



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้ฟลาวร์จากข้าวและพืชตระกูลถั่วในการทำงานนมปังปราศจากกลูเตน
Utilization of rice flours and legumes flours in making gluten-free bread

นางนภัสรพี เหลืองสกุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้ฟลาวัวร์จากข้าวและพืชตระกูลถั่วในการทำขนมปังปราศจากกลูเตน
Utilization of rice flours and legumes flours in making gluten-free bread

นางนภัสรพี เหลืองสกุล

1269๗๗46

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การใช้ฟลาวัวร์จากข้าวและพืชตระกูลถั่วในการทำขนมปังปราศจากกลูเตน
แหล่งเงินทุน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่สนับสนุน 426,800 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2556 ถึง กันยายน 2557

หัวหน้าโครงการ ดร.นภัสรทิ เหลืองสกุล หน่วยงานต้นสังกัด คณะอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันผู้คนให้ความสนใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ปราศจากกลูเตนมากขึ้น และมีการศึกษามากมายที่ใช้วัตถุดิบปราศจากกลูเตนเพื่อทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการใช้ฟลาวัวร์ข้าว และฟลาวัวร์ถั่วในการทำขนมปังปราศจากกลูเตน ในการศึกษาขั้นแรก ขนมปัง 15 สูตรถูกเตรียมจากฟลาวัวร์ข้าว 3 ชนิด (ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี) และฟลาวัวร์ถั่ว 5 ชนิด (ถั่วแดงหลวง ถั่วเขียวผิวมัน ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วมะแฮะ และถั่วพุ่ม) ในอัตราส่วนการแทนที่แป้งสาลี 50% อัตราส่วนระหว่างฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วเป็น 1:1 จากผลการทดลองพบว่าขนมปังที่ผลิตจากฟลาวัวร์ถั่วแดงมีปริมาตรจำเพาะสูงที่สุด และมีค่า hardness ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ขนมปังที่ผลิตจากฟลาวัวร์ถั่วมะแฮะมีปริมาตรจำเพาะต่ำที่สุด ขนมปังที่ผลิตจากฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 มีความความแข็งต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับข้าวทั้ง 3 ชนิด ในขั้นตอนที่สองศึกษาการใช้สาร ไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด (Hydroxypropylmethylcellulose, HPMC และ xanthan gum) และสารอิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิด (Diacetyltartaric and fatty acid esters of glycerol, DATAM, Sodium stearoyl-2-lactylate, SSL และ Distilled monoglycerides, DMG) โดยคัดเลือกฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 และฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงจากขั้นตอนแรกมาศึกษาต่อ จากการศึกษาพบว่า xanthan gum ทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ HPMC ทำให้ขนมปังมีค่า hardness ต่ำ SSL เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่มีรสขม การหาสูตรที่เหมาะสมที่จะใช้ผลิตขนมปังปลอดกลูเตนโดยวิธีวิเคราะห์หาพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology, RSM) พบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ ใช้ปริมาณฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 23.67 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวง 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ xanthan gum 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ HPMC 0.5 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณ SSL 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

คำสำคัญ: ปราศจากกลูเตน ฟลาวัวร์ข้าว ฟลาวัวร์ถั่ว ไฮโดรคอลลอยด์ อิมัลซิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Utilization of rice flours and legumes flours in making gluten-free bread

Researcher: Dr. Naphatrapi Luangsakul

Faculty: Faculty of Agro-Industry

ABSTRACT

In the recent years, there has been growing interest in gluten-free bread products. There have been various ingredients in making gluten-free bread. The objective of this work is to study the characteristics of the bread made from rice and legume flours substituted to wheat flour in order to screen the rice and legume flours which are suitable for further study of making gluten-free bread. Fifteen bread recipes were prepared with three types of rice flours (Jasmine 105, Pathumthani 1, and Suphanburi) and five types of legume flours (Pigeon pea, Cowpea, Red kidney bean, Greengram and Blackgram) substituted to wheat flour 50% (w/w). The ratio of rice and legume flours was 1:1. Bread prepared with Red kidney bean flour provided the significantly highest specific volume, while bread with Pigeon pea provided the lowest specific volume. Jasmine 105 rice flour bread resulted in the lowest hardness bread crumb. The effect of two hydrocolloid (Hydroxypropylmethylcellulose, HPMC and xanthan gum) and three emulsifier (Diacetyltartaric and fatty acid esters of glycerol, DATAM, Sodium stearoyl-2-lactylate ,SSL and Distilled monoglycerides, DMG) on the quality of the bread was further studied. Xanthan gum provided the significantly highest specific volume. HPMC resulted in the softest bread crumb. SSL did not make bread with a bitter taste. The optimum formulation of gluten-free bread made from rice and legume flours by Response surface methodology, RSM was using Jasmine rice flour 16.97%, Red kidney bean flour 29.92%, water 80%, xanthan gum 2%, HPMC 0.5% and SSL 0.5% of total weight.

Keywords: Gluten-free, Rice flour, Legume flour, emulsifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุน งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2557 ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อการสนับสนุน โครงการวิจัยเรื่องการใช้ฟลาวัวร์จากข้าวและพืชตระกูลถั่วในการทำนมปังปราศจากกลูเตน

ดร. นภัทรพี เหลืองสกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

บทที่ 1 บทนำ

- | | | |
|-----|-----------------------------------|---|
| 1.1 | ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 | วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 2 |
| 1.3 | ขอบเขตของการศึกษา | 2 |
| 1.4 | วิธีการดำเนินการวิจัย | 4 |

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- | | | |
|---------|---|----|
| 2.1 | ข้าว | 3 |
| 2.2 | ถั่ว | 8 |
| 2.2.1 | ถั่วเขียว | 4 |
| 2.2.2 | ถั่วแดงหลวง | 5 |
| 2.2.3 | ถั่วมะแฮะ | 5 |
| 2.2.4 | ถั่วพุ่ม | 6 |
| 2.3 | กลูเตน | 6 |
| 2.3.1 | โรคมะเร็งแพ้กลูเตน (Celiac Disease) | 7 |
| 2.3.2 | การผลิตขนมปังด้วยวัตถุดิบชนิดอื่นที่ปราศจากกลูเตน | 8 |
| 2.3.3 | การใช้สารช่วยปรับปรุงคุณภาพขนมปังปราศจากกลูเตน | 10 |
| 2.3.3.1 | ไฮโดรคอลลอยด์ | 11 |
| 2.3.3.2 | อิมัลซิไฟเออร์ | 12 |
| 2.4 | การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง | 13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.1	วัตถุดิบ	17
3.2	เครื่องมือที่ใช้ผลิตฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่ว	17
3.3	เครื่องมือที่ใช้ผลิตขนมปัง	18
3.4	เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพขนมปัง	18
3.5	ส่วนผสมของขนมปัง	18
3.6	การเตรียมฟลาวัวร์ และการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟลาวัวร์	19
3.6.1	การเตรียมฟลาวัวร์จากข้าว	19
3.6.2	การเตรียมฟลาวัวร์จากถั่ว	19
3.6.3	การวิเคราะห์คุณสมบัติของฟลาวัวร์	19
3.7	การศึกษาผลของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วในการแทนที่แป้งสาลีส่วนหนึ่งเพื่อคัดเลือกชนิดของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นขนมปังปราศจากกลูเตน	20
3.7.1	ขั้นตอนการทำขนมปัง	21
3.7.2	วิเคราะห์คุณภาพของ โคและขนมปัง	22
3.7.2.1	การวิเคราะห์คุณภาพของ โค	22
3.7.2.2	การวิเคราะห์คุณภาพของขนมปัง	22
3.7.3	วิเคราะห์ผลทางสถิติ	23
3.8	ศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ และชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน	23
3.8.1	การวิเคราะห์คุณภาพของ โคและขนมปัง	24
3.8.2	วิเคราะห์ผลทางสถิติ	24
3.9	ศึกษาปริมาณข้าว ถั่ว ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.7 และศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ อิมัลซิไฟเออร์ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.8 ศึกษาปริมาณน้ำ โดยใช้วิธีวิเคราะห์หาพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology ; RSM) เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมในการทำขนมปังปราศจากกลูเตน	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ลักษณะของฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ถั่ว ปริมาณอะมิโลส และปริมาณสารอาหาร	27
4.1.1 ลักษณะของฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ถั่ว	27
4.1.2 ปริมาณอะมิโลส	28
4.1.3 ปริมาณสารอาหาร (proximate analysis) ในฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ถั่ว	28
4.2 ผลของฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ถั่วในการแทนที่แป้งสาลีส่วนหนึ่งเพื่อคัดเลือกชนิดของฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ถั่วที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นขนมปังปลอดกลูเตนต่อไป	29
4.2.1 คุณภาพของโด	29
4.2.1.1 ความยืดหยุ่นของโด	29
4.2.1.2 ความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2	30
4.2.2 คุณภาพของขนมปัง	31
4.2.2.1 ปริมาตรขนมปัง	31
4.2.2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังวันที่ 0	32
4.2.2.3 ลักษณะความเป็นรูพรุนของเนื้อขนมปัง	33
4.2.2.4 อายุการเก็บ	35
4.2.2.5 ลักษณะปรากฏของขนมปัง	37
4.3 ผลของการศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ และชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์	39
4.3.1 ลักษณะของโดขนมปังหลังสิ้นสุดการขึ้นตอนการผสม	39
4.3.2 ความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2	41
4.3.3 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง	42
4.3.4 เนื้อสัมผัสของขนมปังที่เวลา 0 วัน	43
4.3.5 ลักษณะความเป็นรูพรุนของเนื้อขนมปัง	45
4.3.5 ลักษณะทางกายภาพของขนมปัง	48
4.4 ศึกษาปริมาณข้าว ถั่ว ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.7 และศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ อิมัลซิไฟเออร์ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.8 ศึกษาปริมาณน้ำ โดยใช้วิธีวิเคราะห์หาพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology ; RSM) เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมในการทำขนมปังปราศจากกลูเตน	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ และ ปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปัง	51
4.4.1.1 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง	51
4.4.1.2 ค่า hardness	
4.4.2 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี	61
ภาคผนวก ข ผลงานที่ตีพิมพ์	64
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างพืชชนิดต่างๆที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังปลอดกลูเตน	9
3.1 อัตราส่วนผสมต่างๆที่ใช้ในการทำขนมปัง	21
3.2 การวางแผนการทดลองแบบ box-behnken	26
4.1 ปริมาณอะมิโลสของฟลาวัวร์ข้าวและถั่วชนิดต่างๆ	28
4.2 ร้อยละของปริมาณสารอาหาร(proximate analysis)ของฟลาวัวร์ข้าวและถั่วชนิดต่างๆ	29
4.3 ค่าความยืดหยุ่นของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 1	30
4.4 ความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2	30
4.5 ปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูตรต่างๆ	31
4.6 ค่า hardness ของเนื้อขนมปังวันที่ 0	32
4.7 ค่า Cohesiveness ของเนื้อขนมปังวันที่ 0	33
4.8 ลักษณะความเป็นรูพรุนของเนื้อขนมปัง	34
4.9 ความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2	41
4.10 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง	42
4.11 เนื้อสัมผัสของขนมปังที่เวลา 0 วัน	44
4.12 ลักษณะความรูพรุนของเนื้อขนมปัง	46
4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปัง	52
4.14 สมการค่าคุณสมบัติต่างๆของ โดและขนมปัง	52
4.15 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน	55
4.16 สัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้าง free dipeptide ในเมล็ดถั่วเขียวผิวมัน เมล็ดถั่วเขียวผิวดำ	5
2.2 ภาพแสดง Glutenin, Gliadin และGluten	7
2.3 แบบจำลองการรวมตัวของไกลอะดินและกลูเตนินในกลูเตน	7
2.4 ภาพจำลองกระบวนการเกิดการแพ้กลูเตน	8
2.5 ภาพแสดงวิไลในลำไส้เล็กของผู้ที่ไม่แพ้กลูเตน และผู้แพ้กลูเตน	8
3.1 อัตรส่วนของฟลาวัวร์ข้าว ฟลาวัวร์ถั่ว และแป้งสาลีที่ใช้ในการศึกษา	20
4.1 ลักษณะของฟลาวัวร์ข้าว (ก.) และฟลาวัวร์ถั่ว (ข.)	27
4.2 ค่า Hardness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 กับถั่วชนิดต่างๆ	35
4.3 ค่า Hardness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวัวร์ข้าวปทุมธานี 1 กับถั่วชนิดต่างๆ	35
4.4 ค่า Hardness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวัวร์ข้าวสุพรรณบุรีกับถั่วชนิดต่างๆ	36
4.5 ค่า Cohesiveness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 กับถั่วชนิดต่างๆ	36
4.6 ค่า Cohesiveness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวัวร์ข้าวปทุมธานี 1 กับถั่วชนิดต่างๆ	36
4.7 ค่า Cohesiveness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวัวร์ข้าวสุพรรณบุรีกับถั่วชนิดต่างๆ	37
4.8 ภาพขนมปังสูตรที่ผสมข้าวหอมมะลิ 105 กับ ถั่วแดงหลวง(ก), ถั่วเขียวผิวมัน(ข), ถั่วเขียวผิวดำ(ค) ถั่วมะแฮะ(ง) และ ถั่วพุ่ม(จ)	37
4.9 ภาพขนมปังสูตรที่ผสมข้าวปทุมธานี 1กับ ถั่วแดงหลวง(ก) ถั่วเขียวผิวมัน(ข) ถั่วเขียวผิวดำ(ค) ถั่วมะแฮะ(ง) และ ถั่วพุ่ม(จ)	38
4.10 ภาพขนมปังสูตรที่ผสมข้าวสุพรรณบุรีกับ ถั่วแดงหลวง(ก) ถั่วเขียวผิวมัน(ข) ถั่วเขียวผิวดำ(ค) ถั่วมะแฮะ(ง) และ ถั่วพุ่ม(จ)	38
4.11 ลักษณะของโคขนมปังสูตรต่างๆหลังจากสิ้นสุดขั้นตอนการผสม	40
4.12 ลักษณะทางกายภาพของขนมปังสูตรต่างๆ	49
4.13 แผนภาพคอนทัวร์ แสดงผลของปริมาณถั่ว, ปริมาณข้าว, ปริมาณน้ำ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปัง	53
4.14 แผนภาพคอนทัวร์ แสดงผลของปริมาณถั่ว, ปริมาณข้าว, ปริมาณน้ำ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อค่า hardness ของขนมปัง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารประเภทปราศจากกลูเตน (gluten-free) กำลังได้รับความสนใจสูงขึ้น เนื่องจากในกระแสโลกรวมทั้งประเทศไทยจะพบผู้ที่แพ้กลูเตนหรือเรียกว่า celiac disease สูงขึ้น ซึ่งผู้ที่แพ้กลูเตนจะทำให้มีการดูดซึมสารอาหารบางตัว เช่น เหล็ก กรดโฟลิก วิตามินที่ละลายน้ำ อย่างผิดปกติ (Miñarro และคณะ, 2012) ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารปราศจากกลูเตนจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากกลูเตนเป็นโปรตีนที่พบได้ในผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบ และมีความสำคัญคือโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มีความสำคัญคือ โครงสร้างทำให้เนื้อขนมปังมีความยืดหยุ่น และความเหนียว ผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ปราศจากกลูเตนจึงมีปัญหาเรื่องโครงสร้างของเนื้อขนมปังไม่มีความยืดหยุ่น ไม่นุ่ม ขนมปังจะมีปริมาตรที่ต่ำ และเก็บไว้ไม่ได้นานจะทำให้คุณภาพเสื่อมเสียเร็ว

งานวิจัยที่พัฒนาขนมปังปราศจากกลูเตนจะใช้วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางด้านแป้ง ผสมกับองค์ประกอบของโปรตีน ไม่ว่าจะเป็นโปรตีนจากพืชหรือจากสัตว์ และเสริมด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์หรืออิมัลซิไฟเออร์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้อาหารปราศจากกลูเตนมีสมบัติเชิงหน้าที่หรือคุณภาพคล้ายกับโครงสร้างและหน้าที่ของกลูเตน วัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบทางด้านแป้งที่ได้มีการนำมาใช้ใน งานวิจัย เช่น ฟลาวัวร์ข้าว (Phimolsiripol และคณะ, 2012) สำหรับองค์ประกอบของโปรตีน ที่เติมลงไป ในสูตรสำหรับการทำขนมปังปราศจากกลูเตนมีหน้าที่ทำให้โคมิพันธระเชื่อมข้าม (cross-link) เกิดความยืดหยุ่น มีงานวิจัยที่ใช้โปรตีนจากแหล่งต่างๆ เช่น โปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว (legume flours) (Miñarro และคณะ, 2012)

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาสูตรขนมปังปราศจากกลูเตนโดยใช้วัตถุดิบที่ปลูกเองได้ในประเทศไทยคือ ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน 3 สายพันธุ์ (ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี) ซึ่งประเทศไทยนั้นเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญของโลก นำมาผสมกับถั่ว 5 ชนิด (ถั่วแดงหลวง ถั่วเขียวผิวนั้น ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วมะแฮะ และถั่วพุ่ม) ซึ่งถั่วที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นถั่วที่สามารถพบได้ง่ายในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วในการแทนที่แป้งสาลีส่วนหนึ่งเพื่อคัดเลือกชนิดของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นขนมปังปราศจากกลูเตน

1.2.2 ศึกษาชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์และอิมัลซิไฟเออร์ที่จะใช้ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนจากฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วที่เลือก

1.2.3 ศึกษาปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมจะใช้ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนด้วยวิธีวิเคราะห์หาพื้นผิวสะท้อน (Response surface methodology ; RSM)

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนโดยใช้วัตถุดิบที่ปลูกเองได้ในประเทศไทยคือ ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกัน 3 สายพันธุ์ (ข้าวหอมมะลิ 105, ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี) นำมาผสมกับถั่ว 5 ชนิด (ถั่วแดงหลวง, ถั่วเขียวผิวมัน, ถั่วเขียวผิวดำ, ถั่วมะแฮะ และถั่วพุ่ม) การศึกษาในครั้งนี้จะพัฒนาให้ขนมปังปราศจากกลูเตนมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่หรือคุณภาพที่ทดแทนได้จากองค์ประกอบต่างๆที่นำมาทดแทนโครงสร้างกลูเตนที่มีอยู่ในแป้งสาลี ซึ่งข้าวเป็นวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบทางด้านแป้ง เมื่อผสมกับถั่วซึ่งมีองค์ประกอบทางด้านโปรตีนอยู่บางส่วน โปรตีนจะทำหน้าที่ทำให้โคมิพันธะเชื่อมข้าม (cross-link) ทำให้โคมิมีความยืดหยุ่นได้ดี สามารถเก็บกักแก๊สที่ได้จากการหมักด้วยยีสต์ดีขึ้น จากนั้นจะมีการพัฒนาสูตรขนมปังปราศจากกลูเตนโดยศึกษาสารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังปราศจากกลูเตนในด้านปริมาณ โครงสร้าง เนื้อสัมผัส และอายุการเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชวงศ์หญ้า (Family) Gramineae สกุล (Oryza) พืชสายพันธุ์นี้มีประมาณ 25 ชนิด ในจำนวนนี้มีอยู่ 2 ชนิดเท่านั้นที่ปลูกเพื่อใช้เป็นอาหาร คือ *Oryza sativa* ที่ปลูกกันทั่วไปในประเทศผู้ปลูกข้าว และ *Oryza glaberrima* ที่ปลูกกันในบางส่วนของทวีปแอฟริกา ชนิดที่เหลือนี้อาจเป็นข้าวป่า (ทศพร, 2549) คนไทยรู้จักข้าวเจ้าเป็นอย่างดี เพราะคนไทยรับประทานข้าวเจ้าเป็นอาหารหลัก ข้าวเป็นอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายมนุษย์ เพราะมีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 (Thumrongchote, 2012) ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภทด้วยกันคือ อะมิโลส (Amylose) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ D-glucose ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง และอะมิโลเพกติน (Amylopectin) ซึ่งเป็น โพลิเมอร์ของ D-glucose ที่มีโครงสร้างต่อกันแบบแขนง ข้าวเจ้าที่ปลูกในประเทศไทยเป็นข้าวตระกูล *Oryza sativa* L. และมีหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งข้าวเจ้าแต่ละสายพันธุ์เมื่อนำมาหุงให้สุกเป็นข้าวสวยจะมีความนุ่ม เหนียวที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอะมิโลส (Amylose) ที่มีอยู่ในข้าวเจ้าแต่ละสายพันธุ์ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงมีการนำปริมาณอะมิโลสที่มีอยู่ในข้าวเจ้ามาใช้แบ่งกลุ่มข้าวเจ้าได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2555)

