงความหนืดสูงสุด ที่เรียกว่า Peak viscosity (PV) ซึ่งเป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ (ปริญา และคณะ, 2565 อ้างอิง จารุวรรณ และคณะ 2555) พบว่าแป้งสูตรควบคุมมีค่าความหนืดสูงสุด (1490 BU) รองลงมาคือแป้งสูตร 10% (1240 BU), 20% (1040 BU) และ 30% (860 BU) ซึ่งจะพบว่าแป้งถั่วแดงหลวงมีรูปแบบความหนืดแบบ c คือ กราฟจากเม็ดแป้งที่มีกำลังพองตัวน้อย (restricted- swelling starches) เมื่อแทนที่แป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดงหลวงลักษณะยอดสูงของกราฟจะลดลง แสดงดังภาพที่ 4.2

#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพก่อนโตะของพิชซ่าปราศจากกลูเตนจากการทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งถั่วแดงหลวง

ในการทดลองใช้แป้งถั่วแดงในการทำพิชซ่าปราศจากกลูเตนโดยใช้แป้งถั่วแดงหลวงทดแทนแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่สูตรควบคุม เป็นแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลัง สูตรทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดงหลวงที่ 10, 20 และ 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ก้อนโดของพิซซ่าปราศจากกลูเตนสูตรต่างๆ หลังจากการปมที่อุณหภูมิห้อง 50 นาที

(A) สูตรควบคุม (B) สูตรทดแทน 10% (C) สูตรทดแทน 20% (D) สูตรทดแทน 30%

#### 4.3.2.1 ผลการตรวจวัดค่าสีก้อนโดของพิซซ่าปราศจากกลูเตนด้วยเครื่องวัดค่าสี Chromameter รุ่น CR-400

จากการตรวจวัดค่าสีก้อนโดของพิซซ่าปราศจากกลูเตน แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าสูตรควบคุมมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สูงที่สุด รองลงมาคือสูตร 10, 20, 30% ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดงหลวง ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งถั่วแดงทดแทนมากขึ้น

ตารางที่ 4.5 ค่าสีก้อนโดของพิซซ่าปราศจากกลูเตนที่ทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดง

พารามิเตอร์	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (10%)	สูตรที่ 2 (20%)	สูตรที่ 3 (30%)
$L^*$	84.82 <sup>a</sup>	77.29 <sup>b</sup>	71.94 <sup>c</sup>	69.70 <sup>d</sup>
$a^*$	0.43 <sup>d</sup>	3.70 <sup>c</sup>	5.54 <sup>b</sup>	7.37 <sup>a</sup>
$b^*$	10.32 <sup>d</sup>	10.46 <sup>c</sup>	10.58 <sup>b</sup>	11.23 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สูตรควบคุม; แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลัง สูตรที่ 1, 2 และ 3 ผสมแป้งผสมและแป้งถั่วแดงหลวง 10% 20% และ 30% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2.2 การวิเคราะห์ด้านคุณลักษณะเนื้อสัมผัสก่อนโดของพิซซาปราศจากกลูเตน

ตารางที่ 4.6 ค่าความสามารถในการขยายตัวของแป้ง (Kieffer dough-gluten extensibility rig)

พารามิเตอร์	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (10%)	สูตรที่ 2 (20%)	สูตรที่ 3 (30%)
Resistance to extension (g)	18.3 <sup>c</sup>	16.2 <sup>d</sup>	22.8 <sup>b</sup>	27.4 <sup>a</sup>
Extensibility (mm)	-7.3 <sup>c</sup>	-5.5 <sup>a</sup>	-6.5 <sup>b</sup>	-8.4 <sup>d</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองในการวัดค่าความสามารถในการขยายตัวของแป้งพบว่าเมื่อแทนที่แป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดงหลวงจะทำให้แนวโน้มค่าแรงต้านทานในการดึง (Resistance to extension) สูงขึ้น โดยสูตรที่มากที่สุดคือสูตรที่แทนที่ด้วยแป้งถั่วแดง 30% (27.4) รองลงมาคือ 20% (22.8) และ สูตรควบคุม (18.3) และสูตร 10% มีค่าน้อยที่สุด (16.2) และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของพิซซาปราศจากกลูเตนจากการทดแทนด้วยข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งถั่วแดงหลวง