2.1.1 ข้าวเจ้าชนิดอะมิโลสดำ (Low-amylose type) เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสน้อยกว่าร้อยละ 20 เมื่อนำมาหุงจะได้ข้าวสวยที่มีความเหนียวนุ่ม น่ารักรับประทาน แต่เป็นข้าวที่ไม่ขึ้นหม้อ ใช้น้ำในการหุงน้อย ข้าวเจ้าในกลุ่มนี้ ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมปทุมธานี หรือข้าวหอมสุพรรณบุรี เป็นต้น

2.1.2 ข้าวเจ้าชนิดอะมิโลสปานกลาง (Intermediate-amylose type) เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลส อยู่ระหว่างร้อยละ 20-25 เมื่อนำมาหุงจะได้ข้าวสวยที่ค่อนข้างนุ่ม ใช้น้ำในการหุงปานกลาง ข้าวเจ้า ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข7 ข้าวพันธุ์ กข23 ข้าวชัยนาท1 หรือข้าวสุพรรณบุรี60 เป็นต้น

2.1.3 ข้าวเจ้าชนิดอะมิโลสสูง (High-amylose type) เป็นข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าร้อยละ 25 เมื่อนำมาหุงจะได้ข้าวสวยที่แข็ง ร่วน และใช้น้ำในการหุงมาก หรืออาจเรียกได้ว่าขึ้นหม้อ ข้าวเจ้าในกลุ่มนี้ ได้แก่ ข้าวเสาไห้ ข้าวขาวตาแห้ง หรือข้าวสุพรรณบุรี3 เป็นต้น

ปริมาณอะมิโลสในข้าวเจ้า นอกจากจะมีผลต่อสมบัติของข้าวหุงสุกแล้ว ยังมีผลต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้าด้วย คือ แป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว ควรเป็นแป้งข้าวเจ้าที่ทำมาจากข้าวในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เพราะจะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีคุณภาพดี (Sookdang, 1998) แป้งข้าวเจ้าที่ทำมาจากข้าวเจ้าในกลุ่มอะมิโลสปานกลาง เหมาะสำหรับการทำเส้นพาสต้าที่ผลิตโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน (Juliano, 1985) ส่วนแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมสำหรับทำเค้ก หรือขนมปัง ควรเป็นแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตมาจากข้าวเจ้าในกลุ่มที่มีอะมิโลสดำ เพราะจะทำให้ขนมมีความยืดหยุ่นตัวดี (Jangchud และคณะ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2004; สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2555) ในขณะที่ลูกก็ควรใช้แป้งข้าวเจ้าที่ผลิตมาจากข้าวเจ้าในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง หรือสูง (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2555)

ลักษณะที่ดีของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเจ้าที่ดี ควรมีลักษณะเป็นผลละเอียด สีขาวและมีขนาดเล็กประมาณ 200 ไมครอน โดยต้องสามารถร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 80 mesh ได้ วิธีการโม่แป้งข้าวเจ้าเพื่อให้ได้เป็นผงแป้งที่มีความขาว และเนื้อละเอียด โดยทั่วไปมี 3 วิธี คือ การโม่แห้ง (Dry milling) การโม่เปียก (Wet milling) หรือการโม่แบบกึ่งแห้งกึ่งเปียก (Semi-dry milling) (อรอนงค์, 2550)

แป้งข้าวเจ้าเป็นแป้งที่ได้รับความนิยมในการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมปังหรือขนมอบปลอดกลูเตนมาก เพราะแป้งข้าวเจ้ามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ เป็นแป้งที่มีลักษณะเป็นผลละเอียดสีขาว มีรสหวาน ย่อยง่าย และในแป้งข้าวเจ้าไม่มีโปรตีนไกลอะดีน (gliadin) ที่จะรวมตัวกับโปรตีนกลูเตนิน (glutenin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากในแป้งข้าวเจ้า ทำให้เกิดกลูเตน นอกจากนั้น โปรตีนในแป้งข้าวเจ้ามีกรดอะมิโนจำเป็นที่ชื่อว่า ไลซีน (Lysine) สูงกว่าธัญพืชอื่นๆ (Cagampang และคณะ, 1966)

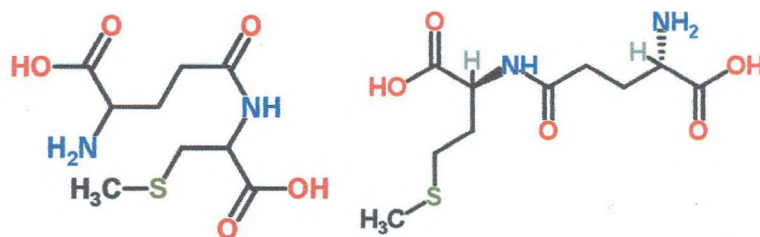
2.2 ถั่ว

พืชตระกูลถั่วผลิตเมล็ด (grain legume) นั้นถูกจัดอยู่ใน family Leguminosae ใน family Leguminosae ประกอบด้วย 3 sub families ด้วยกัน ได้แก่ sub family Papalionoideae, Caesalpinoideae และ Mimosoideae พืชตระกูลถั่วผลิตเมล็ดส่วนใหญ่ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์ในด้านอาหารและอุตสาหกรรมนั้น ถูกจำแนกไว้ใน sub family Papalionoideae และภายใน sub family ดังกล่าวนั้นได้แบ่งออกเป็น Tribe ต่างๆกัน (Polhill และ van der Maesen, 1984; Hymowitz และ Singh, 1987) พืชตระกูลถั่วเหล่านี้จัดว่ามีคุณค่าทางอาหารแก่มนุษย์ และสัตว์ เปอร์เซ็นต์โปรตีนในเมล็ดพืชตระกูลถั่วเหล่านี้จะอยู่ระหว่าง 20-30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับถั่วที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ได้แก่ ถั่วเขียวผิวมัน ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วแดงหลวง ถั่วมะแฮะ และถั่วพุ่ม

2.2.1 ถั่วเขียว

ถั่วเขียวผิวมัน (Greengram) และถั่วเขียวผิวดำ (Blackgram) จัดอยู่ในกลุ่ม family Leguminosae, sub-family Papalionoideae tribe Phaseoleae, sub-tribe Phaseolinae ซึ่งถั่วเขียวผิวมันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna radiate L.* และถั่วเขียวผิวดำมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna mungo L.* ซึ่งเป็นพืชที่มีความสำคัญยิ่ง โดยเฉพาะในระบบการปลูกพืชในประเทศต่างๆของทวีปเอเชีย จากลักษณะทางกายภาพของถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำจะเห็นได้ว่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่สาเหตุที่ต้องถูกจัดแยกต่าง specie กันนั้นมีสาเหตุมาจากในเมล็ดของถั่วเขียวทั้งสองแบบนี้มี free dipeptide ที่ไม่เหมือนกันคือในถั่วเขียวผิวมันจะมี free dipeptide ที่เรียกว่า γ -glutamyl-S-methylcysteine ส่วนเมล็ดถั่วเขียวผิวดำจะมี free dipeptide ที่เรียกว่า γ -glutamylmethionine (อภิพรธ, 2533)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) γ -glutamyl-S-methylcysteine(b) γ -glutamylmethionine

ภาพที่ 2.1 โครงสร้าง free dipeptide ในเมล็ดถั่วเขียวผิวมัน (a), เมล็ดถั่วเขียวผิวดำ (b)

ที่มา : (a) <http://www.chemspider.com/ImagesHandler.ashx?id=13512618&w=500&h=500>

(b) <http://www.chemspider.com/ImagesHandler.ashx?id=5373147&w=500&h=500>

2.2.2 ถั่วแดงหลวง

ถั่วแดงหลวง (Red kidney bean) เป็นพืชตระกูลถั่วที่จัดอยู่ในตระกูล *Phasecolus vulgaris L.* ซึ่งมักนำไปบริโภคในลักษณะที่แตกต่างกัน ถั่วแดงหลวงใช้บริโภคเมล็ดแก่ซึ่งมีรูปร่างคล้ายไต เรียกว่า “kidney bean” ถั่วแดงหลวงมีโปรตีน 22 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 56 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.3 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง โดยเฉพาะกรดลิโนเลอิกซึ่งกรดไขมันชนิดนี้ช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (Hu และคณะ, 2002) นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีนในถั่วแดงหลวงนั้นประกอบด้วยกรดอะมิโน ที่จำเป็นที่สำคัญครบถ้วน มีเพียงกรดอะมิโนที่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ (เมทไทโอนีน) เท่านั้นที่น้อย (Sathe, 2002) โปรตีนในถั่วแดงหลวงเป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงซึ่งอยู่ในรูปของ โปรตีนบอดี (protein body) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง 150-250 กิโลดาลตัน โปรตีนในถั่วแดงหลวงประกอบด้วยหน่วยย่อยหลายชนิด ชนิดที่สำคัญได้แก่ α vicilin, β vicilin, γ vicilin และ legumin

2.2.3 ถั่วมะแฮะ

ถั่วมะแฮะ (Pigeon pea) เป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งอยู่ใน Order Leguminosae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cajanus cajan (L.) Millsp.* จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถั่วมะแฮะนั้นพบว่า ถั่วมะแฮะมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีน 22 เปอร์เซ็นต์ และไขมันประมาณ 3.8 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กสูง รวมทั้งวิตามินต่างๆยกเว้น พวกแอสคอร์บิกแอซิด ถั่วมะแฮะมีกรดอะมิโนไลซีนในปริมาณสูง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์แล้วถือว่ายังขาดกรดอะมิโนประเภท methionine และ cystine (กฤษญา, 2531)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ถั่วพุ่ม

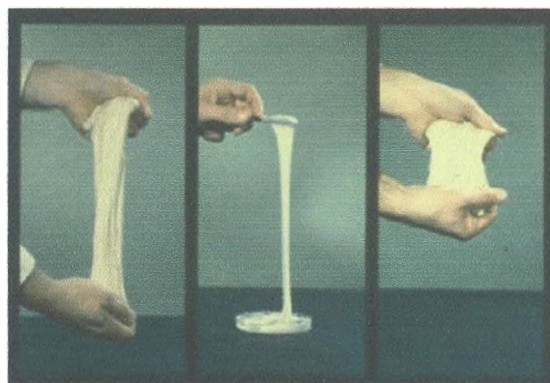
ถั่วพุ่ม (Cow pea) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Vigna unguiculata* (L.) Walp. เมล็ดที่แก่เต็มที่แล้วจะมีปริมาณ โปรตีนอยู่ระหว่าง 23-25 เปอร์เซ็นต์ มีคาร์โบไฮเดรต 57 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1.3 เปอร์เซ็นต์ และแร่ธาตุ 3.5 เปอร์เซ็นต์ ถั่วพุ่มนับว่าเป็นพืชตระกูลถั่วที่ข้อย่างง่าย มีคุณค่าทางอาหารสูง ถึงแม้จะขาดกรดอะมิโนประเภท methionine และ cystine แต่ก็มีการขาดอะมิโนประเภท lysine และ tryptophane ซึ่งขาดแคลนในธัญพืชอยู่ในปริมาณสูง ดังนั้นถั่วพุ่มจึงจัดเป็นอาหารเสริมสำหรับธัญพืชที่ขาด lysine และ tryptophane (อภิพรณ, 2533)

2.3 กลูเตน

กลูเตน (Gluten) เป็นไกลโคโปรตีนที่พบในส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของธัญพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด และข้าวโอ๊ต (โปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวสาลีนั้นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย ไกลอะดีนและกลูเตลิน) และไม่สามารถละลายในน้ำหรือสารละลายเกลือ ประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ คือ โปรตีนไกลอะดีน (Gliadin) และ โปรตีนกลูเตลิน (glutelin) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน (Lindsay และ Skerritt, 1999) ซึ่งโปรตีนทั้งสองชนิดนี้เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในแป้งสาลี และมีปริมาณใกล้เคียงกัน กลูเตนนั้นมีโครงสร้างกรดอะมิโนที่เฉพาะตัว คือ ไกลอะดีน กลูเตลิน และโพรลามิน ซึ่งมีมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนทั้งหมด (Eliasson และ Larsson, 1993; Lasztity, 1995) สาเหตุที่กลูเตนละลายน้ำได้น้อยนั้นเกิดจากมีปริมาณ โลซีน ฮาจีนิน แอสพาราจีน ที่ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งกรดอะมิโนที่เหลือกว่า 30 เปอร์เซ็นต์เป็นกรดอะมิโนแบบ Hydrophobic หรือที่เรียกว่า กรดอะมิโนไม่ชอบน้ำ

การเกิดกลูเตนจะเกิดขึ้นในระหว่างการนวดแป้งสาลีด้วยน้ำ โดยเกิดจากการรวมตัวของโปรตีน ไกลอะดีน (Gliadin) และ โปรตีนกลูเตลิน (glutelin) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยโปรตีนทั้งสองชนิดจะทำหน้าที่ต่างกัน คือ ไกลอะดีนจะช่วยในด้านความเหนียวของโดแป้งสาลี (Pomerranz, 1988; Don และ คณะ, 2003) ในขณะที่กลูเตลินจะช่วยในด้านความยืดหยุ่นเสริมความแข็งแรงให้กับโด (MacRitchie, 1980; Xu และ คณะ, 2007) เมื่อรวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติด้วยพันธะทางเคมีหลายชนิด ได้แก่ ไคซัลไฟด์ พันธะโควาเลนต์ เป็นต้น ดังภาพที่ 2 ทำให้กลูเตนมีความเหนียว และยืดหยุ่นสูง โดยการยึดตัวของกลูเตนมีผลทำให้โดของขนมปังสามารถอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแป้งด้วยยีสต์ได้ดี ทำให้ขนมปังขึ้นฟู ผลิตภัณฑ์ทำมาจากวัตถุดิบที่มีกลูเตน เช่น พลาสต์ต้า ซีเรียล ขนมปัง ขนมอบจากแป้งสาลี ซอสถั่วเหลือง ในผลิตภัณฑ์ซุบแป้งทอด เครื่องปรุงรสชาติในอาหาร เบียร์ เป็นต้น (วิภา, 2556)

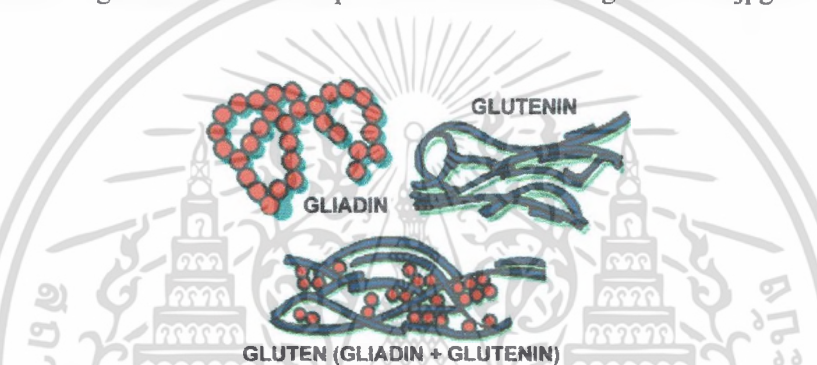
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A) (B) (C)

ภาพที่ 2.2 ภาพแสดง Glutenin (A), Gliadin (B) และ Gluten (C)

ที่มา : <https://bondingwithfood.files.wordpress.com/2012/05/dough-stretch3.jpg?w=300&h=204>



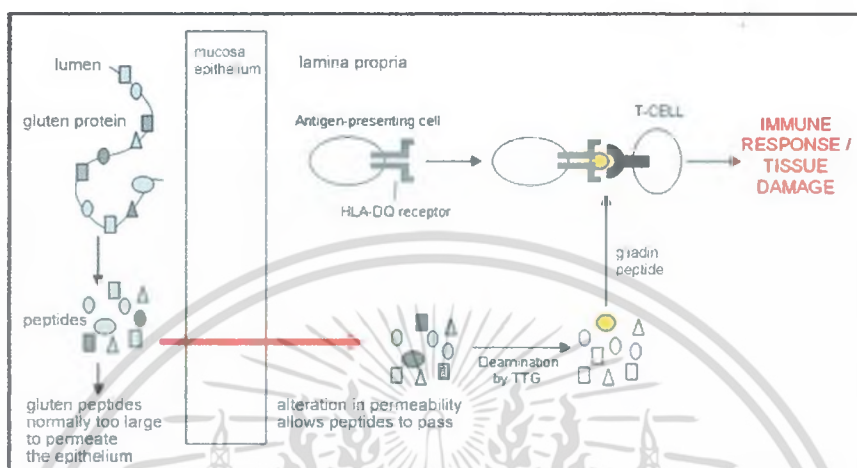
ภาพที่ 2.3 แบบจำลองการรวมตัวของไกลอะดีนและกลูเตนินในกลูเตน

ที่มา : <http://www.precisionnutrition.com/all-about-gluten>

2.3.1 โรคภูมิแพ้กลูเตน (Coeliac Disease)

โรคภูมิแพ้กลูเตน หรือ Coeliac Disease เป็นอาการตอบสนองที่ไม่พึงประสงค์ของระบบร่างกายที่มีสิ่งแปลกปลอมมากระตุ้น ซึ่งเกิดจากการที่ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายทำงานผิดปกติ ที่เกิดขึ้นจากยีน 2 ชนิดคือ HLA-DQ2 และ HLA-DQ8 ที่ได้รับการถ่ายทอดทางพันธุกรรมมาจากพ่อและแม่ กระบวนการแพ้ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากยีนดังกล่าวจับเข้ากับ ไกลอะดีนเปปไทม์ ($\alpha 2$ -gliadin) (Van Heel DA และ West, 2006) ซึ่งไกลอะดีนเป็น โปรตีนชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มของโพรลามินที่ทนต่อการย่อยของโปรตีนเอนไซม์ในลำไส้ ดังนั้นเมื่อร่างกายได้รับสารอาหารที่มีกลูเตนเข้าไป ผ่านกระบวนการย่อย สารอาหารเหล่านั้นจะผ่านเข้าสู่ส่วนของผนังลำไส้เล็กซึ่งมีวิลไล (Villi) ทำหน้าที่ช่วยดูดซึมสารอาหาร โดยผู้ที่แพ้กลูเตนระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายจะผลิตสารแอนติบอดีมาตอบสนองต่อวิลไลที่มีกลูเตนเกาะอยู่ที่ผิวเซลล์ เสมือนเป็นสิ่งแปลกปลอม และทำลายวิลไล ทำให้ลำไส้เล็กเกิดการอักเสบ (Kagnoff, 2005) ผู้ป่วยจะเกิดอาการแน่นท้อง ท้องอืด ปวดท้องรุนแรง ถ่ายเหลวเป็นน้ำ การที่เนื้อเยื่อในลำไส้เล็กเกิดการอักเสบ และถูกทำลาย ทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่ดูดซึมสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ อาทิ เหล็ก โฟรติก แคลเซียม และวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (Feghery, 1999) หากพบโรคเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนักผู้ใดเห็นาเบไซบระเยชชานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพ้กลูเตนในเด็ก จะทำให้การเจริญเติบโตและพัฒนาการของเด็กช้า เนื่องจากขาดสารอาหาร ปัจจุบันยังไม่มียารักษา วิธีที่ป้องกันได้ดีที่สุด คือ หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารที่มีส่วนผสมของกลูเตนหรือรับประทานอาหารปราศจากกลูเตน (Gluten-free products) (วิภา, 2556) โดยทั่วไปผู้ป่วยที่แพ้กลูเตนไม่ควรบริโภคอาหารที่มีกลูเตนเกิน 20 มิลลิกรัมต่อวัน (WHO/FAO)



ภาพที่ 2.4 ภาพจำลองกระบวนการเกิดการแพ้กลูเตน

ที่มา : http://www.nchpeg.org/nutrition/images/stories/ceeliac/figure4_ceeliac.png



ภาพที่ 2.5 ภาพแสดงวิไลในลำไส้เล็กของผู้ที่ไม่แพ้กลูเตน(A) และผู้แพ้กลูเตน(B)

ที่มา : <http://1.bp.blogspot.com/JWe10ZTz4dE/TzIXkHKWagI/AAAAAAAAA20/CzmYhJoZWIs/s1600/CD.jpg>

2.3.2 การผลิตขนมปังด้วยวัตถุดิบชนิดอื่นที่ปลอดกลูเตน

การแทนที่แป้งอื่นในแป้งสาลีนั้น ส่วนใหญ่จะได้ในระดับร้อยละ 5-10 เท่านั้น โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในการผลิตขนมปังและไม่มีผลเสียต่อคุณภาพของขนมปัง แต่เมื่อเพิ่มระดับการแทนที่สูงกว่านี้ จะทำให้ขนมปังมีลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการ เช่น ปริมาตรลดลง และเนื้อสัมผัสที่แน่นแข็ง การแทนที่ด้วยแป้งสาลีด้วยแป้งชนิดอื่นในปริมาณที่จำกัดไม่สามารถใช้เป็นอาหารให้ผู้ป่วยที่แพ้กลูเตนบริโภคได้ แต่แป้งที่ได้จากพืชชนิดอื่นจะไม่มีกลูเตนทำให้ไม่เกิดโด จึงไม่สามารถกักเก็บแก๊สไว้ได้ในระหว่างขั้นตอนการหมักและการอบขนมปังที่ได้จึงมี ปริมาตรต่ำ เนื้อแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันมีการใช้วัตถุดิบจากพืชชนิดอื่นๆมาทดแทนแป้งสาลีมากมาย อาจมีทั้งใช้เดี่ยวๆ หรืออาจจะใช้ผสมกันเพื่อเป็นสูตรพื้นฐานสำหรับขนมปังปลอดกลูเตนซึ่งมีทั้งที่เป็นแบบฟลาวัวร์ และแบบสตาร์ช สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มๆได้ตามตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างพืชชนิดต่างๆที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังปลอดกลูเตน

พืชชนิดต่างๆที่ทดแทนแป้งสาลี				
Cereals	Pseudocereals	Root and tubers	Legumes	Others
Rice	Buckwheat	Cassava	Soy	Flaxseed
Maize	Amaranth	Yam	Chickpea	Chia seed
Sorghum	Quinoa	Potato	Carob	Chestnut
Millet			Vinal	Unripe banana
			Beans	
			Lentil	
			Pea	

ที่มา : Vanessa และคณะ (2014)

พืชในกลุ่มธัญพืชเป็นพืชแบบ *monotyledonous* หรือพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เป็นพืชตระกูลหญ้าที่มีประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักซึ่งเป็นแหล่งอาหารหลักของมนุษย์ในพืชตระกูล *cereals* นั้น ข้าว (*rice*) และข้าวโพด (*maize*) เป็นวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการผลิตขนมปังปลอดกลูเตน เนื่องจากข้าวเป็นธัญพืชไม่มีไกลอะดลิน ดังนั้นจึงไม่เกิดโครงสร้างกลูเตนที่ทำให้เกิดการแพ้ ไม่มีรสชาติ มีสีขาว และย่อยง่าย (Kadan และคณะ, 2001) ส่วนข้าวโพดมีโปรตีนที่เรียกว่า *Zein* อยู่มาก ซึ่งเป็นโปรตีนในกลุ่ม *prolamin* จากการศึกษาพบว่าข้าวโพดนั้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเป็นขนมปังปลอดกลูเตน เนื่องจากเมื่อโปรตีน *Zein* ตัวนี้ผสมเข้ากับน้ำจะมีคุณสมบัติทางการไหลของโดคล้ายคลึงกับโดที่ได้จากแป้งสาลี (Schober และคณะ, 2008)

พืชในกลุ่ม *pseudocereals* เป็นพืชแบบ *dicotyledonous* หรือพืชใบเลี้ยงคู่ ซึ่งในงานวิจัยส่วนใหญ่จะนิยมศึกษา *pseudocereals* อยู่ 3 ชนิดคือ *Buckwheat*, *Amaranth* และ *Quinoa* เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนที่สูง มีกรดอะมิโนจำเป็น มีกรดไขมันอยู่หลายชนิด มีแร่ธาตุสูง และยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (*Bioactive Compounds*) (Alvarez และคณะ, 2009) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า พืชในกลุ่ม *pseudocereals* นี้ช่วยให้ขนมปังมีปริมาณเพิ่มขึ้น มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น (Torbica และคณะ, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชในกลุ่ม roots and tubers เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญ ส่วนใหญ่จะนิยมนำมาสกัดเป็นสตาร์ช เนื่องจากสตาร์ชมีคุณสมบัติที่เป็นเจล และให้ความความข้นหนืด จากคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะส่งเสริมให้โคหรือแบคทีเรีย (batter) มีสมบัติการไหลที่ดีและใกล้เคียงกับโคที่ได้จากแป้งข้าวสาลี ทำให้โคเก็บกักแก๊สได้ดีขึ้น ในระหว่างการหมัก อีกทั้งยังเก็บกักความชื้นไว้ในเนื้อขนมปังได้ดี ทำให้อัตราการเกิด retrogradation ช้าลง (Emanuele และคณะ, 2014) ดังนั้นจึงนิยมนำใช้ในขนมปังปลอดกลูเตน

พืชในกลุ่มพืชตระกูลถั่ว เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์มาหลายพันปี เป็นแหล่งของสตาร์ช โยอาหาร และโปรตีนที่สำคัญหลายชนิด เช่น ไลซีน ลิวซีน กรดแอสปาดิก และอาร์จินีน และมีไขมันค่อนข้างต่ำ และไม่มีคอเลสเตอรอล (Ahmed และคณะ, 2014) ในการทำขนมปังปลอดกลูเตนนั้นจะนิยมนำพืชตระกูลถั่วมาผสมกับพืชในตระกูลธัญพืชเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการให้กับขนมปังปลอดกลูเตน (Livingstone และคณะ, 1993)

พืชในกลุ่มอื่นๆ ที่นอกเหนือจากที่ได้กล่าวมานั้นก็เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นขนมปังปลอดกลูเตนเช่นกัน อย่างเช่น Chia seed เริ่มเป็นที่นิยมในการนำมาผลิตเป็นขนมปังปลอดกลูเตน Chia seed นั้นเป็นเมล็ดพืชที่ให้น้ำมันสูง มีกรดไขมันชนิด omega-3 alpha-linolenic สูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์ และยังมีกรดอะมิโนจำเป็นอื่นๆ เช่น ไลซีน ลิวซีน วาลีน และไอโซลิวซีน อีกทั้งยังมีโยอาหารสูง ช่วยลดคอเลสเตอรอล และน้ำตาลในเส้นเลือด (Lara และคณะ, 2014; Michele และคณะ, 2015)

2.3.3 การใช้สารช่วยปรับปรุงคุณภาพขนมปังปลอดกลูเตน

โดยปกติแล้วในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบจะใช้แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากแป้งสาลีมีโปรตีนกลูเตน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโครงร่างเกี่ยวพันของโปรตีนที่มีชื่อว่า โกลอะดินและกลูเตนิน เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติที่สามารถอุ้มน้ำและก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ได้เมื่อมีการทำขนมปัง นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่น ช่วยทำให้ขนมปังนุ่ม และ คงตัวเมื่อขึ้นฟูหากมีการเปลี่ยนจากแป้งสาลีเป็นเป็นชนิดอื่น เช่น ฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่ว ที่ไม่มีโปรตีนประเภท โกลอะดิน (Chartrand และคณะ, 1997) เป็นองค์ประกอบ จึงประกอบเป็นโครงร่างเกี่ยวพันไม่ได้นั้น จะทำให้ได้ขนมอบที่มีคุณภาพด้อยกว่า ขนมอบที่ทำจากแป้งสาลีด้วยเหตุผลนี้ โคที่ได้จะขาดลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น ดังนั้นในการหมักขนมปัง โครงสร้างของก้อนโคไม่สามารถเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เอาไว้ได้ (Gujral และ Rosell, 2004) ทำให้ขนมปังหลังจากการอบมีปริมาตรจำเพาะน้อย เนื้อขนมปังจะมีลักษณะแห้ง แข็ง เนื้อ แน่น และมีสีซีดกว่าขนมปังทั่วไปที่ใช้แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก (Gallagher และคณะ, 2003) ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมอบจากแป้งข้าวให้ดีขึ้น โดยได้มีการศึกษาการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์และอิมัลซิไฟเออร์เข้ามาทำหน้าที่ปรับปรุง โครงสร้างและคุณลักษณะของก้อนโคที่ปลอดกลูเตนให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 ไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) คือ โพลีเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงโพลีเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยทั่วไปจะเป็นโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และอาจจะเป็น polyelectrolyte อื่นๆ โพลีเมอร์เหล่านี้จะแสดงหน้าที่ที่สำคัญในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจลเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น ไฮโดรคอลลอยด์เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่ถูกพิจารณาว่าเป็น colloidal materials ในเฟสของน้ำ เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์มีขนาดของโมเลกุลใหญ่มากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ ไฮโดรคอลลอยด์มี ลักษณะใกล้เคียงกับของเหลว และใกล้เคียงกับของแข็ง โดยสมบัติที่เรียกว่า liquid-like properties เกิดจาก ส่วนประกอบส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 80 เป็นน้ำ ส่วนสมบัติที่เรียกว่า solid-like properties เกิดจากการสร้างโครงสร้างตาข่าย (network) ขึ้น ไฮโดรคอลลอยด์นั้นเป็นสารปรับปรุงคุณภาพที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบมาเป็นเวลายาวนาน ซึ่งช่วยให้โคของขนมปังมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ทนต่อแรงนวด มีคุณสมบัติการไหลของโคที่ดี ไฮโดรคอลลอยด์สามารถลดการสูญเสียน้ำของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษาได้ดี (Rosell และคณะ, 2007) ขนมปังที่ทำจากวัตถุดิบประเภทแป้งข้าวนั้นจะนิยมใช้ Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) และ xanthan gum ในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปัง มีรายงานว่า Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) ทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม และมีปริมาณจำเพาะเพิ่มขึ้น ทำให้ขนมปังมีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดี และมีอายุการเก็บที่ยาวนานกว่าเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่ได้ใส่ HPMC (Collar และคณะ, 1998; Barcenas และ Rollsell, 2005) การใช้ xanthan gum ในระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งทั้งหมดในวัตถุดิบที่มีแป้งข้าว แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง (45 เปอร์เซ็นต์, 35 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์) พบว่าลักษณะปรากฏและกลิ่นรสของขนมปังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื้อขนมปังมีความนุ่ม และมีรูพรุนที่ดี (Lopez และคณะ, 2004)

1) แขนแทนกัม (xanthan.gum) แขนแทนกัมได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ผลิตในระดับอุตสาหกรรม คือ *Xanthomonas compestris* เป็นแฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลกลูโคส แมนโนส และกรดกลูโคนิก ในอัตราส่วน 2.8:3:2 มีหมู่อะซิดิลร้อยละ 4.7 และกรดไพรวิก ประมาณร้อยละ 3 โดยน้ำตาลกลูโคสต่อกับแมนโนสด้วยพันธะ β -1,4 และน้ำตาลแมนโนสที่เป็นสายแขนงต่อกับสายหลักด้วยพันธะ 1,2 หรือ 1,3 ส่วนกรดกลูโคนิกต่อกันด้วยพันธะ β -1,2 สารละลายแขนแทนกัมให้ความหนืดสูงแม้ที่ความเข้มข้นต่ำ มีความคงตัวสูงต่อความร้อน ความหนืดของสารละลายแขนแทนกัมจะคงที่ถึงแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0-100 องศาเซลเซียส และแสดงลักษณะการเป็นซูดอพลาสติกสูง โดยไม่มีสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามระยะเวลา (thixotropic) สมบัติการเป็นซูดอพลาสติกนี้เกิดจากโครงสร้างเฉพาะตัวของแขนแทนกัมเมื่อมีแรงมากกระทำ แขนแทนกัมไม่มีสมบัติเป็น gelling agent แต่สามารถเกิด thermo reversible gel ในการทำผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบ แขนแทนกัมจะช่วยในการนวดโคและขึ้นรูปโคง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยในการเอกสารเป็นเอกสารทงวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงคุณภาพของแป้ง โดยช่วยป้องกันการเกิดรีโทรเกรเดชันและการสูญเสียแป้งในแป้ง เพราะ แชนแทนกัม มีคุณสมบัติกักน้ำได้ดีจึงช่วยในการป้องกันการสูญเสียแป้งในระหว่างการปรุงอาหาร (Imeson, 1997) ซึ่งพบว่า การเติมแชนแทนกัมเพียงร้อยละ 2 ก็สามารถช่วยยับยั้งการเกิดการแยกชั้นของ แป้งได้ (Glickman, 1982) นอกจากนี้แชนแทนกัมยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบให้มีการกระจายตัวของฟองอากาศได้ดีขึ้น (Imeson, 1997)

2) ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropylmethylcellulose, HPMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยเกิดจากเซลลูโลส ซึ่งเป็นสายพอลิเมอร์สายตรงที่ประกอบด้วย โมเลกุลของ α -(1,4)-D-anhydroglucose ซึ่งแต่ละหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส(anhydroglucose)ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy) 3 หมู่ที่มีความสามารถไป ทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้โดยปกติแล้วเซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้แต่ในการนำเซลลูโลสมา ใช้ในการปรับปรุงคุณลักษณะของอาหารจำเป็นที่จะต้องทำให้เซลลูโลสละลายน้ำได้ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงให้เซลลูโลสละลายน้ำได้โดยการนำเซลลูโลสมา ทำปฏิกิริยากับอัลคิลีนออกไซด์ (alkylene oxide) เกิดการแทนที่หมู่ไฮดรอกซีของเซลลูโลส ได้เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส ซึ่งจะอยู่ในรูปของเซลลูโลสอีเทอร์ (cellulose ether) (Imeson, 1997) ในผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้นจะใช้อนุพันธ์เซลลูโลสทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด สารให้ความคงตัว สารยึดอายุ การเก็บรักษา เป็นต้น การเติม HPMC ลงไปในขนมอบทำให้ระหว่างการอบ HPMC จะมีการสูญเสียความชื้นไป และเกิดการก่อตัวเป็นเจลขึ้นซึ่งคุณสมบัตินี้มีการเติม HPMC ลงไป 0.1 – 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยให้ปริมาตรของ ขนมปังเพิ่มขึ้น และเนื้อสัมผัสนุ่มรับประทานมากขึ้น (Imeson, 1997)

2.3.3.2 อิมัลซิไฟเออร์

อิมัลซิไฟเออร์ คือกลุ่มของสารประกอบที่ภายใน โมเลกุลมีทั้งส่วนที่มีขั้วหรือชอบน้ำ (polar or hydrophilic) และส่วนที่ไม่มีขั้วหรือไม่ชอบน้ำ (nonpolar or hydrophobic) เมื่ออยู่ในระบบอิมัลชัน อิมัลซิไฟเออร์จะคูดซับอยู่ที่บริเวณผิวสัมผัสร่วม (interface) ระหว่างน้ำกับน้ำมันซึ่งก็คือผิวของครีโอลีท โดยยื่นส่วนของ โมเลกุลที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ และยื่นส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาน้ำมัน อิมัลซิไฟเออร์จะเป็นตัวกลางคั่นระหว่างน้ำกับน้ำมันซึ่งช่วยลดแรงดึงที่ผิวสัมผัสร่วมและยังเป็นเสมือนเยื่อหุ้มป้องกัน (protective membrane) รอบๆครีโอลีทเพื่อขัดขวางไม่ให้ครีโอลีทรวมตัวกันระบบอิมัลชันจึงมีความคงตัวมากขึ้น อิมัลชันที่ดีและมีประสิทธิภาพควรจะคูดซับที่บริเวณผิวสัมผัสร่วมหรือผิวครีโอลีทที่เพิ่งเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการ โฮโมจีไนซ์ ได้มากและรวดเร็ว ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบนั้น อิมัลซิไฟเออร์จะช่วยทำให้ส่วนผสมที่เป็นไขมันสามารถรวมตัวกับส่วนที่ชอบน้ำได้ดี (Flack, 1987) ทำให้โดขนมปังมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ดี สามารถคูดซับน้ำได้มาก ทำให้โครงสร้างขนมปังมีความแข็งแรง เนื้อขนมปังมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น (Gomez และคณะ, 2004) อิมัลซิไฟเออร์ช่วยยับยั้งการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีเนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์จะเข้าไปยับยั้งการระเหยของน้ำระหว่างโมเลกุลของสตาร์ช และ โมเลกุลของโปรตีน (Selomulyo และ Zhou, 2007) อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้กันในผลิตภัณฑ์ขนมอบมีด้วยกันหลายชนิด เช่น Sodium stearoyl-2-lactylate (SSL), Lecithins, Sucrose ester (SE) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น แต่อิมัลซิไฟเออร์ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังปราศจากกลูเตน คือ mono- และ diglycerides ของกรดไขมัน (DATA ESTERS, DATEM) ซึ่งอิมัลซิไฟเออร์เหล่านี้จะเข้าไปรวมตัวกับอะมิโลส ทำให้โครงสร้างเจลของโดมีความแข็งแรง เกิดรีโทรกราเดชันช้าลง (Stampfli และคณะ, 1996) มีรายงานว่า การใช้ DATEM ที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนที่ใช้วัตถุดิบเป็นแป้งข้าวโพด และแป้งแหว ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังได้ยาวนานขึ้น (Pourzafar และคณะ, 2013)

1. ไดอะเซทิลทาร์ทริกเอสเทอร์ของ โมโนกลีเซอไรด์ (Diacetyltartaric and fatty acid esters of glycerol, DATAM) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากกรดของผลไม้คือ กรดทาร์ทริก ที่เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของ กลีเซอริน และกรดไขมัน นิยมใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในโดของขนมปัง มีคุณสมบัติทำให้เกิดการพันธะเชื่อมข้าม (cross-link) ระหว่างโมเลกุลของโปรตีนในโดขนมปัง ทำให้โดมีความยืดหยุ่นและแข็งแรง สามารถกักเก็บแก๊สที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักด้วยยีสต์ได้ดี นิยมใช้ในระดับ 0.2 – 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง

2. โซเดียมสเตียโรล-2-แลคทิลเลต (Sodium stearyl-2-lactylate, SSL) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างเกลือโซเดียมของกรดสเตียริก และ โมเลกุลของกรดแลคติก นิยมใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ขึ้นฟูด้วยยีสต์ เช่นขนมปัง ซึ่งจะช่วยให้โครงสร้างของขนมปังแข็งแรง มีความคงตัวดี ทำให้โดขนมปังทนทานต่อการผสม ปริมาณที่แนะนำให้ใช้คือ ไม่ควรเกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง

3. ดิสติลล โมโนกลีเซอไรด์ (Distilled monoglycerides, DMG) ได้จากการ โมเลกุลของโมโนกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 1 โมเลกุล มากันทำให้มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ทั้งในน้ำและน้ำมัน ช่วยในการสร้างพันธะกับสตาร์ชและโปรตีนในแป้งได้ดีทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง ช่วยชะลอการเกิดรีโทรกราเดชันในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังปลอดกลูเตนในระยะแรกๆ ได้เริ่มมีการทดลองนำแป้งข้าวเจ้ามาทดแทนแป้งสาลีในสัดส่วนต่างๆกัน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดปริมาณกลูเตนในขนมปัง ดังนี้

Rajapaksa และคณะ (1983) ได้ทดลองนำแป้งข้าวเจ้ามาใช้ทดแทนแป้งสาลีในขนมปัง เมื่อนำโดของขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้ามาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่ามีค่า T_{onset} เท่ากับ 67 องศาเซลเซียส ในขณะที่โดของแป้งสาลีมีค่า T_{onset} เท่ากับ 55 องศาเซลเซียส นั้นแสดงให้เห็นว่า ขนมปังที่ทดแทนที่ด้วยแป้งข้าวเจ้าจะสุกที่อุณหภูมิสูงกว่าขนมปังที่ผลิตจากแป้งสาลีล้วน นอกจากนั้นยังพบอีกว่า การใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลี จะทำให้การขึ้นฟูของขนมปังลดลง เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าในสูตรเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mariotti และคณะ (2009) ได้ศึกษาการทำขนมปังปราศจากกลูเตนโดยใช้ สตาร์ชข้าวโพด, แป้งamaranth, สารสกัดจากถั่ว และแป้งไซเลียม (Psyllium) ในสัดส่วนต่างๆกัน โดยวัตถุประสงค์ของการใส่วัตถุดิบต่างๆมีดังนี้ สตาร์ชข้าวโพดและแป้ง amaranth ใส่เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ สารสกัดจากถั่วใส่เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน และแป้งไซเลียมใส่เพิ่มเป็นสารให้ความข้นหนืดและเป็นแหล่งใยอาหารในขนมปัง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าแป้งไซเลียมทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆทำให้เกิดโครงสร้างที่สามารถอุ้มก๊าซได้ ทำให้ได้ขนมปังที่มีคุณภาพดีเทียบเท่าขนมปังปลอดกลูเตนที่ทำจากส่วนผสมสำเร็จที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

Demirkesen และคณะ (2010) ได้ศึกษาการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งหัวและแป้งข้าวในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนซึ่งใช้อัตราส่วนแป้งหัวต่อแป้งข้าวดังนี้ (0/100, 10/ 90, 20/80, 30/70, 40/60, 50/50 และ 100/0) ซึ่งมีการเติมสารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ดังนี้ xanthan–locust bean gum, xanthan–guar gum จากผลการทดลองพบว่า สูตรขนมปังปราศจากกลูเตนที่ใช้การแทนที่ด้วยแป้งหัวต่อแป้งข้าวในระดับ 30/70 และเติม xanthan–guar gum 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้คุณภาพขนมปังปราศจากกลูเตนที่ดีที่สุดคือ มีค่าความนุ่มเนื้อต่ำ มีค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูง มีค่าสีและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่สูงที่สุด