##### 4.3.3.1 ผลการตรวจวัดค่าสีของพิซซาปราศจากกลูเตนด้วยเครื่องวัดค่าสี Chromameter รุ่น CR-400

จากการตรวจวัดค่าสีของพิซซาปราศจากกลูเตน แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของพิซซาทั้ง 4 สูตรหลังจากการอบมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบจะมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ในระหว่างการอบ

และเมื่อพิจารณาค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของพิซซาปราศจากกลูเตนจากแป้งถั่วแดงหลวง พบว่าจะมีค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการอบที่ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล จึงส่งผลให้พิซซามีค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าสีของพืชชำปราศจากกลูเตนที่ทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดง

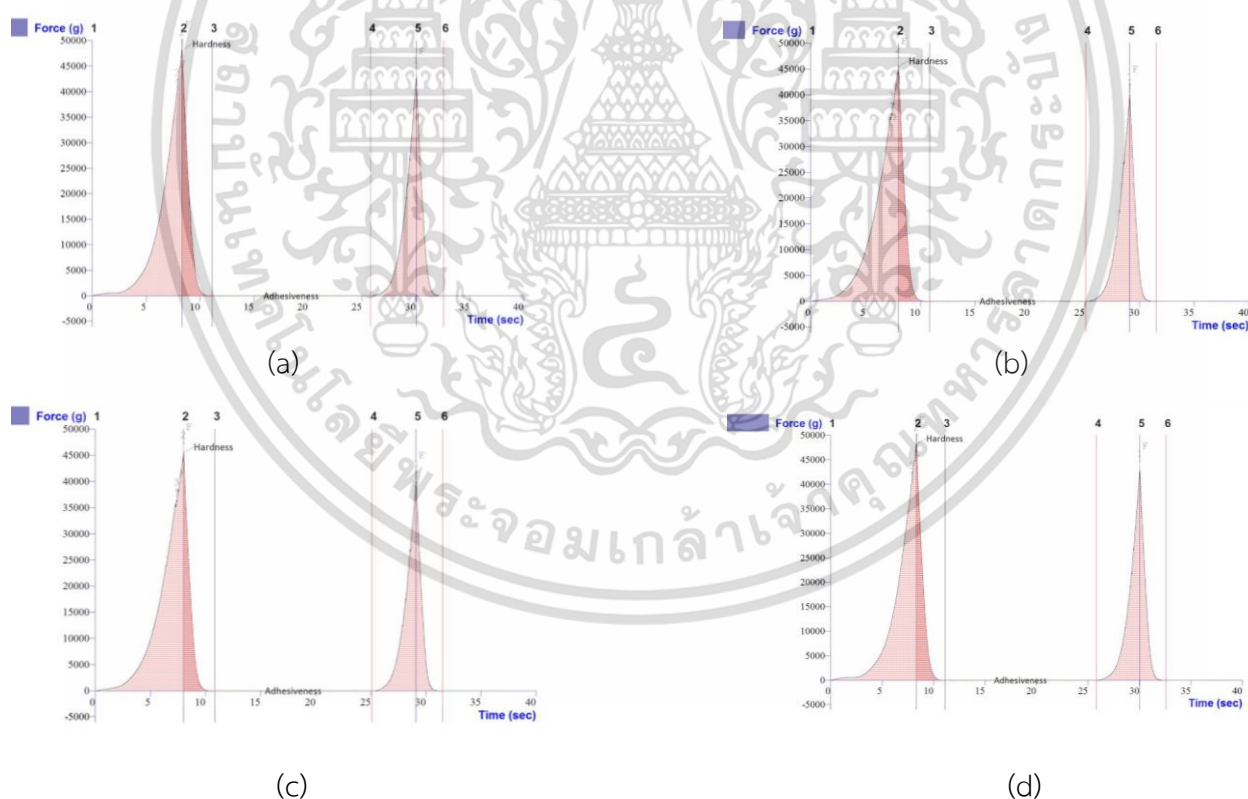
พารามิเตอร์	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (10%)	สูตรที่ 2 (20%)	สูตรที่ 3 (30%)
L*	74.62 <sup>a</sup>	60.43 <sup>b</sup>	58.75 <sup>c</sup>	52.40 <sup>d</sup>
a*	0.82 <sup>a</sup>	5.85 <sup>b</sup>	8.26 <sup>c</sup>	10.27 <sup>d</sup>
b*	17.67 <sup>a</sup>	17.12 <sup>b</sup>	16.50 <sup>c</sup>	15.32 <sup>d</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สูตรควบคุม; แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง และแป้งมันสำปะหลัง สูตรที่ 1, 2 และ 3 ผสมแป้งผสม และแป้งถั่วแดงหลวง 10% 20% และ 30% ตามลำดับ

#### 4.3.3.2 การวิเคราะห์ด้านคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของพืชชำปราศจากกลูเตน

จากการทดลองการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) โดยวัด TPA texture profile analysis เป็นการจำลองการใช้ฟันในการบดอาหาร แสดงดังภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.8



ภาพที่ 4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของพืชชำปราศจากกลูเตนจากการวัดด้วย TPA

โดยที่ (a) คือสูตรควบคุม และสูตรที่แทนที่แป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดงหลวงอัตราส่วน (b) 10%, (c) 20%, (d) 30% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าการตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของพิซซาปราศจากกลูเตนที่ทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดง

พารามิเตอร์	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (10%)	สูตรที่ 2 (20%)	สูตรที่ 3 (30%)
Hardness	44573.54 <sup>d</sup>	46899.05 <sup>c</sup>	54728.43 <sup>b</sup>	57093.87 <sup>a</sup>
Springiness	0.21 <sup>d</sup>	0.50 <sup>c</sup>	0.63 <sup>b</sup>	0.60 <sup>a</sup>
Chewiness	11530.663 <sup>d</sup>	12884.61 <sup>c</sup>	20652.14 <sup>b</sup>	20480.30 <sup>a</sup>
Gumminess	-	25631.50 <sup>b</sup>	32408.14 <sup>a</sup>	20480.30 <sup>c</sup>
Cohesiveness	0.64 <sup>a</sup>	0.55 <sup>c</sup>	0.59 <sup>b</sup>	0.60 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับค่าต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของพิซซาปราศจากกลูเตนเหลือทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วแดงหลวงค่า Hardness แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก, Springiness ค่าความยืดหยุ่นของอาหารเมื่อออกแรงกดแล้วคืนรูปได้, Chewiness ความต้านทานในการเคี้ยว, Gumminess ค่าความเหนียวเป็นยาง, มีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของการเพิ่มปริมาณแป้งถั่วแดง เนื่องจากแป้งถั่วแดงหลวงมีปริมาณใยอาหารที่สูง

#### 4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส ความเหนียวนุ่ม และความชอบโดยรวมของพิซซาปราศจากกลูเตนจากแป้งถั่วแดงหลวง โดยทำการทดสอบทั้งหมด 4 สูตร โดยมีพิซซาที่ทำจากแป้งผสมคือแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง แป้งมันสำปะหลังเป็นสูตรควบคุม และใช้แป้งถั่วแดงทดแทนแป้งผสมในปริมาณร้อยละ 10, 20, และ 30 ด้วยวิธี 7-point Hedonic scale โดยให้ 1= ไม่ชอบมากที่สุด และ 7=ชอบมากที่สุด ซึ่งให้ผู้ทดสอบชิม 30 คนเพื่อหาสูตรที่ดีที่สุดในการนำไปศึกษาต่อไป

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าพิซซาปราศจากกลูเตนจากแป้งถั่วแดงหลวงทุกสูตรได้รับคะแนนทดสอบทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส ความเหนียวนุ่ม และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีคะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับปานกลางดังนั้นถ้าจะนำไปศึกษาต่อควรเลือกพิซซาปราศจากกลูเตนที่ใช้แป้งถั่วแดงทดแทนร้อยละ 30 ไปศึกษาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของพิซซ่าปราศจากกลูเตนที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดง

การทดสอบ	คะแนนความชอบ			
	สูตรควบคุม	สูตรที่ 1 (10%)	สูตรที่ 2 (20%)	สูตรที่ 3 (30%)
ลักษณะปรากฏ	5.40 ± 1.11 <sup>ns</sup>	5.40 ± 1.05 <sup>ns</sup>	5.53 ± 0.99 <sup>ns</sup>	5.70 ± 1.00 <sup>ns</sup>
สี	5.37 ± 1.20 <sup>ns</sup>	5.20 ± 0.98 <sup>ns</sup>	5.53 ± 1.20 <sup>ns</sup>	5.40 ± 1.23 <sup>ns</sup>
กลิ่น	5.17 ± 1.21 <sup>ns</sup>	5.70 ± 0.97 <sup>ns</sup>	5.53 ± 1.02 <sup>ns</sup>	5.47 ± 0.99 <sup>ns</sup>
รสชาติ	4.93 ± 1.36 <sup>ns</sup>	5.53 ± 1.20 <sup>ns</sup>	5.43 ± 1.36 <sup>ns</sup>	5.57 ± 1.09 <sup>ns</sup>
เนื้อสัมผัส	4.63 ± 1.33 <sup>ns</sup>	5.17 ± 1.42 <sup>ns</sup>	5.13 ± 1.43 <sup>ns</sup>	5.23 ± 1.36 <sup>ns</sup>
ความเหนียวนุ่ม	4.47 ± 1.54 <sup>ns</sup>	4.97 ± 1.33 <sup>ns</sup>	5.00 ± 1.37 <sup>ns</sup>	4.67 ± 1.32 <sup>ns</sup>
คะแนนความชอบรวม	4.97 ± 1.14 <sup>ns</sup>	5.30 ± 1.24 <sup>ns</sup>	5.47 ± 1.31 <sup>ns</sup>	5.37 ± 1.11 <sup>ns</sup>

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับต่างกันในแต่ละแถวแสดงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการนำถั่วแดงหลวงมาทำแป้งถั่วแดงจะมีค่าความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน ไฟเบอร์และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 6.24, 3.93, 19.55, 1.73, 4.49, 64.17 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าแป้งถั่วแดงหลวงมีค่าการดูดซับน้ำและน้ำมันอยู่ที่ 2.0 และ 1.17 ตามลำดับ การศึกษาค่าสีของก้อนโตของพิชซ่าเมื่อนำแป้งถั่วแดงหลวงไปแทนที่แป้งผสมที่มีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวกล้อง แป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าความสว่างของก้อนโตลดลงแต่ค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น และเมื่อนำพิชซ่าไปอบให้ความร้อนพบว่าค่าความสว่างลดลงเนื่องจากปฏิกิริยามิลลาร์ด จากผลคุณสมบัติด้านความหนืด (Pasting properties) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วแดงหลวงทำให้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของสูตรควบคุม 10% และ 20% มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) แต่อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของสูตรที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วแดง 30% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และคุณสมบัติด้านความหนืดอื่น ๆ ของแป้งลดลงเมื่อปริมาณแป้งถั่วแดงในแป้งผสมเพิ่มมากขึ้น จากการทดสอบค่าความสามารถในการขยายตัวของแป้งพบว่าเมื่อแทนที่แป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดงหลวง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วแดงจะทำให้มีความต้านทานในการดึงเพิ่มมากขึ้น จากการการตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของพิชซ่าปราศจากกลูเตนที่ทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดง พบว่าค่า Hardness, Springiness, Chewiness, และ Gumminess มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมแป้งถั่วแดงหลวง และการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของของพิชซ่าปราศจากกลูเตนที่ทดแทนแป้งผสมด้วยแป้งถั่วแดง พบว่าความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อพิชซ่าปราศจากกลูเตนทั้ง 4 สูตรในทุก ๆ ด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บรรณานุกรม