Minarro และคณะ (2012) ศึกษาผลกระทบของแป้งตระกูลถั่วต่อลักษณะขนมปังที่ปราศจากกลูเตน โดยใช้แหล่งโปรตีนจากแป้งพืชตระกูลถั่ว อาทิ แป้งถั่วลูกไก่ (chickpea), แป้งคอรอบบินกัม (carob gums), แป้งถั่วเหลือง (soya) และสารสกัดจากถั่ว จากผลการทดลองพบว่าขนมปังที่ใช้แป้งจากคอรอบบินกัม มีค่าปริมาตรจำเพาะต่ำที่สุด 2.5 เซนติเมตรต่อกรัม ส่วนขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วลูกไก่อมีค่าความจำเพาะสูงที่สุด 3.26 เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งขนมปังที่ผลิตจากแป้งถั่วลูกไก่อนั้นมีเนื้อสัมผัสและ โครงสร้างของขนมปังที่ดีที่สุด และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

Mohammed และคณะ (2012) ศึกษาลักษณะของโคและคุณภาพของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วลูกไก่ (chickpea) โดยทดแทนในระดับ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อปริมาณแป้งถั่วลูกไก่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้โคเกิดการคุดน้ำเพิ่มขึ้น และใช้เวลาในการเกิดโครงสร้างของโคนานขึ้น ($p < 0.05$) และยังพบอีกว่าความยืดหยุ่นของโคลดลง ลักษณะของโคที่ทดแทนในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้โคยังคงมีลักษณะที่ดีอยู่ ซึ่งบริเวณผิวหนังของโคในระดับการแทนที่ 10 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับสูตรควบคุมพบว่ามีลักษณะที่เรียบเป็นปกติ แต่เมื่อใช้แป้งถั่วลูกไก่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้โครงสร้างของโคยุบตัวลง ผิวหนังของโคมีลักษณะขรุขระ และขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและแน่น มีสีน้ำตาลมากจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ต่อมาหลังจากที่ได้มีการศึกษาการแทนที่แป้งสาลีในระดับต่างๆด้วยวัตถุดิบพื้นฐานอย่าง เช่น พวกแป้งหรือสตาร์ชจากธัญพืชต่างๆแล้ว ก็จะได้สูตรพื้นฐานเพื่อผลิตขนมปังปลอดกลูเตนต่อไป แต่การใช้วัตถุดิบพื้นฐานเพียงเท่านั้นยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ขนมปังปราศจากกลูเตนมีคุณภาพที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่สนใจที่จะพัฒนาคุณภาพของขนมปังปราศจากกลูเตนให้มีเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยมีการเติมแต่งสารต่างๆลงไปในผลิตภัณฑ์ เช่น สารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ โพรตีน เอนไซม์ และอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อเพิ่มปริมาณจำเพาะของขนมปัง มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนี้

Lazaridou และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆต่อคุณภาพของขนมปังปราศจากกลูเตนที่ทำจากฟลาวัวร์ข้าว สตาร์ชข้าวโพด และโซเดียมเคซิเนท (sodium caseinate) ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้คือ เพคติน (pectin) คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC) อาร์การ์โรส (agarose) แชนแทนกัม (xanthan gum) และ เบต้า-กลูแคนจากข้าวโอ๊ต (oat β -glucan) พบว่าคุณภาพของขนมปังที่เติม CMC เพคติน และแชนแทนที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุด เนื้อขนมปังที่เติมแชนแทนและเบต้า-กลูแคนจากข้าวโอ๊ตที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีความสว่างสูงที่สุด ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับขนมปังที่เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุด เมื่อเก็บขนมปังไว้เป็นเวลา 3 วัน พบว่าขนมปังที่เติมแชนแทนปริมาณ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ และเบต้า-กลูแคนจากข้าวโอ๊ตปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้นแต่ขนมปังที่เติมเพคติน CMC อาร์การ์โรสในปริมาณ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ และเบต้า-กลูแคนจากข้าวโอ๊ตปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อความแข็งของเนื้อขนมปังที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Angioloni และ Collar (2008) ได้ศึกษาสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โลคัสบีนกัมเพคติน และสารพรีไบโอติกชนิดโอลิโกแซ็กคาไรด์ อินนูลิน และ กลูโคสโอลิโกแซ็กคาไรด์ ในผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ระดับ 0, 6, 9, และ 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งทำการตรวจสอบลักษณะทางการไหลและความเหนียวของโด พบว่าโลคัสบีนกัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถเสริมไปในขนมปังได้ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง และมีลักษณะทางด้านกายภาพดีกว่าการใช้เพคติน และพบว่าการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ ร่วมกับสารพรีไบโอติกชนิดโอลิโกแซ็กคาไรด์นั้นทำให้สมบัติทางกายภาพของขนมปังดีขึ้น

Sciarini และคณะ (2010) ศึกษาการใช้สารปรับปรุงขนมปังปราศจากกลูเตนที่ใช้ฟลาวัวร์ข้าว 40 เปอร์เซ็นต์ ฟลาวัวร์ข้าวโพด 20 เปอร์เซ็นต์ และฟลาวัวร์ถั่วเหลือง 2 เปอร์เซ็นต์เป็นส่วนประกอบหลัก และใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ (คาราจีแนน อัลจีเนต แชนแทนกัม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และเจลาติน) ในปริมาณ 0.5 กรัมต่อ 100 กรัมของแป้งทั้งหมด พบว่าการใช้สารปรับปรุงในขนมปังปราศจากกลูเตนนี้ช่วยให้ลักษณะโครงสร้างของขนมปังดีขึ้น ค่าความแน่นเนื้อของขนมปังลดลงและลดการเกิด staling ในระหว่างการเก็บรักษาได้ โดยแชนแทนกัมทำให้ขนมปังมีปริมาณจำเพาะและเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด รองลงมาคือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและคาราจีแนน ผลการวิเคราะห์รูพรุนของขนมปังพบว่าคาราจีแนนและอัลจีเนตทำให้ขนมปังมีจำนวนรูพรุนมากและมีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับขนมปังสูตรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sabanis และTzia (2011) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพขนมปังที่ผลิตจากสตาρχ้าวโพค และฟลาวร์ข้าว โดยใช้สารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ ดังนี้ Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum, k-carrageenan และ guar gum ในระดับ 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยวิเคราะห์สมบัติการไหลของโดและคุณลักษณะต่างๆของขนมปัง จากผลการทดลองพบว่าทุกๆสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในระดับ 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้น xanthan gum มีผลทำให้ขนมปังมีปริมาณจำเพาะเพิ่มมากขึ้น และเนื้อขนมปังมีสีใกล้เคียงกับสูตรควบคุม และมีอายุการเก็บที่ยาวนานเท่ากับสูตรควบคุม จากผลทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า HPMC 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นสูตรที่ถูกรับมากที่สุด

Crockett และ Vodovotz (2015) ได้ศึกษาการใช้สารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ 3 ชนิดดังนี้ High methoxy HPMC, Low methoxy HPMC และ xanthan gum ในระดับ 2, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสูตรพื้นฐานของขนมปังเป็นฟลาวร์จากมันสำปะหลัง จากผลการทดลองพบว่า High methoxy HPMC (2-5เปอร์เซ็นต์) และLow methoxy HPMC 2 เปอร์เซ็นต์ทำให้ขนมปังมีปริมาณจำเพาะที่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมLow methoxy HPMC 5 เปอร์เซ็นต์ และ xanthan gum (3 เปอร์เซ็นต์ และ 5 เปอร์เซ็นต์) จะมีผลทำให้ปริมาณจำเพาะลดลงส่วนเนื้อสัมผัสของขนมปังจะมีความนุ่มขึ้นเมื่อใช้ High methoxy HPMC ส่วน Low methoxy HPMC 5 เปอร์เซ็นต์ และ xanthan gum 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ขนมปังมีความนุ่มลดลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ข้าวหอมมะลิ 105 (Jasmine rice; *Oryza sativa* L) จากบริษัทเนเจอร์ฟู้ด จำกัด เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.2 ข้าวปทุมธานี 1 (Pathumthani 1 rice; *Oryza sativa* L. var.indica cv. Pathumthani 1) จากห้างหุ้นส่วนจำกัดสุวรรณชัยภูมิ เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.3 ข้าวสุพรรณบุรี (Suphanburi rice; *Oryza sativa* L. var.indica cv. Suphanburi) ซื้อมาจากห้างหุ้นส่วนจำกัดสุวรรณชัยภูมิ เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.4 ถั่วมะแฮะ (Pigeon pea; *Cajanus cajan*) พันธุ์ขอนแก่น ได้รับอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.5 ถั่วพุ่ม (Cowpea; *Vigna unguiculata* ssp.unguiculata) พันธุ์อุบลราชธานี ได้รับอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.6 ถั่วแดงหลวง (Red kidney bean; *Phaseolus vulgaris*) จากบริษัทตั้งยิ่งวัฒนา จำกัด เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.7 ถั่วเขียวผิวมัน (Greengram; *Vigna radiate*) จากบริษัทตั้งยิ่งวัฒนา จำกัด เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.1.8 ถั่วเขียวผิวดำ (Blackgram; *Vigna mungo*) จากบริษัทตั้งยิ่งวัฒนา จำกัด เมล็ดสมบูรณ์ไม่มีตำหนิ เช่น แมลงเจาะ เมล็ดแตกหัก

3.2 เครื่องมือที่ใช้ผลิตฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่ว

3.2.1 เครื่องกะเทาะเปลือกถั่ว

3.2.2 ตู้อบแบบถาด (tray dryer) ผลิตโดยบริษัท โป้เกรส อีเล็กทรอนิกส์ ประเทศไทย

3.2.3 เครื่องบดแบบหยาบ (hammer mill) ผลิตโดยบริษัท Philip-Cucina ประเทศอินโดนีเซีย

3.2.4 เครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) รุ่น ZM 1000 ผลิตโดยบริษัท Retsch ประเทศเยอรมัน

3.2.5 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) รุ่น FED 53 ผลิตโดยบริษัท Binder ประเทศสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือที่ใช้ผลิตขนมปัง

3.3.1 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง รุ่น PB3002-L ผลิตโดยบริษัท Mettler toledo ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์

3.3.2 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204 ผลิตโดยบริษัท Mettler toledo ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์

3.3.3 เครื่องบ่มขนมปัง รุ่น NFF-16PS ผลิตโดยบริษัท Huangpu China

3.3.4 เครื่องอบขนมปัง รุ่น YXD-10A ผลิตโดยบริษัท Huangpu China

3.3.5 เครื่องตีผสมขนมปัง ผลิตโดยบริษัท กิตติวัฒนา

3.4 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพขนมปัง

3.4.1 เครื่องวัดสี รุ่น Minolta CR400 ประเทศญี่ปุ่น

3.4.2 เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT Plus ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.4.3 เครื่อง Scanner รุ่น 9000F Mark II ผลิตโดยบริษัท Canon ประเทศญี่ปุ่น

3.4.4 เครื่อง scanning electron microscope รุ่น JSM-5800LV ประเทศญี่ปุ่น

3.5 ส่วนผสมของขนมปัง

3.5.1 แป้งสาลี ตรา หงส์ขาว

3.5.2 เกลือ ตรา ประทีป

3.5.3 ยีสต์ ตรา fermipan

3.5.4 เนยขาว ตรา ใบไม้ทอง

3.5.5 น้ำตาลทรายขาวละเอียด ตรา ลิน

3.5.6 น้ำ

3.5.7 แชนแทนกัม (xanthan gum) ผลิตโดย บริษัท Brenntag

3.5.8 ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) ผลิตโดย บริษัท Brenntag

3.5.9 ไดอะเซทิลทาร์ทาริกเอสเทอร์ของ โมโนกลีเซอไรด์ (DATAM) ผลิตโดย บริษัท Brenntag

3.5.10 โซเดียมสเตียโรล-2-แลคทิลเลท (SSL) ผลิตโดย บริษัท Brenntag

3.5.11 ดีสสตีลล์ โมโนกลีเซอไรด์ (DMG) ผลิตโดย บริษัท Brenntag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การเตรียมฟลาวัวร์ และการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟลาวัวร์

ข้าวที่ได้ศึกษาในครั้งนี้มีทั้งหมด 3 สายพันธุ์ ดังนี้ ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี ส่วนถั่วที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้มีทั้งหมด 5 สายพันธุ์ดังนี้ ถั่วแดงหลวง ถั่วเขียวผิวมัน ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วมะแฮะ และถั่วพุ่ม

3.6.1 การเตรียมฟลาวัวร์จากข้าว

นำข้าวที่ได้มาบดแบบหยาบด้วยเครื่องบดหยาบ (Hammer mill) จากนั้นก็นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (Pin mill) โดยแป้งจะถูกบดผ่านรูตะแกรงที่มีขนาด 0.25 มิลลิเมตร

3.6.2 การเตรียมฟลาวัวร์จากถั่ว

เตรียมฟลาวัวร์จากถั่วชนิดต่างๆ โดยตัดแปลงจากวิธีของ สมชาย และคณะ (2541) นำเมล็ดถั่วชนิดต่างๆ มาแยกกะเทาะให้แตกออกเป็น 2-3 ซีก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกถั่ว และนำมาล้างน้ำ 3 ครั้งจนสะอาด ก่อนนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แยกเอาเปลือกออกโดยใช้น้ำล้าง และรินเอาเปลือกออกจนหมดทำให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำถั่วที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง จนมีความชื้นประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาบดแบบหยาบด้วยเครื่องบดหยาบ (Hammer mill) จากนั้นก็นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (Pin mill) โดยแป้งจะถูกบดผ่านรูตะแกรงที่มีขนาด 0.25 มิลลิเมตร

3.6.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของฟลาวัวร์

วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วที่เตรียมได้ดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณอะมิโนส (Juliano, 1971)
- วิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร (Proximate analysis) (AOAC, 2000)

3.7 การศึกษาผลของฟลาวอร์ข้าวและฟลาวอร์ถั่วในการแทนที่แป้งสาลีส่วนหนึ่งเพื่อคัดเลือกชนิดของฟลาวอร์ข้าวและฟลาวอร์ถั่วที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นขนมปังปราศจากกลูเตนต่อไป

ศึกษาการแทนที่แป้งสาลีด้วยฟลาวอร์ข้าว (ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี) และฟลาวอร์ถั่ว (ถั่วแดงหลวง ถั่วเขียวผิวมัน ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วมะแฮะ และถั่วพุ่ม) ในระดับการแทนที่แป้งสาลีที่ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ฟลาวอร์ข้าว 25 เปอร์เซ็นต์ กับฟลาวอร์ถั่ว 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง เพื่อเป็นการคัดเลือกชนิดของฟลาวอร์ข้าวและฟลาวอร์ถั่วเบื้องต้น โดยในแต่ละสูตรที่ศึกษาจะใช้สายพันธุ์ข้าว และถั่วอย่างละ 1 ชนิด ดังนั้นสูตรที่ต้องศึกษาทั้งหมดจะมี 15 สูตรด้วยกัน (ข้าวหอมมะลิ 105: ถั่วแดงหลวง, ข้าวหอมมะลิ 105: ถั่วเขียวผิวมัน, ข้าวหอมมะลิ 105: ถั่วเขียวผิวดำ, ข้าวหอมมะลิ 105: ถั่วพุ่ม, ข้าวหอมมะลิ 105: ถั่วมะแฮะ, ข้าวปทุมธานี 1: ถั่วแดงหลวง, ข้าวปทุมธานี 1: ถั่วเขียวผิวมัน, ข้าวปทุมธานี 1: ถั่วเขียวผิวดำ, ข้าวปทุมธานี 1: ถั่วพุ่ม, ข้าวปทุมธานี 1: ถั่วมะแฮะ, ข้าวสุพรรณบุรี: ถั่วแดงหลวง, ข้าวสุพรรณบุรี: ถั่วเขียวผิวมัน, ข้าวสุพรรณบุรี: ถั่วเขียวผิวดำ, ข้าวสุพรรณบุรี: ถั่วพุ่ม และข้าวสุพรรณบุรี: ถั่วมะแฮะ) ดังที่แสดงตามภาพที่ 3.1 โดยใช้สูตรควบคุมเป็นแป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมต่างๆที่ใช้ในการทำงานมปังแสดงไว้ที่ตารางที่ 3.1 จากนั้นวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆของโดและขนมปัง



ภาพที่ 3.1 อัตราส่วนของฟลาวอร์ข้าว ฟลาวอร์ถั่ว และแป้งสาลีที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมต่างๆที่ใช้ในการทำขนมปัง

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)/100 กรัม ต่อน้ำหนักแป้งทั้งหมด
แป้งสาลี	50
แป้งข้าว	25
แป้งถั่ว	25
ยีสต์	1.4
เกลือ	1.5
น้ำตาล	6
น้ำ	65
เนยขาว	5

ที่มา : Keeratipibul และคณะ (2010)

3.7.1 ขั้นตอนการทำขนมปัง ตัดแปลงจาก (Keeratipibul และคณะ, 2010)

3.7.1.1 ชั่งส่วนผสมต่างๆ (แป้งสาลี 375 กรัม, ฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่ว 187.5 กรัม, ยีสต์ 10.5 กรัม, เกลือ 11.25 กรัม, น้ำตาล 45 กรัม, เนยขาว 37.5 กรัม และน้ำ 487.5 กรัม)

3.7.1.2 ร่อนแป้งสาลี ฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วด้วยตะแกรงลงในโถผสมก่อน จากนั้นเติมน้ำตาลทรายยีสต์ และเกลือลงไป

3.7.1.3 ทำส่วนผสมที่ได้มาตีผสมด้วยความเร็วต่ำสุดเป็นเวลา 1 นาทีเพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน จากนั้นค่อยๆเติมน้ำลงไป ตีผสมนาน 3 นาที

3.7.1.4 เมื่อโคเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนให้เปลี่ยนความเร็วในการตีผสมเป็นความเร็วปานกลาง ตีผสมนาน 3 นาที จากนั้นเติมนเนยขาวลงไป ตีผสมนาน 12 นาที

3.7.1.5 จากนั้นเพิ่มระดับความเร็วในการตีผสมเป็นความเร็วสูงสุด ตีนาน 1 นาที

3.7.1.6 นำโดขนมปังที่ได้มาใส่ภาชนะและบ่มในตู้บ่มที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระดับความชื้น 85% เป็นเวลา 90 นาที ในระหว่างการบ่ม 90 นาทีนี้จะนำโดขนมปังมานวดไล่อากาศออกเมื่อบ่มครบ 1 ชั่วโมง

3.7.1.7 เมื่อบ่มครบ 90 นาทีนำโดขนมปังออกมาตัดแบ่งเป็นก้อน โดยมีน้ำหนักแต่ละก้อน 185 กรัม จากนั้นก็นวดให้เป็นก้อนกลมพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1.8 นำโดขนมปังที่ตัดแบ่งแล้วมีน้ำหนักขึ้นรูปและใส่ลงในพิมพ์ นำไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระดับความชื้น 85% เป็นเวลา 90 นาที

3.7.1.9 นำไปอบด้วยเตาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

3.7.1.10 ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก และเก็บขนมปังใส่ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน เพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆของขนมปัง

3.7.2 วิเคราะห์คุณภาพของโดและขนมปัง

3.7.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพของโด

1) ศึกษาความยืดหยุ่นของโด (Van และคณะ, 1992)

ตัดแบ่งตัวอย่างก้อนโดที่ผ่านการหมักขั้นต้นครั้งแรกมาแล้ว (90 นาที) มาก่อนละ 15 กรัม นำโดขนมปังที่ได้มาวิเคราะห์หาความยืดหยุ่นของโด วัดค่าแรงที่ดึงยืด (กรัม) และระยะทางที่โดยืดตัว(มิลลิเมตร) ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยใช้หัววัด Kieffer dough (A/KIE) ตัดแปลงวิธีมาจาก Van และคณะ (1992)

2) ศึกษาความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 (proofing)

วัดความสูงของโดในส่วนที่สูงที่สุดของโดที่หมักได้ (เซนติเมตร)

3.7.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพของขนมปัง

1) ศึกษาปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

หลังจากอบขนมปังเสร็จให้นำขนมปังมาชั่งน้ำหนักหลังอบทันที จากนั้นทิ้งให้ขนมปังเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 นาที จึงนำมาตรปริมาตรของขนมปังด้วยวิธีแทนที่ด้วยเมล็ดงาคั่วในภาชนะปริมาตรจำเพาะของขนมปังคำนวณได้จาก ปริมาตรของขนมปังหารด้วยน้ำหนักของขนมปัง (เซนติเมตร³/กรัม) (AACC, 2000)