- กัญญาภรณ์ วงษ์สวัสดิ์ และผกาวดี สุขอิม. 2560. การคัดเลือกยีสต์ที่เหมาะสมในการทำพิซซ่าซาร์โคล และศึกษาเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสของพิซซ่าซาร์โคล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://opacimages.lib.kmitl.ac.th/medias/pdf/09024941.pdf>  
8 พฤศจิกายน 2565
- กุลยา ลีมรุ่งเรืองรัตน์, อโนชา สุขสมบูรณ์ และอภัสรา แสงนาค. 2560. การพัฒนาผลิตภัณฑ์พาสต้าข้าวเจ้าเพื่อสุขภาพเสริมแป้งถั่ว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [https://dspace.lib.buu.ac.th/bitstream/1234567890/3476/3/2562\\_021.pdf](https://dspace.lib.buu.ac.th/bitstream/1234567890/3476/3/2562_021.pdf)  
4 พฤศจิกายน 2565
- จิรนาถ ทิพย์รักษา และสุภัทธร นุดวงแก้ว. 2552. พาสต้าเสริมเส้นใยจากแป้งถั่วแดงหลวง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [file:///C:/Users/warunrat%20klaarsa/Downloads/tci\\_admin,+Journal+manager,+7-j4-full-16-22%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/warunrat%20klaarsa/Downloads/tci_admin,+Journal+manager,+7-j4-full-16-22%20(1).pdf). 4 พฤศจิกายน 2565
- ปริญญา แห้วทรัพย์, ปิญาพร สุขเกตุ และสิริญาพร กวางอุเสน. 2565. สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากกากมะพร้าวสกัดไขมันและการใช้ประโยชน์ในการผลิตเค้กปราศจากกลูเตน. ปัญหาพิเศษ. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. คณะอุตสาหกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มะลิวรรณ อุดทะยอต. 2557. ผลการใช้แป้งถั่วแดงทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของขนมปังแซนด์วิช. วิทยานิพนธ์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร. คณะอุตสาหกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ยุพร พิชกมฺุทร และโสธยา เกิดพิบูลย์. 2556. การศึกษาสมบัติของแป้งที่ผลิตจากถั่วแดงในประเทศไทย และศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์. โครงการวิจัย. คณะอุตสาหกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2556. โรคแพ้กลูเตนและความสำคัญของอาหารปราศจากกลูเตน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [https://hectortarr.arda.or.th/api/uploaded\\_file/seN1QJETyU0Oeq0rS6aCJ](https://hectortarr.arda.or.th/api/uploaded_file/seN1QJETyU0Oeq0rS6aCJ).  
4 พฤศจิกายน 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2561. ถั่วแดงหลวงเมล็ดแห้ง ดิบ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

[https://inmu2.mahidol.ac.th/thaifcd/search\\_food\\_by\\_name\\_result.php?food\\_id=324&rk=#.18 พฤศจิกายน 2565](https://inmu2.mahidol.ac.th/thaifcd/search_food_by_name_result.php?food_id=324&rk=#.18 พฤศจิกายน 2565)

สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2561. แป้งข้าวเจ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

[https://inmu2.mahidol.ac.th/thaifcd/search\\_food\\_by\\_name\\_result.php?food\\_id=187&rk=.5 เมษายน 2566](https://inmu2.mahidol.ac.th/thaifcd/search_food_by_name_result.php?food_id=187&rk=.5 เมษายน 2566)

สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2561. แป้งมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

[https://inmu2.mahidol.ac.th/thaifcd/search\\_food\\_by\\_name\\_result.php?food\\_id=1934&rk.5 เมษายน 2566](https://inmu2.mahidol.ac.th/thaifcd/search_food_by_name_result.php?food_id=1934&rk.5 เมษายน 2566)

หรรษา เวียงวะลัย ,กานติมา ภูวงษ์. 2561. ผลของแป้งถั่วแดงที่ทดแทนแป้งสาลีต่อสมบัติทางเคมี ภายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหมั่นโถว. [ออนไลน์].

เข้าถึงได้จาก : <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/view/139825/103726>.

4 พฤศจิกายน 2565

Ertas, N. (2021). Improving the cake quality by using red kidney bean applied different traditional processing methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6), e15527.

Oppong, David, Worawan Panpipat, and Manat Chaijan. "Chemical, physical, and functional properties of Thai indigenous brown rice flours." *Plos one* 16.8 (2021): e0255694.