2) ศึกษาเนื้อสัมผัสของขนมปังที่เวลา 0 วัน

เมื่อขนมปังเย็นลงให้ตัดแบ่งชิ้นขนมปังจากตรงกลางออกเป็น 3 ชิ้นแต่ละชิ้นจะมีขนาด 20 มิลลิเมตร วัดเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังแบบ Texture Profile Analysis ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยใช้หัววัด P/25 ความเร็วในการกด 5 มิลลิเมตร/วินาที กดตัวอย่างลึก 40% ของความสูงของตัวอย่าง อ่านค่า hardness คือ แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกด และค่า cohesiveness คือ พลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จาก อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 2 (Area 2) และครั้งที่ 1 (Area 1) ตัดแปลงจากวิธี AACC 74-09 method (AACC, 2000) ค่า hardness และค่า cohesiveness ที่ได้เป็นค่าของขนมปังที่เวลา 0 วัน

3) ลักษณะความเป็นรูพรุนของเนื้อขนมปัง (Image analysis)

เมื่อขนมปังเย็นลงให้ตัดแบ่งชิ้นขนมปังจากตรงกลางออกเป็น 3 ชิ้นแต่ละชิ้นจะมีขนาด 20 มิลลิเมตร นำไปถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanner จากนั้นนำภาพมาวิเคราะห์หาความเป็นรูพรุนด้วย

โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Digital analysis (ศิขรินทร์ และ สิริพิชัย, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ศึกษาอายุการเก็บของขนมปัง

นำขนมปังที่เย็นแล้วเก็บใส่ถุงพลาสติก และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1, 3 และ 5 วัน เมื่อครบกำหนดระยะเวลาในแต่ละช่วง นำขนมปังมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer อ่านค่า hardness และ ค่า cohesiveness

3.7.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองในข้อ 3.1 ใช้การทดลองแบบ 3 ขั้ว วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ข้อมูลที่ได้จากการแปรของฟลาวัวร์ข้าว (ข้าว 3 ชนิด คือ ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรี) และฟลาวัวร์ถั่ว (ถั่ว 5 ชนิด คือ ถั่วแดงหลวง ถั่วเขียวผิวมัน ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วมะแฮะ และถั่วพุ่ม) ทำการวิเคราะห์ 3 ขั้ว วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 16 จากผลของการวิเคราะห์ทางสถิติในครั้งนี้จะแสดงผลการคัดเลือกชนิดของข้าว และชนิดของถั่วที่เหมาะสม เพื่อพัฒนาเป็นขนมปังปราศจากกลูเตนในขั้นต่อไป

3.8 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ และชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน

ชนิดของฟลาวัวร์ข้าว และฟลาวัวร์ถั่วที่ถูกคัดเลือกจากข้อ 3.7 จะนำมาพัฒนาสูตรที่เหมาะสมต่อการทำขนมปังปราศจากกลูเตน โดยการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์และอิมัลซิไฟเออร์ โดยสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) และ xanthan gum ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้คือ Diacetyl tartaric acid ester of mono and glycerides (DATEM), Sodium stearoyl lactylate (SSL) และ Distilled monoglyceride (DMG) โดยการศึกษาในส่วนนี้จะใช้สัดส่วนฟลาวัวร์ข้าวต่อฟลาวัวร์ถั่วที่ 50:50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด และใช้ปริมาณน้ำที่ระดับ 90 กรัมต่อ 100 กรัมของแป้งทั้งหมด กำหนดระดับของสารอิมัลซิไฟเออร์อยู่ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมอื่นๆเป็นไปตามตารางที่ 3.1 สูตรที่ศึกษามีดังต่อไปนี้

1. Control (ไม่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์และสารอิมัลซิไฟเออร์)
2. HPMC 1%
3. xanthan gum 1%
4. HPMC 1% + DATEM 0.5%
5. HPMC 1% + DMG 0.5%
6. HPMC 1% + SSL 0.5%
7. xanthan gum 1% + DATEM 0.5%
8. xanthan gum 1% + DMG 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. xanthan gum 1%+SSL 0.5%
10. HPMC 1% + xanthan gum 1% +DATEM 0.5%
11. HPMC 1% +xanthan gum 1% +DMG 0.5%
12. HPMC 1% +xanthan gum 1% +SSL 0.5%
13. HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+DATEM 0.5%
14. HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+DMG 0.5%
15. HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+SSL 0.5%

3.8.1 การวิเคราะห์คุณภาพของโคและขนมปัง

1) ศึกษาความสูงของโคหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 (proofing)

วัดความสูงของโคในส่วนที่สูงที่สุดของโคที่หมักได้ (เซนติเมตร)

2) ศึกษาปริมาณจำเพาะของขนมปัง

หลังจากอบขนมปังเสร็จให้นำขนมปังมาชั่งน้ำหนักหลังอบทันที จากนั้นทิ้งให้ขนมปังเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 นาที จึงนำมาวัดปริมาตรของขนมปังด้วยวิธีแทนที่ด้วยเม็ดดงาค่าในภาชนะ ปริมาตรจำเพาะของขนมปังคำนวณได้จาก ปริมาตรของขนมปังหารด้วยน้ำหนักของขนมปัง (เซนติเมตร³/กรัม) (AACC, 2000)

3) ศึกษาเนื้อสัมผัสของขนมปังที่เวลา 0 วัน

เมื่อขนมปังเย็นลงให้ตัดแบ่งชิ้นขนมปังจากตรงกลางออกเป็น 3 ชั้นแต่ละชั้นจะมีขนาด 20 มิลลิเมตร วัดเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังแบบ Texture Profile Analysis ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยใช้หัววัด P/25 ความเร็วในการกด 5 มิลลิเมตร/วินาที กดตัวอย่างลึก 40 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของตัวอย่าง อ่านค่า hardness ค่า cohesiveness ค่า springiness และค่า chewiness ดัดแปลงจากวิธี AACC 74-09 method (AACC, 2000)

4) ลักษณะความเป็นรูพรุนของเนื้อขนมปัง (Image analysis)

เมื่อขนมปังเย็นลงให้ตัดแบ่งชิ้นขนมปังจากตรงกลางออกเป็น 3 ชั้นแต่ละชั้นจะมีขนาด 20 มิลลิเมตร นำไปถ่ายภาพด้วยเครื่อง scanner จากนั้นนำภาพมาวิเคราะห์ความเป็นรูพรุนด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Digital analysis (ศิขรินทร์ และสิทธิชัย, 2553)

3.8.2 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองในข้อ 3.8 ใช้การทดลองแบบ 3 ขั้ว วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS Version 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 ศึกษาปริมาณข้าว ถั่ว ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.7 และศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ อิมัลซิไฟเออร์ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.8 ศึกษาปริมาณน้ำ โดยใช้วิธีวิเคราะห์หาพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology ; RSM) เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมในการทำขนมปังปราศจากกลูเตน

ชนิดของฟลาวัวร์ข้าว และฟลาวัวร์ถั่วที่ถูกคัดเลือกจากข้อ 3.7 และชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ อิมัลซิไฟเออร์ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.8 นำมาพัฒนาสูตรที่เหมาะสมต่อ โดยปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้นที่จะศึกษามีดังนี้ ปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำและปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ ส่วนตัวแปรตามเป็น ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง และค่า hardness ของเนื้อขนมปังวันที่ 0 ทำการทดลองแบบ 2 ชั้น นำค่าต่างๆที่วัดได้มาประมวลผลใช้การทำนายแบบพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology, RSM) มีการวางแผนการทดลองแบบ box-behnken ตามตารางที่ 3.2 โดยใช้โปรแกรม design expert version 7 จากการประมวลผลการทดลองในครั้งนี้จะได้สมการถดถอยหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตขนมปังปลอดกลูเตน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การวางแผนการทดลองแบบ box-behnken

Run	ปริมาณฟลาวัวร์ข้าว	ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว	ปริมาณน้ำ	ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์
1	-1.00	-1.00	0.00	0.00
2	1.00	-1.00	0.00	0.00
3	0.00	1.00	0.00	1.00
4	1.00	0.00	-1.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	-1.00	0.00	-1.00
8	1.00	0.00	0.00	-1.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	-1.00	0.00	0.00	1.00
11	1.00	1.00	0.00	0.00
12	0.00	1.00	-1.00	0.00
13	0.00	1.00	1.00	0.00
14	0.00	0.00	-1.00	1.00
15	0.00	-1.00	-1.00	0.00
16	0.00	0.00	1.00	1.00
17	-1.00	1.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	1.00	-1.00
19	0.00	-1.00	1.00	0.00
20	-1.00	0.00	0.00	-1.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
22	1.00	0.00	0.00	1.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00
24	-1.00	0.00	1.00	0.00
25	0.00	0.00	-1.00	-1.00
26	0.00	1.00	0.00	-1.00
27	-1.00	0.00	-1.00	0.00
28	1.00	0.00	1.00	0.00
29	0.00	-1.00	0.00	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ลักษณะของฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ถั่ว ปริมาณอะมิโลส และปริมาณสารอาหาร

4.1.1 ลักษณะของฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ถั่ว

ลักษณะของฟลาวร์ที่ได้จากข้าวชนิดต่างๆ คือ มีลักษณะเป็นผลละเอียด สีค่อนข้างขาว ส่วนลักษณะของฟลาวร์ที่ได้จากถั่วชนิดต่างๆ คือ มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นเฉพาะแตกต่างกันตามชนิดของถั่ว เนื้อสัมผัสเนียนละเอียด (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของฟลาวร์ข้าว (ก.) และฟลาวร์ถั่ว (ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ปริมาณอะมิโลส

จากตารางที่ 4.2 พบว่าข้าวหอมมะลิ 105 มีปริมาณร้อยละของอะมิโลสต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวชนิดอื่นๆ และถั่วเขียวผิวดำมีปริมาณร้อยละของอะมิโลสต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ เอกสงวน (2544), พัชรา (2547) และ Chitrakorn (2003) ได้รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของอะมิโลสในข้าวหอมมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 1 ไว้ที่ประมาณ 12–17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวสุพรรณบุรีปริมาณอะมิโลสอยู่ที่ 26–39 เปอร์เซ็นต์เช่นเดียวกัน Bibi และคณะ (2011), Singh และคณะ (2006), Akinye และคณะ (1987), และ Moongngam (2013) รายงานว่าถั่วเขียวผิวดำ ถั่วเขียวผิวดำ ถั่วมะแฮะ ถั่วพุ่ม และถั่วแดงหลวงมีปริมาณของอะมิโลสอยู่ที่ 20.06–22.26 เปอร์เซ็นต์ 32.9–35.6 เปอร์เซ็นต์ 31.8 เปอร์เซ็นต์ 20–29 เปอร์เซ็นต์ และ 34.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอะมิโลสของฟลาวัวร์ข้าวและถั่วชนิดต่างๆ

ชนิดของฟลาวัวร์ต่างๆ	ปริมาณอะมิโลส (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง)
ข้าวหอมมะลิ 105	16.90±0.32
ข้าวปทุมธานี 1	19.43±0.22
ข้าวสุพรรณบุรี	38.43±0.48
ถั่วแดงหลวง	31.09±0.56
ถั่วเขียวผิวดำ	22.73±0.37
ถั่วเขียวผิวดำ	36.76±0.61
ถั่วมะแฮะ	32.50±0.12
ถั่วพุ่ม	28.96±0.72

4.1.3 ปริมาณสารอาหาร (proximate analysis) ในฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่ว

จากตารางที่ 4.3 ถั่วพุ่มมีปริมาณเถ้ามากที่สุดคือ 3.15 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ ส่วนข้าวหอมมะลิ 105 มีปริมาณเถ้ามากที่สุดเมื่อเทียบกับข้าวชนิดอื่นๆ คือ 0.45 เปอร์เซ็นต์ ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสุพรรณบุรีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตใกล้เคียงกันคือ 80.76 และ 80.32 เปอร์เซ็นต์ ถั่วพุ่มมีปริมาณไขมันทั้งหมดสูงที่สุด คือ 2.54 เปอร์เซ็นต์ ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด คือ 11.57–11.66 เปอร์เซ็นต์ ส่วนถั่วแดงหลวงมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ 6.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโปรตีนในถั่วพุ่มมีสูงที่สุด คือ 26.89 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกันคือ 6.28–6.79 เปอร์เซ็นต์ ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณแคลอรีทั้งหมดใกล้เคียงกันคือ 357.07–359.69 กิโลแคลอรี ส่วนถั่วแดงหลวงมีปริมาณแคลอรีมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ คือ 373.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลแคลอรีถั่วมะแฮะ และถั่วพุ่มมีปริมาณแคลอรีที่มาจากไขมันมากที่สุดคือ 22.23 และ 22.86 กิโลแคลอรี ถั่วมะแฮะมีปริมาณใยอาหารมากที่สุดคือ 0.61 เปอร์เซ็นต์ และข้าวสุพรรณบุรีมีใยอาหารเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 ร้อยละของปริมาณสารอาหาร(proximate analysis)ของฟลาวัวร์ข้าวและถั่วชนิดต่างๆ

	เถ้า(%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	ไขมัน ทั้งหมด (%)	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	แคลอรี ทั้งหมด (Kcal/100g.)	แคลอรีจาก ไขมัน (Kcal/100g.)	ใย อาหาร (%)
ข้าวหอมมะลิ 105	0.45	80.50	1.16	11.57	6.32	357.72	10.44	0.07
ข้าวปทุมธานี 1	0.31	80.76	0.99	11.66	6.28	357.07	8.91	0.12
ข้าวสุพรรณบุรี	0.31	80.32	0.95	11.63	6.79	359.69	8.55	0
ถั่วแดงหลวง	2.71	69.37	2.11	6.54	19.27	373.55	18.99	0.60
ถั่วเขียวผิวมัน	2.51	64.89	1.85	9.57	21.18	360.93	16.65	0.48
ถั่วเขียวผิวดำ	3	62.63	1.52	9.28	23.57	357.48	13.68	0.7
ถั่วมะแฮะ	2.61	66.17	2.47	7.33	21.42	372.59	22.23	0.61
ถั่วพุ่ม	3.15	60.35	2.54	7.07	26.89	371.82	22.86	0.52

4.2 ผลของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วในการแทนที่แป้งสาลีส่วนหนึ่งเพื่อคัดเลือกชนิดของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นขนมปังปลอดกลูเตนต่อไป

4.2.1 คุณภาพของโด

4.2.1.1 ความยืดหยุ่นของโด

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสูตรที่ผสมฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงและฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 ให้ค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ 43.45 กรัม.แรง และยังพบว่าไม่ว่าฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงจะผสมกับฟลาวัวร์ข้าวสายพันธุ์ใดก็ยังคงให้ค่าความยืดหยุ่นที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆและฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 ไม่ว่าจะผสมกับฟลาวัวร์ถั่วชนิดใดก็ยังคงให้ค่าความยืดหยุ่นของโดที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าความยืดหยุ่นของโคหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 1

ชนิดของฟลาร์ข้าว และฟลาร์ถั่ว	ความยืดหยุ่น (กรัม.แรง)				
	ถั่วแดงหลวง	ถั่วเขียวผิวมัน	ถั่วเขียวผิวดำ	ถั่วมะเสะ	ถั่วพุ่ม
ข้าวหอมมะลิ 105	43.45±0.14 ^{Aa}	17.84±0.10 ^{Ca}	18.36±0.15 ^{BCa}	18.33±0.12 ^{BCa}	18.87±0.13 ^{Ba}
ข้าวปทุมธานี 1	38.22±0.13 ^{Ab}	14.53±0.12 ^{Db}	16.87±0.11 ^{BCb}	17.27±0.12 ^{Ba}	16.00±0.13 ^{Cb}
ข้าวสุพรรณบุรี	37.91±0.12 ^{Ab}	14.45±0.12 ^{Cb}	14.23±0.13 ^{Cc}	15.14±0.11 ^{BCb}	15.53±0.12 ^{Bb}

หมายเหตุ ^{A,B,C} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงชนิดของฟลาร์ถั่วว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

หมายเหตุ ^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงชนิดของฟลาร์ข้าวว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.2.1.2 ความสูงของโคหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 (proofing)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าสูตรที่ผสมฟลาร์ถั่วแดงหลวง และฟลาร์ข้าวหอมมะลิ 105 ให้ค่าความสูงของโคหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ คือ 6 เซนติเมตร และสูตรขนมปังที่ผสมฟลาร์ถั่วมะเสะให้ค่าความสูงของโคหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตรที่ผสมฟลาร์ถั่วชนิดอื่นๆ คือ 3.5 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.5 ความสูงของโคหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 (proofing)

ชนิดของฟลาร์ข้าว และฟลาร์ถั่ว	ความสูงของโค(เซนติเมตร)				
	ถั่วแดงหลวง	ถั่วเขียวผิวมัน	ถั่วเขียวผิวดำ	ถั่วมะเสะ	ถั่วพุ่ม
ข้าวหอมมะลิ105	6.00±0.04 ^{Aa}	5.50±0.10 ^{Ba}	5.17±0.05 ^{Ba}	3.50±0.02 ^{Da}	4.00±0.03 ^{Ca}
ข้าวปทุมธานี 1	5.50±0.03 ^{Aa}	5.50±0.02 ^{Aa}	5.50±0.01 ^{Aa}	3.50±0.02 ^{Ca}	4.00±0.03 ^{Ba}
ข้าวสุพรรณบุรี	5.30±0.02 ^{Ab}	5.50±0.02 ^{Aa}	5.30±0.03 ^{Ba}	3.50±0.01 ^{Da}	4.00±0.02 ^{Ca}

หมายเหตุ ^{A,B,C} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงชนิดของฟลาร์ถั่วว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

หมายเหตุ ^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแนวตั้งเดียวกันแสดงชนิดของฟลาร์ข้าวว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 คุณภาพของขนมปัง

4.2.2.1 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

จากตารางที่ 4.6 พบว่าสูตรขนมปังที่ผสมฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงและฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 มีปริมาณจำเพาะสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ คือ 2.69 ซม³/กรัม และสูตรขนมปังที่ผสมฟลาวัวร์ถั่วมะแฮะและฟลาวัวร์ข้าวสุพรรณบุรีมีปริมาณจำเพาะต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 1.14 ซม³/กรัมขนมปังที่ผสมฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 ทำให้ขนมปังมีปริมาณจำเพาะสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสูตรที่ผสมฟลาวัวร์ข้าวชนิดอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับ Pongjaruvatt และคณะ (2014) ได้รายงานไว้ว่าข้าวหอมมะลิ 105 ที่มีปริมาณอะมิโลส ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ นั้นเมื่อนำมาผลิตเป็นขนมปังจะทำให้ขนมปังมีปริมาณจำเพาะที่สูงกว่า ขนมปังที่ใช้ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลส ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.6 ปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูตรต่างๆ (ซม³/กรัม)

ชนิดของฟลาวัวร์ข้าว และฟลาวัวร์ถั่ว	ปริมาณจำเพาะ(ซม ³ /กรัม)				
	ถั่วแดงหลวง	ถั่วเขียวผิวมัน	ถั่วเขียวผิวดำ	ถั่วมะแฮะ	ถั่วพุ่ม
ข้าวหอมมะลิ105	2.69±0.02 ^{Aa}	2.13±0.02 ^{Ba}	2.11±0.04 ^{Ca}	1.18±0.02 ^{Ea}	1.52±0.03 ^{Da}
ข้าวปทุมธานี 1	2.66±0.03 ^{Ab}	2.12±0.02 ^{Ba}	2.09±0.01 ^{Cb}	1.15±0.02 ^{Eb}	1.52±0.02 ^{Db}
ข้าวสุพรรณบุรี	2.64±0.02 ^{Ab}	2.10±0.02 ^{Ba}	2.06±0.03 ^{Cc}	1.14±0.01 ^{Eb}	1.19±0.02 ^{Dc}

หมายเหตุ ^{A,B,C} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวนอนเดียวกันแสดงชนิดของฟลาวัวร์ถั่วที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

หมายเหตุ ^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแสดงชนิดของฟลาวัวร์ข้าวที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปังวันที่ 0

1) ค่า Hardness

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าสูตรขนมปังที่ผสมด้วยฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงและฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 ให้ค่า hardness ที่ต่ำที่สุดหรือนุ่มที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสูตรขนมปังที่ผสมด้วยฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 ให้ค่า hardness ที่ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังที่ผสมกับฟลาวัวร์ข้าวชนิดอื่นๆ Sanbanis และ Tzia (2011) ได้รายงานว่ามีปริมาณจำเพาะของขนมปังมีผลเกี่ยวเนื่องกันต่อค่า hardness ถ้าขนมปังมีปริมาณจำเพาะที่ต่ำก็จะส่งผลให้ค่า hardness ของขนมปังสูงขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่า hardness ของเนื้อขนมปังวันที่ 0

ชนิดของฟลาวัวร์ข้าว และฟลาวัวร์ถั่ว	ค่า Hardness (นิวตัน)				
	ถั่วแดงหลวง	ถั่วเขียวผิวมัน	ถั่วเขียวผิวดำ	ถั่วมะนอะ	ถั่วพุ่ม
ข้าวหอมมะลิ 105	986.35±10.12 ^{Ec}	1607.40±10.21 ^{Dc}	1863.60±10.11 ^{Cc}	2322.90±11.23 ^{Ac}	2018.81±10.00 ^{Bc}
ข้าวปทุมธานี 1	1367.80±10.00 ^{Da}	1718.31±11.00 ^{Cb}	2275.60±10.00 ^{Aa}	2264.22±12.01 ^{Ab}	2148.81±10.00 ^{Bb}
ข้าวสุพรรณบุรี	1015.43±10.00 ^{Eb}	1998.62±11.00 ^{Ca}	1904.81±12.10 ^{Dc}	2158.62±12.01 ^{Ac}	2199.61±10.02 ^{Ba}

หมายเหตุ^{A,B,C} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวแสดงชนิดของฟลาวัวร์ถั่วที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

หมายเหตุ^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์แสดงชนิดของฟลาวัวร์ข้าวที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่า Cohesiveness ของเนื้อขนมปังวันที่ 0

Formulation	ค่า cohesiveness				
	ตัวแดงหลวง	ตัวเขียวผิวมัน	ตัวเขียวผิวดำ	ตัวมะแฮะ	ตัวฟุ่ม
ข้าวหอมมะลิ105	0.937±0.04 ^{Aa}	0.553±0.10 ^{Da}	0.567±0.05 ^{Ca}	0.487±0.02 ^{Ea}	0.637±0.03 ^{Ba}
ข้าวปทุมธานี 1	0.657±0.03 ^{Ac}	0.583±0.02 ^{Cb}	0.553±0.01 ^{Db}	0.447±0.02 ^{Eb}	0.627±0.03 ^{Bb}
ข้าวสุพรรณบุรี	0.727±0.02 ^{Ab}	0.523±0.02 ^{Dc}	0.537±0.03 ^{Cc}	0.437±0.01 ^{Eb}	0.626±0.02 ^{Bb}

หมายเหตุ ^{A,B,C} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงชนิดของฟลาวัวร์ถือว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

หมายเหตุ ^{abc} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงชนิดของฟลาวัวร์ข้าวว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2) ค่า Cohesiveness

ค่า cohesiveness เป็นค่าความสามารถเกาะตัวรวมกันซึ่งเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของพันธะภายในที่เกิดขึ้นมาในอาหารแล้วทำให้อาหารทนต่อการเปลี่ยนรูปได้ถึงระยะทางหนึ่งก่อนที่มันจะขาดแตกออกจากกัน ไปเป็นชิ้นส่วนย่อยเมื่อมีแรงภายนอกกระทำซึ่งค่า cohesiveness หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่ 1 และ 2 จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าสูตรขนมปังที่ผสมด้วยฟลาวัวร์ตัวแดงหลวงและฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 มีค่า cohesiveness มีค่ามากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.2.3 ลักษณะความเป็นรูพรุนของเนื้อขนมปัง (Image analysis)

จากตารางที่ 4.9 พบว่าสูตรขนมปังที่ผสมด้วยฟลาวัวร์ตัวแดงหลวง กับฟลาวัวร์ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีจำนวนเซลล์ และความหนาแน่นของเซลล์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังอื่นๆอยู่ในช่วง 55.16-577.16 เซลล์ และ 62.58-65.33 เซลล์/ตร.ซม. ตามลำดับ อีกทั้งยังมีขนาดเซลล์เฉลี่ยเล็กที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาเป็นสูตรขนมปังที่ผสมด้วยฟลาวัวร์ตัวมะแฮะซึ่งมีจำนวนเซลล์อยู่ในช่วง 405.75-416.33 เซลล์ และมีความหนาแน่นของเซลล์อยู่ในช่วง 45.75-47.16 เซลล์/ตร.ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ลักษณะความเป็นรูพรุนของเนื้อขนมปัง (Image analysis)

ชนิดของถั่ว	ชนิดของข้าว	ลักษณะความเป็นรูพรุน					
		จำนวนเซลล์ (เซลล์)	ความหนาแน่นของ เซลล์ (เซลล์ / ตร.ซม.)	ขนาดเซลล์เฉลี่ย (ตร.มม.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าเฉลี่ย	เส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ยของเซลล์ (มม.)	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ เป็นเซลล์
ถั่วแดงหลวง	หอมมะลิ	555.16±0.13 ^{Aa}	62.58±0.04 ^{Aa}	0.52±0.06 ^{Da}	0.74±0.04 ^{Ca}	0.70±0.03 ^{Da}	33.36±0.04 ^{Ba}
	ปทุมธานี	577.16±0.13 ^{Aa}	65.33±0.01 ^{Aa}	0.46±0.05 ^{Eb}	0.73±0.01 ^{Ea}	0.65±0.03 ^{Eb}	31.53±0.02 ^{Ba}
	สุพรรณบุรี	569.16±0.14 ^{Aa}	64.33±0.04 ^{Aa}	0.51±0.02 ^{Da}	0.75±0.04 ^{Da}	0.69±0.04 ^{Da}	33.84±0.02 ^{Ba}
ถั่วเขียวผิวมัน	หอมมะลิ	364.66±0.13 ^{Ca}	41.08±0.03 ^{Ca}	0.80±0.05 ^{Ba}	1.28±0.03 ^{Ba}	0.83±0.03 ^{Ba}	33.53±0.02 ^{Ba}
	ปทุมธานี	339.66±0.11 ^{CDa}	38.41±0.02 ^{CDa}	0.77±0.02 ^{BCa}	1.32±0.05 ^{Ba}	0.81±0.03 ^{BCa}	30.63±0.03 ^{Ba}
	สุพรรณบุรี	382.83±0.12 ^{ABCa}	43.16±0.04 ^{BCa}	0.75±0.02 ^{Ba}	1.30±0.05 ^{Ba}	0.80±0.02 ^{Ba}	33.21±0.04 ^{BCa}
ถั่วเขียวผิวดำ	หอมมะลิ	351.33±0.15 ^{Ca}	39.83±0.05 ^{Ca}	0.74±0.05 ^{BCb}	1.19±0.05 ^{BCc}	0.79±0.05 ^{BCa}	30.24±0.05 ^{Ca}
	ปทุมธานี	327.91±0.13 ^{Da}	37.08±0.03 ^{Da}	0.81±0.01 ^{Ba}	1.45±0.03 ^{Ba}	0.82±0.03 ^{Ba}	31.15±0.03 ^{Ba}
	สุพรรณบุรี	357.16±0.12 ^{Ca}	40.41±0.02 ^{Ca}	0.75±0.02 ^{Bb}	1.32±0.02 ^{Bb}	0.79±0.02 ^{Ba}	31.37±0.02 ^{Ca}
ถั่วมะแฮะ	หอมมะลิ	415.41±0.13 ^{Ba}	46.83±0.03 ^{Ba}	0.65±0.05 ^{Cb}	0.99±0.03 ^{Cb}	0.76±0.03 ^{Ca}	31.74±0.02 ^{BCa}
	ปทุมธานี	416.33±0.11 ^{Ba}	47.16±0.02 ^{Ba}	0.65±0.02 ^{Bb}	1.04±0.05 ^{Bb}	0.76±0.03 ^{Da}	31.87±0.03 ^{Ba}
	สุพรรณบุรี	405.75±0.02 ^{Ba}	45.75±0.04 ^{Ba}	0.71±0.02 ^{BCa}	1.16±0.05 ^{BCa}	0.78±0.02 ^{BCa}	33.27±0.04 ^{Ca}
ถั่วพุ่ม	หอมมะลิ	395.83±0.15 ^{BCab}	44.75±0.05 ^{BCab}	0.69±0.05 ^{Ca}	1.19±0.05 ^{BCb}	0.78±0.05 ^{Ca}	32.02±0.05 ^{Ba}
	ปทุมธานี	370.00±0.13 ^{Cbc}	41.91±0.03 ^{Cbc}	0.72±0.01 ^{Ca}	1.30±0.03 ^{Ba}	0.79±0.03 ^{Ca}	31.89±0.03 ^{Ba}
	สุพรรณบุรี	422.41±0.12 ^{Ba}	47.83±0.02 ^{Ba}	0.63±0.02 ^{Cb}	0.97±0.02 ^{Cc}	0.75±0.02 ^{Ca}	30.86±0.02 ^{Ca}

หมายเหตุ ^{A,B,C} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันชนิดถั่วแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

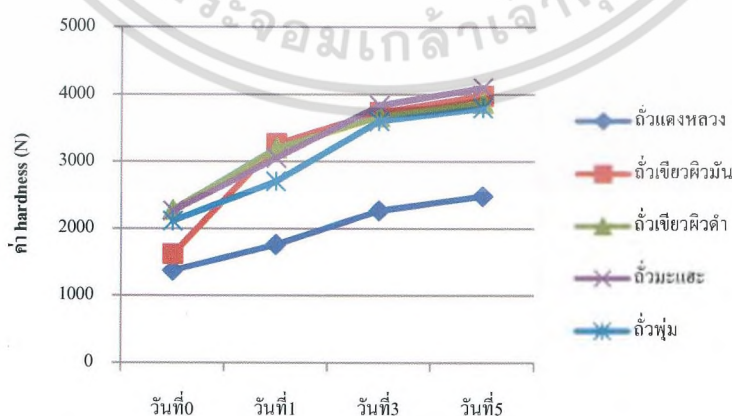
หมายเหตุ ^{a,b,c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันชนิดของข้าวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2.2.4 อายุการเก็บ

ติดตามอายุการเก็บรักษาขนมปังในวันที่ 0, 1, 3 และ 5 โดยวัดค่า hardness และค่า cohesiveness ของเนื้อขนมปัง จากภาพทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าค่า hardness และค่า cohesiveness ของขนมปังทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจะสังเกตได้ว่าค่า hardness เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปและค่า cohesiveness ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จากภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าสูตรของขนมปังที่ผสมฟลาวร์ ถั่วแดงหลวง กับข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์นั้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า hardness ค่าที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังที่ผสมฟลาวร์ถั่วชนิดอื่นๆ และค่า hardness ของสูตรขนมปังที่ผสมฟลาวร์ถั่วมะแฮะมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากกว่าสูตรขนมปังที่ผสมฟลาวร์ถั่วชนิดอื่นๆ จากภาพที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 พบว่าสูตรของขนมปังที่ผสมฟลาวร์ถั่วแดงหลวง กับข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์นั้นมีอัตราการลดลงของค่า cohesiveness ค่าที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังที่ผสมฟลาวร์ถั่วชนิดอื่นๆ สูตรขนมปังที่ผสมฟลาวร์ถั่วมะแฮะมีอัตราการลดลงของค่า cohesiveness มากกว่าสูตรขนมปังที่ผสมฟลาวร์ถั่วชนิดอื่นๆ

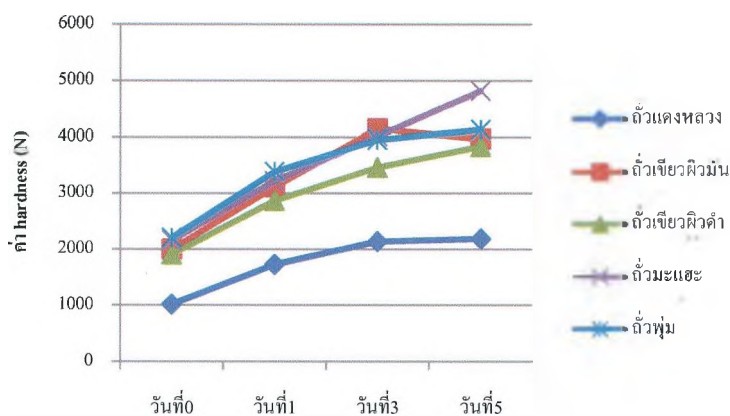


ภาพที่ 4.2 ค่า Hardness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวร์ข้าวหอมมะลิ 105 กับถั่วชนิดต่างๆ

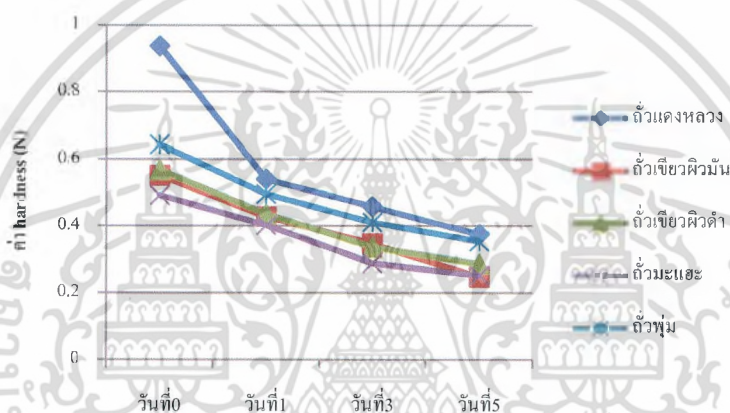


ภาพที่ 4.3 ค่า Hardness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวร์ข้าวปทุมธานี 1 กับถั่วชนิดต่างๆ

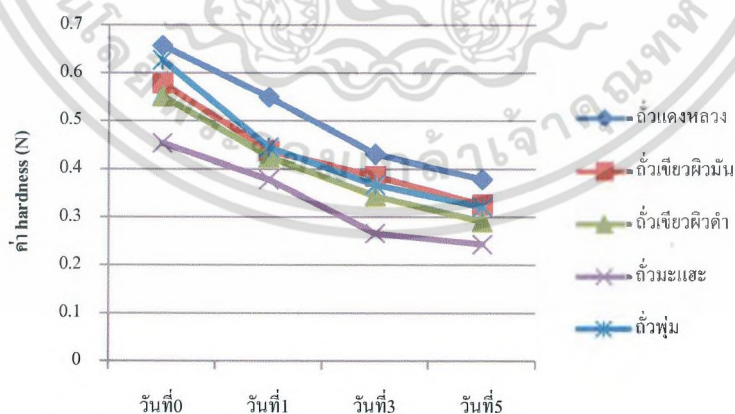
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ค่า Hardness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวร์ข้าวสุพรรณบุรีกับถั่วชนิดต่างๆ

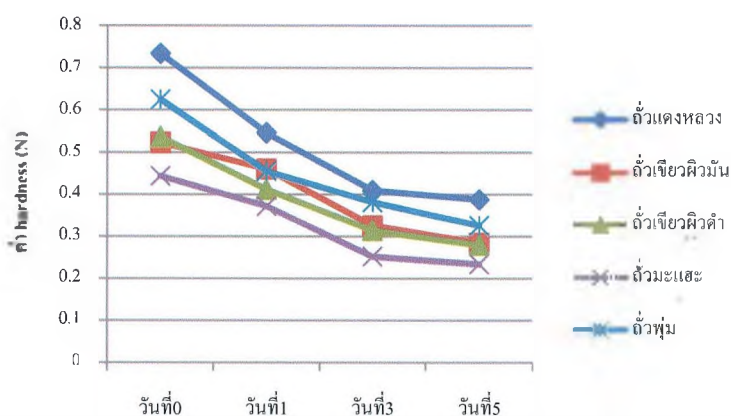


ภาพที่ 4.5 ค่า Cohesiveness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวร์ข้าวหอมมะลิ 105 กับถั่วชนิดต่างๆ



ภาพที่ 4.6 ค่า Cohesiveness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวร์ข้าวปทุมธานี 1 กับถั่วชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ค่า Cohesiveness ตลอด 5 วันของขนมปังสูตรฟลาวัวร์ข้าวสุพรรณบุรีกับถั่วชนิดต่างๆ

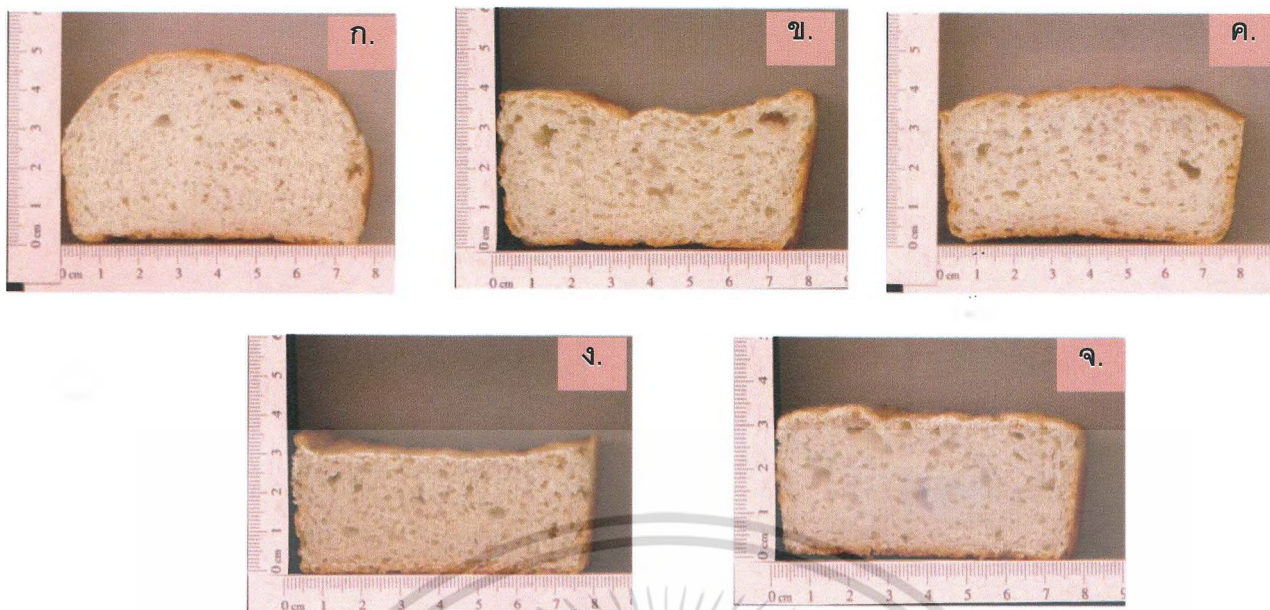
4.2.2.5 ลักษณะปรากฏของขนมปัง

ภาพที่ 4.8-4.10 เป็นภาพตัดขวางของขนมปังแสดงให้เห็นเนื้อด้านในแล้วรูปร่างของขนมปังสูตรต่างๆ ได้อย่างชัดเจนซึ่งจากภาพจะเห็นว่าสูตรขนมปังที่ผสมฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงจะผสมกับข้าวชนิดใดก็ตามจะแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะของก้อนขนมปังมีความสมมาตร และให้ปริมาตรขนมปังที่สูงมีรูพรุนที่ค่อนข้างละเอียดดี รูพรุนมีขนาดสม่ำเสมอ และเล็ก ในขณะที่ถั่วชนิดอื่นๆ ให้ขนมปังที่รูปร่างไม่ดี มีปริมาตรต่ำ และมีรูพรุนที่อันแน่นไม่สม่ำเสมอ และรูพรุนมีขนาดใหญ่