Schouten, M. A., Frygas, C., Tappi, S., Romani, S., & Fogliano, V. (2022). The use of bean flour with intact cell walls reduces the formation of acrylamide in biscuits. *Food Control*, 140, 109054.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก

#### การเตรียมสารเคมี

##### ก.1 กรดซัลฟูริก (sulphuric acid) 1.25%

1. เทกรดซัลฟูริกเข้มข้น 7.11 มิลลิลิตร ลงน้ำกลั่น (ทำในตู้ดูดควันตลอดการเตรียมสาร)
2. ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร
3. เทกรดซัลฟูริก 1.25% ลงในขวดแก้วสีชาและเก็บไว้ใช้ในการทดลอง

##### ก.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ชนิด com grade 1.25%

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิด com grade 12.5 กรัม
2. เทโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงน้ำกลั่น 1 ลิตรที่เตรียมไว้ (ทำในตู้ดูดควันตลอดการเตรียมสาร)
3. ใช้แท่งแก้วคนสาร คนให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด
4. เทเก็บไว้ในขวดและเก็บไว้ใช้ในการทดลอง

##### ก.3 mixed catalyst

1. ชั่งcopper(III) sulfate 10 กรัม ผสมกับpotassium sulfate 100 กรัม
2. นำ mixed catalyst ที่ผสมได้ไปเก็บใส่ไว้ในโหลแก้วและเก็บไว้ใช้ในการทดลอง

##### ก.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ชนิด com grade 15%

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิด com grade 210 กรัม
2. เทโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงน้ำกลั่น 1400 มิลลิลิตรที่เตรียมไว้ (ทำในตู้ดูดควันตลอดการเตรียมสาร)
3. ใช้แท่งแก้วคนสารคนให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมดในขณะที่ละลายผงโซเดียมไฮดรอกไซด์ต้องทำ

ารหล่อเย็นไปด้วยเนื่องจากปฏิกิริยาของเบสจะคายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. เทใส่ขวดสำหรับดักไอกรด

#### ก.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ชนิด com grade 40%

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิด com grade 800 กรัม
2. เทโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงน้ำกลั่น 2000 มิลลิลิตรที่เตรียมไว้ (ทำในตู้ดูดควันตลอดการเตรียมสาร)
3. ใช้แท่งแก้วคนสารคนให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมดในขณะที่ละลายผงโซเดียมไฮดรอกไซด์ต้องทำการหล่อเย็นไปด้วยเนื่องจากปฏิกิริยาของเบสจะคายความร้อน
4. เทใส่ถังสำหรับใช้ในการทดลอง

#### ก.6 กรดบอริก (boric acid) 4%

1. ชั่งกรดบอริก 20 กรัม เทผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร
2. พลิกขวดปรับปริมาตรไปมาเพื่อให้กรดบอริกละลายหมด
3. เก็บใส่ขวดแก้วสีชาและเก็บไว้ใช้ในการทดลอง

#### ก.7 เมทิลเรด (methyl red) 0.2%

1. ชั่งเมทิลเรด 0.2 กรัม
2. ละลายด้วยเอทานอล 95% 100 มิลลิลิตร
3. นำไปเก็บในขวดแก้วสีชาเพื่อใช้ในการทดลอง

#### ก.8 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) 0.1 N

1. นำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.6 มิลลิลิตร ปรับด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร
2. คนให้กรดละลายทั่วน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. เก็บใส่ขวดแก้วสีชาและเก็บไว้ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

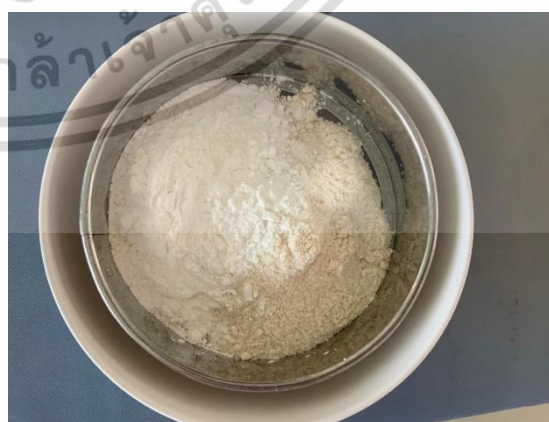
### ขั้นตอนการทำพิซซ่าปราศจากกลูเตน

#### ข.1 ขั้นตอนการทำพิซซ่าปราศจากกลูเตน

1. นำยีสต์ น้ำตาล น้ำมาผสมไว้ในถ้วยเป็นเวลา 40 นาทีเพื่อเตรียมสำหรับนำมาผสมกับส่วนผสมอื่นๆ



2. นำแป้งถั่วแดง แป้งข้าวกล้องหอมมะลิ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง เกลือ แชนแทนกัม ผงฟู ที่ซั่งน้ำหนักให้ได้อัตราส่วนตามสูตรมาร่อนในตะแกรงร่อนแป้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำยีสต์ที่เตรียมไว้จากข้อที่1 มาผสมกับส่วนผสมอื่นๆ ที่ร้อนเตรียมไว้ในกะละมังผสมจากข้อที่2 โดยต้องค่อยๆ ใส่ยีสต์ลงไปนในขามผสมทีละน้อย



4. นวดส่วนผสมให้เข้ากัน เมื่อส่วนผสมเริ่มเข้ากันแล้วให้เทน้ำมันที่ซึ่งน้ำหนักไว้ลงไปนวดผสมด้วย นวดเป็นเวลา 10 นาที

5. พักแป้งโดเป็นเวลา 50 นาทีโดยต้องใช้แรปใสปิดกะละมังผสมเพื่อไม่ให้มีอากาศเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6. นำแป้งโดออกมารีดให้เป็นแผ่นบางหนา 0.3 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 24.5 เซนติเมตร



7. ใช้ซ้อมลิ่มให้ทั่วแผ่นแป้งก่อนจะนำเข้าเตาอบ โดยอบไว้ที่เตาล่าง 7 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8. เมื่อครบ 7 นาทีให้นำพิซซ่าออกมาทาเนยและซอสให้ทั่วแผ่นแป้ง  
ใส่แฮมและชีสลงไปบนหน้าพิซซ่าก่อนจะนำพิซซ่าเข้าไปอบต่อที่เตาบนเป็นเวลา 8 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เมื่อครบเวลานำพิซซ่าออกมาตัดเป็นชิ้นๆ ขนาด 4x4 เซนติเมตร  
แล้วเตรียมเซิร์ฟสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## ตัวอย่างแบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

## ค.1 แบบสอบถามแบบ Hedonic scaling test

แบบสอบถามนี้ใช้ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ในการผลิตพืชชำปราศจากกลูเตนแป้งถั่วแดง

แบบบันทึกผลการทดสอบการให้คะแนนความชอบของพืชชำปราศจากกลูเตนแป้งถั่วแดง

กรุณากรอกข้อมูลให้ครบถ้วนและเขียนเครื่องหมาย X ในช่อง

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

เพศ:  ชาย  หญิง อายุ:  16-20 ปี  21-25 ปี 26-30 ปี  31-35 ปีคุณชอบรับประทานพืชชำหรือไม่?  ชอบ  ไม่ชอบคุณเคยรับประทานพืชชำปราศจากกลูเตนหรือไม่?  เคย  ไม่เคยคุณชอบรับประทานถั่วแดงหรือไม่?  ชอบ  ไม่ชอบคุณชอบรับประทานผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากถั่วแดงและแป้งถั่วแดงหรือไม่?  ชอบ  ไม่ชอบ

คำแนะนำ:

ทดสอบตัวอย่างอาหารแล้วให้คะแนนความชอบแต่ละคุณลักษณะของพืชชำปราศจากกลูเตนแป้งถั่วแดงตามคำอธิบายคะแนนต่อไปนี้ เขียนลงในตารางด้านล่างและกรณบบวนปาระหว่างตัวอย่าง

1 = ไม่พึงพอใจมาก    2 = ไม่พึงพอใจ    3 = ค่อนข้างไม่พึงพอใจ    4 = เฉยๆ    5 = ค่อนข้างพึงพอใจ    6 = พึงพอใจ    7 = พึงพอใจมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสอาหาร	คุณลักษณะอาหาร						
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความเหนียวนุ่ม	ความชอบรวม

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล                      พิชญาภา อัครเดชาโชติ

วัน เดือน ปี เกิด                03 พฤศจิกายน 2543

ประวัติการศึกษา                สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2566 วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล                      วรุณรัตน์ กล้าอาษา

วัน เดือน ปี เกิด                20 กุมภาพันธ์ 2544

ประวัติการศึกษา                สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2566 วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้