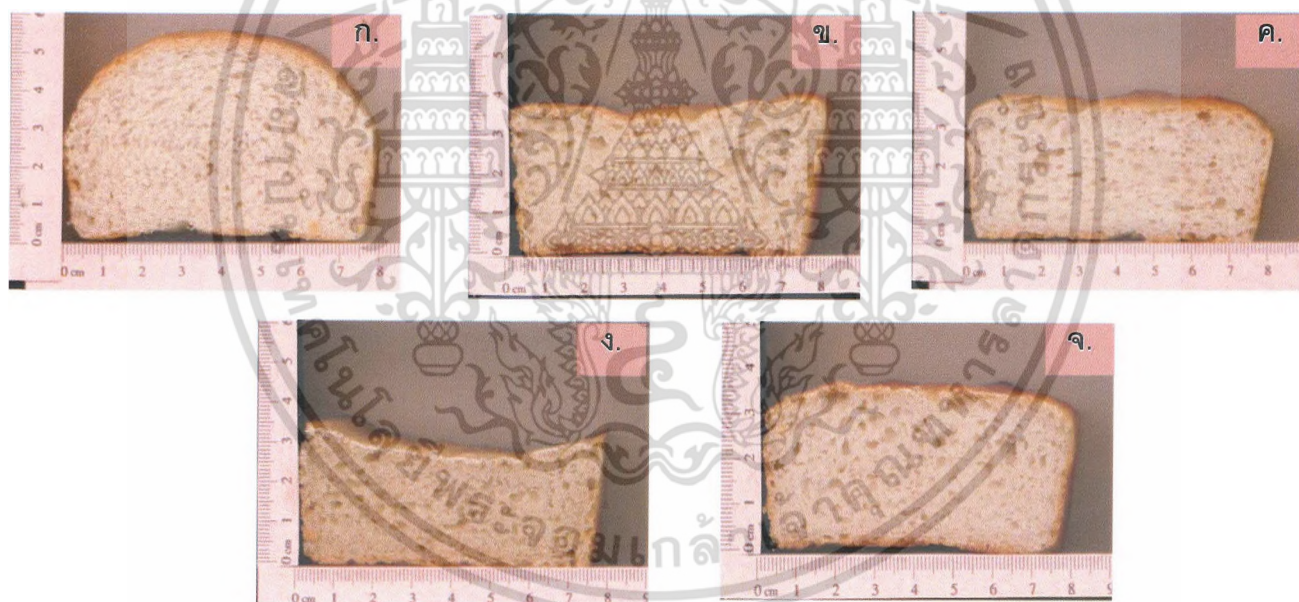


ภาพที่ 4.8 ภาพขนมปังสูตรที่ผสมข้าวหอมมะลิ 105 กับ ถั่วแดงหลวง(ก) ถั่วเขียวผิวมัน(ข) ถั่วเขียวผิวดำ(ค) ถั่วมะแฮะ(ง) และ ถั่วพุ่ม(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ภาพขนมปังสูตรที่ผสมข้าวปทุมธานี 1 กับ ถั่วแดงหลวง(ก) ถั่วเขียวผิวมัน(ข)
ถั่วเขียวผิวดำ(ค) ถั่วมะแฮะ(ง) และ ถั่วพุ่ม(จ)



ภาพที่ 4.10 ภาพขนมปังสูตรที่ผสมข้าวสุพรรณบุรีกับ ถั่วแดงหลวง(ก) ถั่วเขียวผิวมัน(ข)
ถั่วเขียวผิวดำ(ค) ถั่วมะแฮะ(ง) และ ถั่วพุ่ม(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

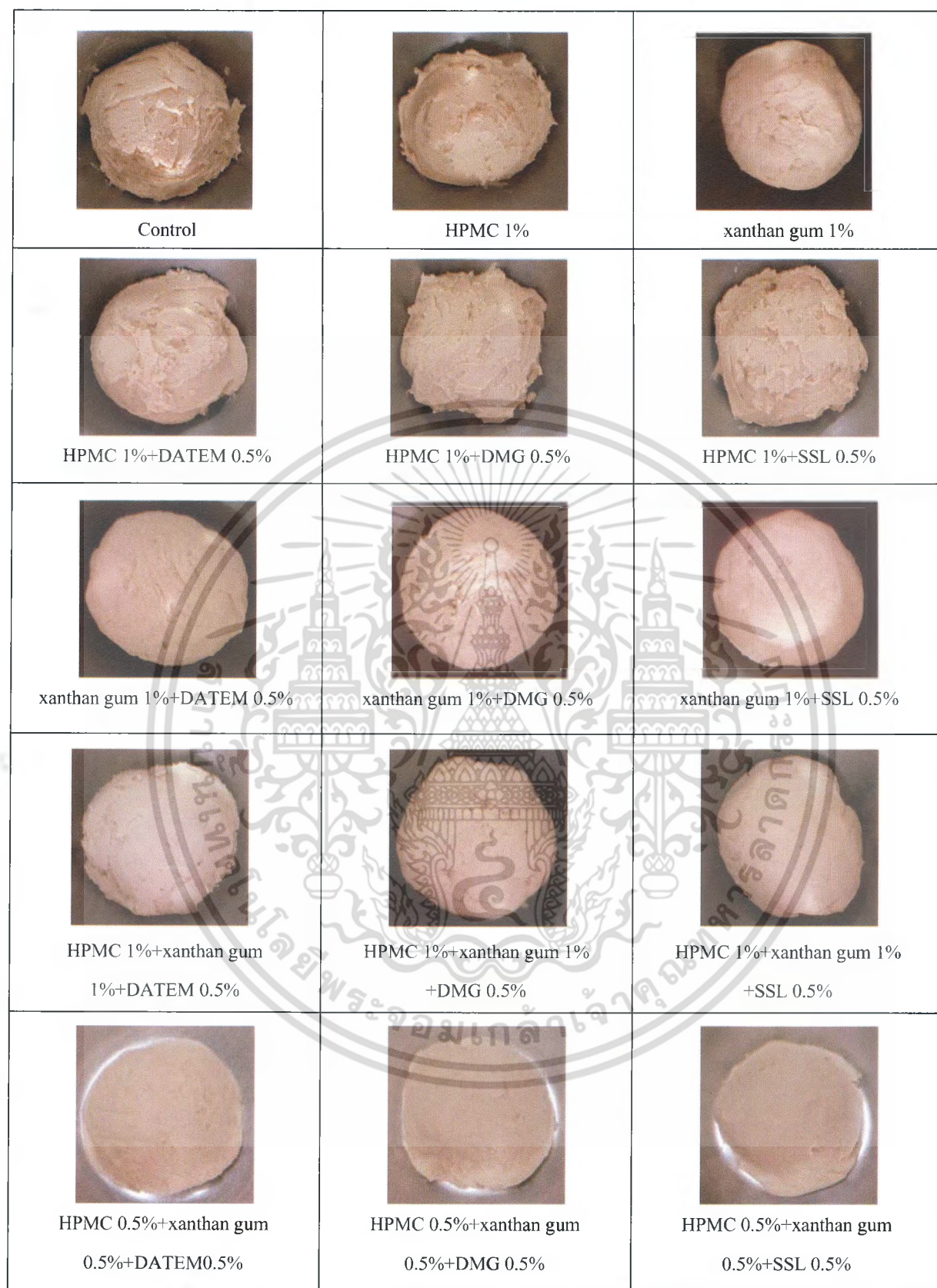
เมื่อสิ้นสุดการทดลองในขั้นนี้ผลการทดลองที่ได้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วที่เหมาะสมที่จะใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไปคือ ฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวง และฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 เนื่องจากฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงมีผลทำให้ค่า proofing และ ค่าความยืดหยุ่นของ โดขนมปังสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังที่ใช้ฟลาวัวร์ถั่วชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังให้ลักษณะความสมมาตรของขนมปังที่ดี ส่วนฟลาวัวร์ของข้าวหอมมะลิ 105 นั้นทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังมีความนุ่มให้ค่า hardness ที่ต่ำกว่าสูตรขนมปังที่ใช้ฟลาวัวร์ข้าวชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสูตรขนมปังที่ใช้ฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงและฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 นั้นยังมีความหนาแน่นของรูพรุนที่ดี รูพรุนมีความละเอียด และเมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วันพบว่าการลดลงของค่า hardness ต่อระยะเวลาที่เปลี่ยนไปมีการลดลงต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ

4.3 ผลของการศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ และชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์

4.3.1 ลักษณะของโดขนมปังหลังสิ้นสุดการขึ้นตอนการผสม

จากภาพที่ 4.11 จะพบว่าโดของขนมปังหลังจากผสมเสร็จที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์เพียงชนิดเดียวอย่าง HPMC จะมีลักษณะของโดที่ค่อนข้างแฉะ และ ไม่มีความยืดหยุ่น และเมื่อนวดจะทำให้โดติดมือเป็นผลให้ปั้นขึ้นรูปได้ยาก แต่โดที่เติม xanthan gum ทำให้โดของขนมปังโดมีลักษณะที่แห้งและแข็งกว่าโดที่เติม HPMC และสามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น โดยไม่ติดมือ และเมื่อนำสารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดมาผสมรวมกันในระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโดขนมปังที่ได้มีความนุ่มมากขึ้น และสามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่าย ส่วนในระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ โดจะแห้งกว่าและแข็งกว่า อันเนื่องมาจากสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมเพิ่มไปมีความสามารถในการดูดซับน้ำมาก ส่วนชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมลงไปนั้นส่งผลกระทบ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงต่อโดของขนมปังได้น้อยกว่าสารไฮโดรคอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ลักษณะของโคชนมπίงสูตรต่างๆหลังจากสิ้นสุดขั้นตอนการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 (proofing)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์ xanthan gum ที่เติมลงไปในสูตรขนมปังใด ๆ มีอิทธิพลต่อความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 (proofing) คือมีความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 มากกว่าสูตรขนมปังที่ไม่เติม xanthan gum อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อผสม HPMC ลงไปด้วยผลปรากฏว่าความสูงของโดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.10 ความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 (proofing)

สูตรขนมปัง	Proofing (เซนติเมตร)
Control	3.566±0.057 ^e
HPMC 1%	3.516±0.028 ^e
xanthan gum 1%	4.933±0.057 ^a
HPMC 1%+DATEM 0.5%	4.003±0.005 ^d
HPMC 1%+DMG 0.5%	4.006±0.011 ^d
HPMC 1%+SSL 0.5%	4.010±0.017 ^d
xanthan gum 1%+DATEM 0.5%	4.996±0.005 ^a
xanthan gum 1%+DMG 0.5%	4.993±0.011 ^a
xanthan gum 1%+SSL 0.5%	4.996±0.005 ^a
HPMC 1%+xanthan gum 1% +DATEM 0.5%	4.833±0.057 ^b
HPMC 1% +xanthan gum 1% +DMG 0.5%	4.866±0.057 ^b
HPMC 1% +xanthan gum 1% +SSL 0.5%	4.433±0.057 ^c
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+DATEM 0.5%	4.006±0.005 ^d
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+DMG 0.5%	4.006±0.001 ^d
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+SSL 0.5%	4.016±0.007 ^d

หมายเหตุ ^{abc} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

จากตารางที่ 4.11 พบว่าปริมาตรจำเพาะของสูตรขนมปังใดๆที่เติม xanthan gum ส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะมีค่าสูงกว่าสูตรขนมปังที่ไม่เติม xanthan gum อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อลดระดับปริมาณ xanthan gum ลงจาก 1 เปอร์เซ็นต์ไปเป็น 0.5 เม็ดผลเปอร์เซ็นต์ทำให้ค่าปริมาตรจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.11 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง(ซม³/กรัม)

Formulation	ปริมาตรจำเพาะ(ซม ³ /กรัม)
Control	1.116±0.002 ^d
HPMC 1%	1.116±0.003 ^d
Xanthan gum 1%	1.176±0.004 ^{ab}
HPMC 1%+DATEM 0.5%	1.136±0.003 ^c
HPMC 1%+DMG 0.5%	1.130±0.001 ^c
HPMC 1%+SSL 0.5%	1.133±0.002 ^c
xanthan gum 1%+DATEM 0.5%	1.180±0.001 ^a
xanthan gum 1%+DMG 0.5%	1.170±0.003 ^b
xanthan gum 1%+SSL 0.5%	1.176±0.001 ^{ab}
HPMC 1%+xanthan gum 1%+DATEM 0.5%	1.180±0.002 ^a
HPMC 1% +xanthan gum 1% +DMG 0.5%	1.170±0.003 ^b
HPMC 1% +xanthan gum 1% +SSL 0.5%	1.176±0.001 ^{ab}
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+DATEM 0.5%	1.130±0.003 ^c
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+DMG 0.5%	1.130±0.001 ^c
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+SSL 0.5%	1.131±0.002 ^c

หมายเหตุ ^{a,b,c,d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 เนื้อสัมผัสของขนมปังที่เวลา 0 วัน

จากตารางที่ 4.12 พบว่าการใส่สารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดคือ HPMC และ xanthan gum ลงในสูตรขนมปังนั้นมีผลทำให้ค่า hardness มีค่าสูงกว่าสูตรขนมปังที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์เพียงชนิดเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องมาจากสารไฮโดรคอลลอยด์มีสมบัติการดูดซับน้ำมาก จึงเป็นผลทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังแข็งขึ้น และพบอีกว่าสูตรขนมปังที่เติม HPMC ทั้ง 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า hardness ที่ต่ำกว่าสูตรขนมปังที่ไม่ได้ใส่ HPMC สูตรขนมปังที่เติม xanthan gum ทั้ง 1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่า springiness ที่ดีกว่าสูตรขนมปังที่ไม่เติม xanthan gum ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสวันที่ 0 ของเนื้อขนมปังต่อการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ต่างกันจะเห็นผลชัดกว่าการวิเคราะห์ด้วยค่าอื่นๆ จากตารางจะเห็นว่า DATEM มีผลทำให้ขนมปังมีค่า hardness ที่ต่ำกว่าอิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และให้ค่า cohesiveness ต่ำกว่าขนมปังสูตรที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ตัวอื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 เนื้อสัมผัสของขนมปังที่เวลา 0 วัน

Texture formulation	Hardness	Springiness	Cohesiveness	Chewiness
Control	5664.10±213.12 ^b	0.7367±0.003 ^{cde}	0.3800±0.003 ^{def}	1699.50±101.12 ^d
HPMC 1%	4783.30±245.42 ^d	0.7200±0.002 ^{de}	0.4000±0.004 ^{de}	1373.73±112.09 ^e
xanthan gum 1%	6025.02±304.17 ^a	0.8767±0.001 ^a	0.5233±0.002 ^{abc}	2784.58±122.14 ^a
HPMC 1%+DATEM 0.5%	2623.54±187.52 ^h	0.7267±0.003 ^{de}	0.3400±0.001 ^f	678.69±87.29 ^f
HPMC 1%+DMG 0.5%	2910.70±201.42 ^g	0.7133±0.001 ^{de}	0.3400±0.004 ^f	723.38±92.77 ^f
HPMC 1%+SSL 0.5%	3357.43±171.19 ^f	0.6867±0.004 ^e	0.3667±0.002 ^{ef}	788.61±82.09 ^f
xanthan gum 1%+DATEM 0.5%	33809.08±201.36 ^e	0.8167±0.003 ^{ab}	0.4800±0.004 ^c	1431.26±132.69 ^{de}
xanthan gum 1%+DMG 0.5%	55329.33±233.23 ^c	0.8533±0.004 ^a	0.5433±0.002 ^{ab}	2409.69±154.22 ^{hc}
xanthan gum 1%+SSL 0.5%	55597.34±241.12 ^{bc}	0.8667±0.003 ^a	0.5533±0.003 ^a	2780.71±133.09 ^a
HPMC 1% +xanthan gum 1% +DMG 0.5%	5506.03±211.52 ^{bc}	0.8730±0.001 ^a	0.4997±0.003 ^{bc}	2400.23±142.19 ^{bc}
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+DATEM 0.5%	4623.842±231.12 ^d	0.7300±0.003 ^{cde}	0.4053±0.002 ^{de}	1370.52±151.48 ^e
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+DMG0.5%	4666.069±245.14 ^d	0.7723±0.001 ^{bcd}	0.4213±0.001 ^d	1522.94±142.74 ^{de}
HPMC 0.5%+xanthan gum 0.5%+SSL 0.5%	4532.1010±251.02 ^d	0.8023±0.003 ^{abc}	0.4203±0.002 ^d	1526.71±122.18 ^{de}

หมายเหตุ^{abc} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ลักษณะความเป็นรูปทรงของเนื้อขนมปัง (Image analysis)

จากตารางที่ 4.13 พบว่าสูตรขนมปังที่เติม xanthan gum และ HPMC 1 เปอร์เซ็นต์มีจำนวนเซลล์และความหนาแน่นของเซลล์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังอื่นๆ รองลงมาคือสูตรควบคุม และสูตรที่เติม xanthan gum 1 เปอร์เซ็นต์ + DMG 0.5 เปอร์เซ็นต์, สูตรที่เติม HPMC 1 เปอร์เซ็นต์ + xanthan gum 1 เปอร์เซ็นต์ + SSL 0.5 เปอร์เซ็นต์, HPMC 0.5 เปอร์เซ็นต์ + xanthan gum 0.5 เปอร์เซ็นต์ + DMG 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ HPMC 0.5 เปอร์เซ็นต์ + xanthan gum 0.5 เปอร์เซ็นต์ + SSL 0.5 เปอร์เซ็นต์มีจำนวนเซลล์และความหนาแน่นของเซลล์น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังอื่นๆ สูตรที่เติม HPMC 0.5 เปอร์เซ็นต์ + xanthan gum 0.5 เปอร์เซ็นต์ + SSL 0.5 เปอร์เซ็นต์มีขนาดรูพรุนใหญ่ที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของเซลล์ และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ของทุกสูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สูตรที่เติม HPMC 1 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เป็นเซลล์มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ลักษณะความรูพรุนของเนื้อขนมปัง

ตัวอย่าง	จำนวนเซลล์ (เซลล์)	ความหนาแน่นของ เซลล์ (เซลล์ / ตร.ซม.)	ขนาดเซลล์เฉลี่ย (ตร.มม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน ของค่าเฉลี่ย	เส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ย ของเซลล์ (มม.)	เปอร์เซ็นต์ของ พื้นที่ที่เป็นเซลล์
Control	264.33±2.006 ^{bc}	130.33±3.019 ^a	0.088±0.003 ^c	0.100±0.001 ^a	0.297±0.002 ^a	11.75±0.113 ^{ab}
HPMC 1%	294.33±5.176 ^a	133.00±3.074 ^a	0.109±0.002 ^{bc}	0.131±0.003 ^a	0.327±0.002 ^a	14.98±0.120 ^a
xanthan gum 1%	283.33±3.006 ^a	128.33±4.036 ^a	0.098±0.001 ^c	0.116±0.002 ^a	0.307±0.003 ^a	12.99±0.125 ^{ab}
HPMC1%+DATEM 0.5%	223.66±3.176 ^{fg}	101.00±4.076 ^d	0.095±0.001 ^c	0.110±0.003 ^a	0.310±0.002 ^a	10.31±0.110 ^b
HPMC1%+DMG 0.5%	251.33±2.036 ^d	113.33±3.021 ^{bc}	0.091±0.002 ^c	0.128±0.001 ^a	0.297±0.003 ^a	10.75±0.160 ^b
HPMC1%+SSL 0.5%	252.33±4.176 ^d	114.00±4.176 ^{bc}	0.088±0.003 ^c	0.096±0.002 ^a	0.298±0.002 ^a	10.49±0.133 ^b
xanthan gum1%+DATEM 0.5%	233.66±4.215 ^{ef}	105.67±5.276 ^{cd}	0.115±0.002 ^{bc}	0.119±0.001 ^a	0.337±0.003 ^a	12.69±0.124 ^{ab}
xanthan gum1%+DMG 0.5%	271.33±2.136 ^b	122.67±4.015 ^{ab}	0.083±0.003 ^c	0.147±0.003 ^a	0.285±0.001 ^a	10.22±0.123 ^b
xanthan gum 1%+SSL 0.5%	217.00±4.013 ^g	98.00±4.072 ^d	0.104±0.002 ^{bc}	0.133±0.001 ^a	0.321±0.002 ^a	10.51±0.110 ^b
HPMC1%+xanthan gum1% +DATEM 0.5%	236.00±5.246 ^e	106.67±3.076 ^{cd}	0.104±0.001 ^{bc}	0.138±0.002 ^a	0.318±0.001 ^a	11.44±0.111 ^{ab}

ตัวอย่าง	จำนวนเซลล์ (เซลล์)	ความหนาแน่นของ เซลล์ (เซลล์ / ตร.ซม.)	ขนาดเซลล์เฉลี่ย (ตร.มม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน ของค่าเฉลี่ย	เส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ย ของเซลล์ (มม.)	เปอร์เซ็นต์ของ พื้นที่ที่เป็นเซลล์
HPMC1% +xanthan gum1% +DMG 0.5%	252.00±4.076 ^d	113.67±2.036 ^{bc}	0.090±0.002 ^c	0.125±0.001 ^a	0.295±0.002 ^a	10.79±0.110 ^b
HPMC1% +xanthan gum1% +SSL 0.5%	256.00±2.026 ^{cd}	115.67±4.022 ^{bc}	0.100±0.001 ^c	0.135±0.002 ^a	0.311±0.001 ^a	11.91±0.104 ^{ab}
HPMC0.5+xanthan gum0.5%+DATEM0.5%	217.07±3.013 ^g	101.00±3.176 ^d	0.104±0.001 ^{bc}	0.119±0.002 ^a	0.304±0.001 ^a	10.50±0.120 ^b
HPMC0.5+xanthan gum 0.5%+DMG0.5%	217.00±4.015 ^g	102.00±2.074 ^d	0.179±0.001 ^b	0.133±0.001 ^a	0.311±0.002 ^a	9.67±0.160 ^b
HPMC0.5+xanthan gum0.5%+SSL0.5%	217.33±3.023 ^g	106.33±3.006 ^{cd}	0.299±0.001 ^a	0.131±0.002 ^a	0.318±0.001 ^a	10.50±0.113 ^b

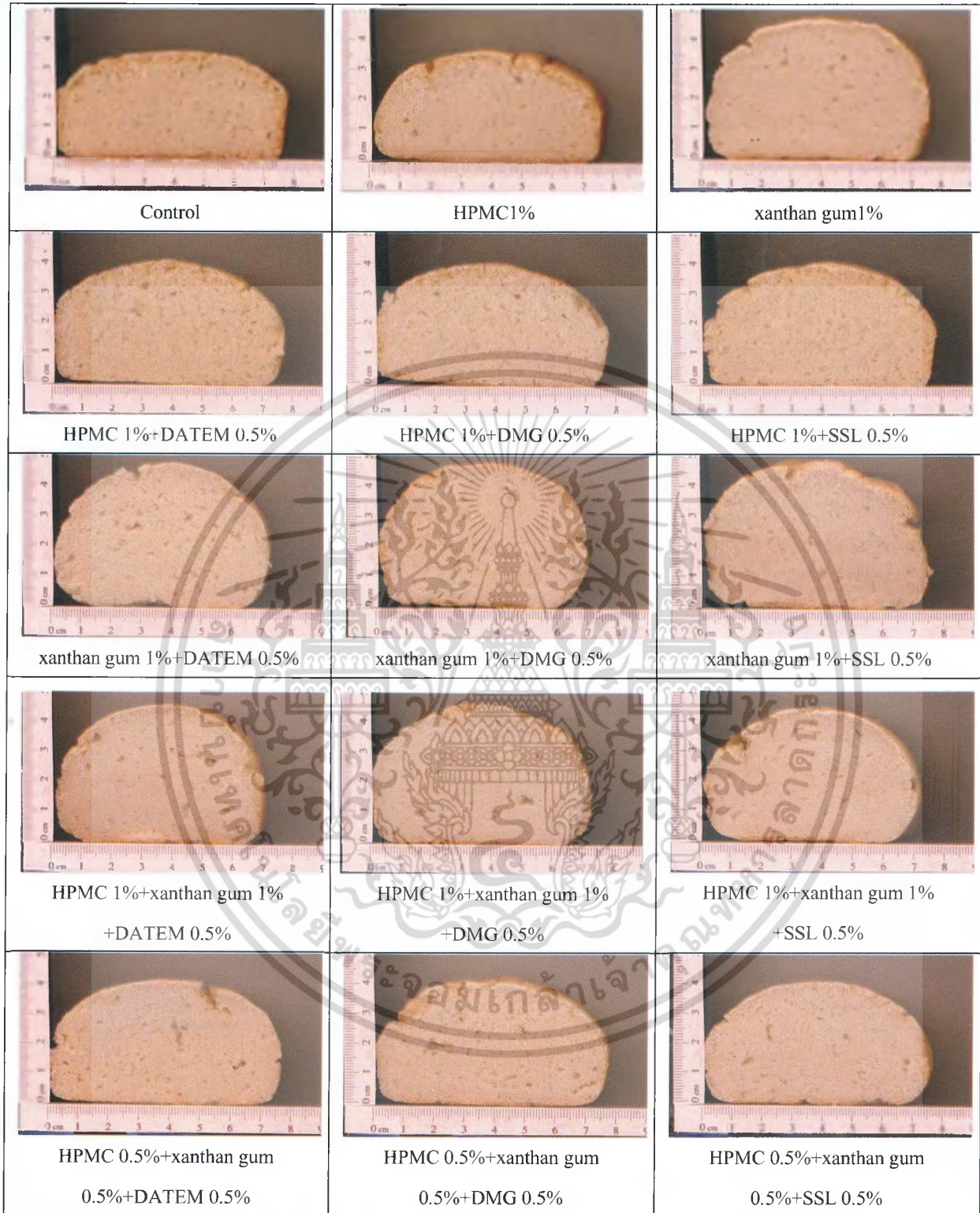
หมายเหตุ หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.6 ลักษณะทางกายภาพของขนมปัง

จากภาพที่ 4.12 สูตรขนมปังที่เป็นสูตรควบคุม คือไม่ใส่ทั้งสารไฮโดรคอลลอยด์และสารอิมัลซิไฟเออร์นั้นมีความสูงของโคดำที่สุด และพบว่าสูตรขนมปังที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์เพียงชนิดเดียวอย่าง xanthan gum 0.5 หรือ 1 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้ความสูงของโคดำเพิ่มขึ้น ลักษณะของเนื้อขนมปังจะมีความแน่นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ใส่ xanthan gum สูตรขนมปังที่เติม HPMC 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์ มีความสูงของโคดำต่ำกว่าสูตรที่เติม xanthan gum เฉลี่ยประมาณ 1 เซนติเมตร ลักษณะเนื้อขนมปังจะมีความเป็นรูพรุนสูง รูพรุนมีขนาดเล็กและละเอียดมาก การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดร่วมกันในการผลิตขนมปังนั้นจะพบว่า ทำให้ความสูงของโคดำต่ำกว่าการเติม xanthan gum เพียงชนิดเดียว แต่เมื่อเปรียบเทียบการกับการเติม HPMC เพียงชนิดเดียวพบว่าความสูงของโคดำไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ส่วนสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมลงไปนั้นจะพบว่าการเติมลงไปนั้นจากภาพที่ 4.12 ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 ลักษณะทางกายภาพของขนมปังสูตรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ และชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนจากการศึกษาพบว่า xanthan gum นั้นมีผลทำให้โดของขนมปังหลังจากสิ้นสุดกระบวนการผสมมีลักษณะที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่าย ไม่ติดมือ อีกทั้งยังทำให้ความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 สูงที่สุด แม้ว่าสูตรขนมปังที่เติม xanthan gum จะมีค่า hardness ที่สูง แต่กลับพบว่าให้ค่า springiness ที่สูงกว่าสูตรที่ไม่เติม xanthan gum ส่วน HPMC ทำให้เนื้อขนมปังความนุ่ม มีค่า hardness ที่ต่ำ และมีลักษณะพูนที่ดี และจากผลการทดลองพบว่าสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมลงไปนั้นส่งผลกระทบต่อขนมปังน้อยกว่าสารไฮโดรคอลลอยด์ แต่สูตรขนมปังที่เติม DATEM จะให้ค่า hardness ที่ต่ำกว่าสูตรขนมปังที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นๆ แต่จากทดลองทางประสาทสัมผัสเบื้องต้นพบว่า การเติมอิมัลซิไฟเออร์ DATEM และ DMG มีผลต่อรสชาติของขนมปังคือทำให้ขนมปังมีรสชาติขมดั่งนั้นในการทดลองขั้นต่อไปคือการหาสูตรที่เหมาะสมเพื่อผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนจะเลือกใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 2 ชนิดโดยจะกำหนดปริมาณที่แน่นอนใน HPMC ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาปริมาณของ xanthan gum โดยใช้การวิเคราะห์หาพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology; RSM) และเลือกใช้สารอิมัลซิไฟเออร์คือ SSL ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ศึกษาปริมาณข้าว ถั่ว ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.7 และศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์อิมัลชันไฟเบอร์ที่คัดเลือกแล้วจากข้อ 3.8 ศึกษาปริมาณน้ำ โดยใช้วิธีวิเคราะห์หาพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology ; RSM) เพื่อให้ได้สูตรที่เหมาะสมในการทำขนมปังปราศจากกลูเตน

ศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังปลอดกลูเตน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาพื้นผิวสะท้อน(Response Surface Methodology ; RSM) โดยการออกแบบการทดลองแบบ box-behnken ที่มีผลต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปัง และค่า hardness ของเนื้อขนมปังวันที่ 0 จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้

จากตาราง 4.14 พบว่าข้อมูลที่ได้จากทุกค่าตอบสนองมีสมการ (model) สามารถนำมาใช้ทำนายผลได้ เนื่องจากในแต่ละค่าตอบสนองมี lack of fit ที่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (Coefficient, R^2) ของค่าตอบสนองอยู่ในช่วง 0.71-0.88 แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะนำสมการจากตารางที่ 4.15 มาอธิบายถึงความสัมพันธ์ ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา คือ ปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในการทำขนมปังปราศจากกลูเตน

4.4.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปัง

4.4.1.1 ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

เมื่อใช้ปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ต่างกันมีผลทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเพิ่มปริมาณฟลาวัวร์ข้าว และปริมาณฟลาวัวร์ถั่วเป็นสองเท่า มีผลทำให้ปริมาตรจำเพาะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังที่แสดงในตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.13

4.4.1.2 ค่า hardness

พบว่าปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ต่างกันมีผลทำให้ค่า hardness ของขนมปังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ปริมาณฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ มีผลทำให้ค่า hardness ของขนมปังเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังที่แสดงในตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟลาวรรี่ข้าว ปริมาณฟลาวรรี่ถั่ว ปริมาณน้ำ และ ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปัง

Source	F VALUE	
	Specific volume	Hardness
Model	2.56*	46.03**
A-Legume	0.067	35.52*
B-Rice	0.28	119.21*
C-Water	1.32	27.63*
D-Hydrocolloid	2.40	1.74
AB	1.45	-
AC	0.63	-
AD	3.51	-
BC	1.56	-
BD	0.15	-
CD	0.95	-
A ²	9.39*	-
B ²	18.12*	-
C ²	1.27	-
D ²	1.86	-
Lack of Fit	0.83 ^{ns}	2.74 ^{ns}
R ²	0.7187	0.8847

*Significant at (p<0.05). **Significant at (p<0.01). ^{ns} Not significant

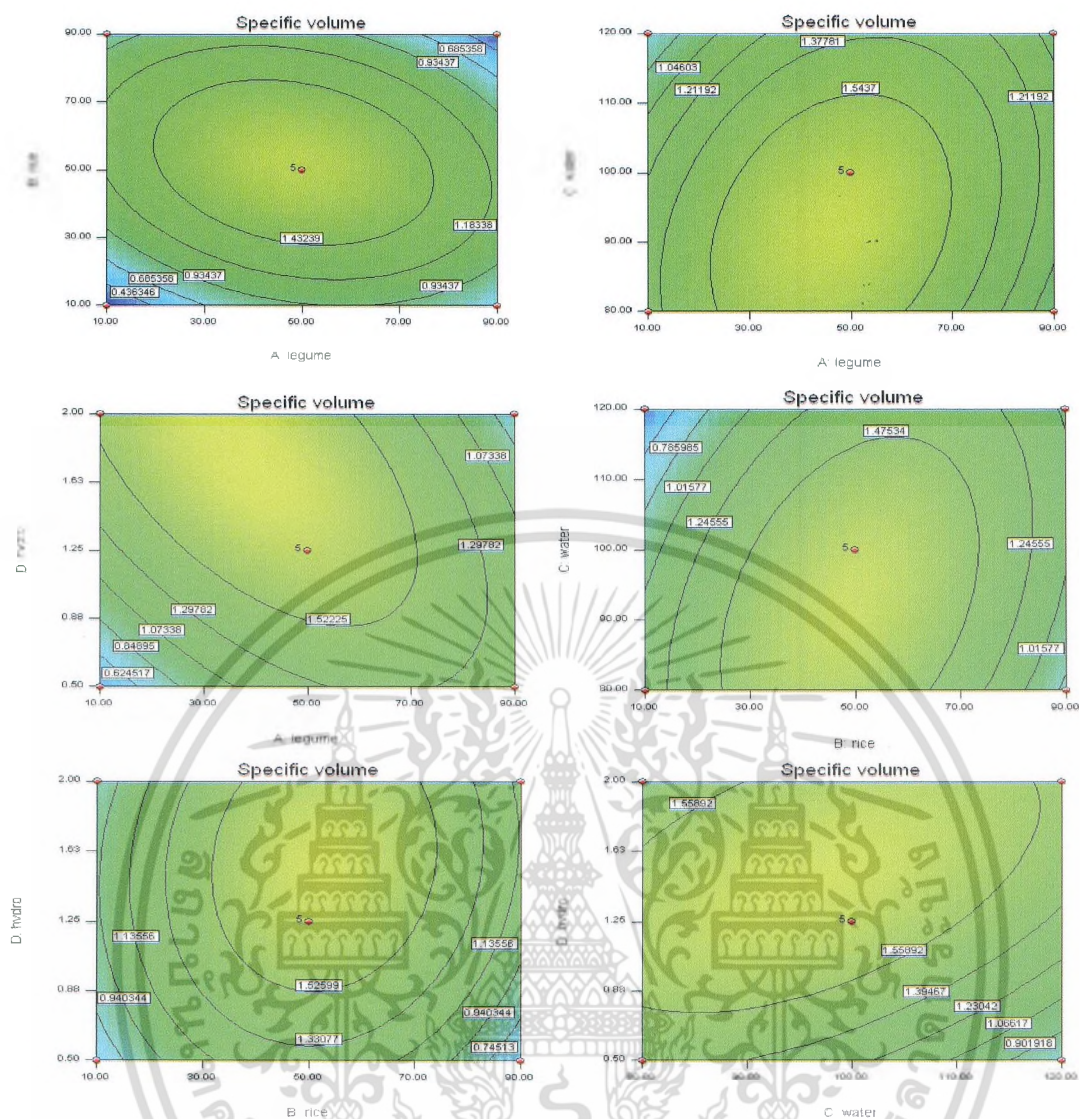
ตารางที่ 4.15 สมการค่าคุณสมบัติต่างๆของโคและขนมปัง

คุณสมบัติ	สมการ	R ²
ปริมาตรจำเพาะ	$Y = 1.68 - 0.031 * A + 0.065 * B - 0.14 * C + 0.19 * D - 0.25 * A * B + 0.17 * A * C - 0.39 * A * D + 0.26 * B * C + 0.080 * B * D + 0.20 * C * D - 0.50 * A^2 - 0.70 * B^2 - 0.19 * C^2 - 0.22 * D^2$	0.7187
ค่า hardness วันที่ 0	$Y = 4372.53 + 1904.05 * A + 3488.01 * B - 1679.10 * C + 421.35 * D$	0.8847

หมายเหตุ A หมายถึง ปริมาณฟลาวรรี่ถั่ว B หมายถึง ปริมาณฟลาวรรี่ข้าว

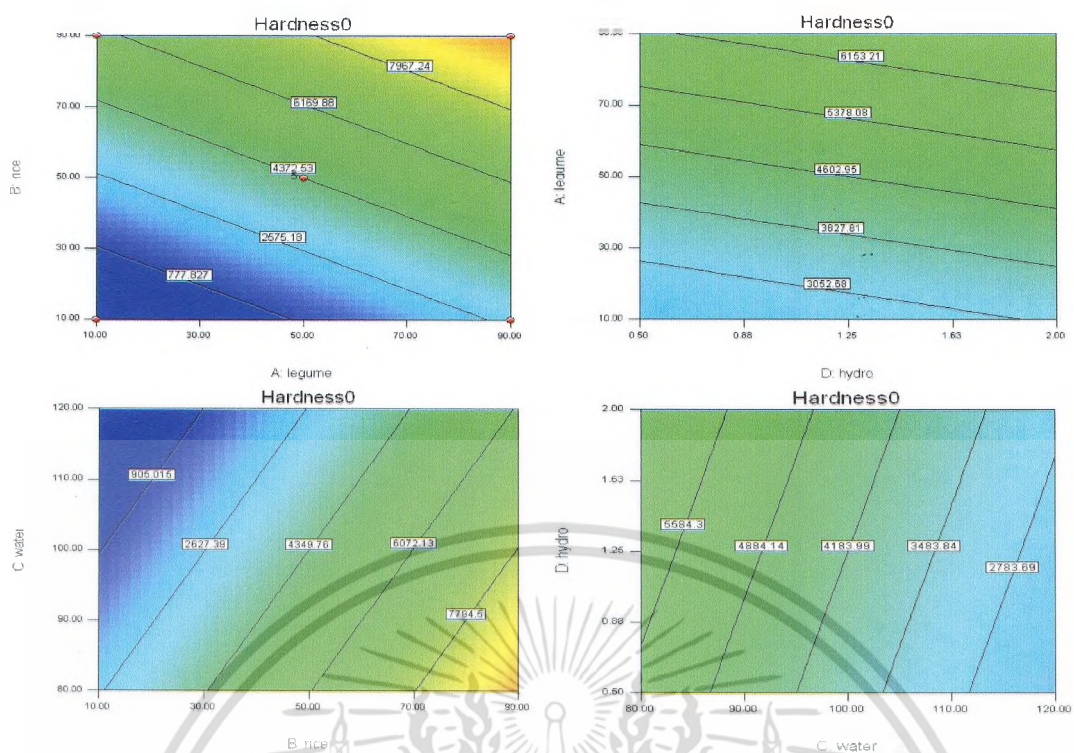
C หมายถึง ปริมาณน้ำ D หมายถึง ปริมาณไฮโดรคอลลอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 แผนภาพคอนทัวร์ แสดงผลของปริมาณถั่ว, ปริมาณข้าว, ปริมาณน้ำ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 แผนภาพคอนทัวร์ แสดงผลของปริมาณถั่ว, ปริมาณข้าว, ปริมาณน้ำ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อค่า hardness ของขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน

จากตารางที่ 4.16 แสดงสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน เมื่อกำหนดให้ปริมาณจำเพาะของขนมปังให้สูงที่สุด ค่า hardness วันที 0 ให้ต่ำที่สุด เนื่องจากขนมปังที่ดีจะต้องมีปริมาณจำเพาะที่สูง และมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม จากการกำหนดช่วงตอบสนอง สามารถทำนายจุดหรือพื้นที่ที่เหมาะสม (Optimization) ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน พบว่าสัดส่วนของส่วนผสมในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนคือ ใช้ฟลาวัวร์ข้าว 23.67 เปอร์เซ็นต์ ฟลาวัวร์ถั่ว 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด ซึ่งจะได้อรรถการยอมรับ (Desirability) ที่ 0.817 ซึ่งจัดว่าเป็นคะแนนที่อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่ดี คือระหว่าง 1.00-0.80 ดังที่แสดงในตาราง 4.17

ตารางที่ 4.16 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน

Response variable	Optimization of drying condition					
	Goal	Lower	Upper	Weight	Predicted Responses	Desirability
Specific volume	maximize	0	2.479	1	1.0822	0.821
Hardness	minimize	161.901	11747	1	2266.95	0.984

ตารางที่ 4.17 สัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตน

Legume	Rice	Water	Hydrocolloid	Specific volume	Hardness	Desirability
10.00	23.67	80.00	2.00	1.084	2273.11	0.817

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนโดยใช้ฟลาวัวร์ข้าว และฟลาวัวร์ถั่ว สรุปผลการทดลองได้ดังนี้จากการศึกษาในขั้นตอนแรกเพื่อคัดเลือคชนิดของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วที่จะใช้ผลิตเป็นขนมปังปราศจากกลูเตน พบว่าฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ถั่วที่เหมาะสมคือ ฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวง และฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 เนื่องจากฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงมีผลทำให้ค่า proofing และ ค่าความยืดหยุ่นของโดขนมปังสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรขนมปังที่ใช้ฟลาวัวร์ถั่วชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังให้ลักษณะความสมมาตรของขนมปังที่ดี ส่วนฟลาวัวร์ของข้าวหอมมะลิ 105 นั้นทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังมีความนุ่ม ให้ค่า hardness ที่ต่ำกว่าสูตรขนมปังที่ใช้ฟลาวัวร์ข้าวชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสูตรขนมปังที่ใช้ฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวงและฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 นั้นยังมีความหนาแน่นของรูพรุนที่ดี รูพรุนมีความละเอียด และเมื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วันพบว่าการลดลงของค่า hardness ต่อระยะเวลาที่เปลี่ยนไปมีการลดลงต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ

ในขั้นตอนต่อมาได้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ และชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนจากการศึกษาพบว่า xanthan gum นั้นมีผลทำให้โดของขนมปังหลังจากสิ้นสุดกระบวนการผสมมีลักษณะที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ง่าย ไม่ติดมือ อีกทั้งยังทำให้ความสูงของโดหลังจากสิ้นสุดการหมักครั้งที่ 2 สูงที่สุด แม้ว่าสูตรขนมปังที่เติม xanthan gum จะมีค่า hardness ที่สูง แต่กลับพบว่าให้ค่า springiness ที่สูงกว่าสูตรที่ไม่เติม xanthan gum ส่วน HPMC ทำให้เนื้อขนมปังความนุ่ม มีค่า hardness ที่ต่ำ และมีลักษณะรูพรุนที่ดี และจากผลการทดลองพบว่าสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมลงไปนั้นส่งผลกระทบต่อขนมปังน้อยกว่าสารไฮโดรคอลลอยด์ แต่สูตรขนมปังที่เติม DATEM จะให้ค่า hardness ที่ต่ำกว่าสูตรขนมปังที่เติมอิมัลซิไฟเออร์ชนิดอื่นๆ แต่จากทดลองทางประสาทสัมผัสเบื้องต้นพบว่า การเติมอิมัลซิไฟเออร์ DATEM และ DMG มีผลต่อรสชาติของขนมปังคือทำให้ขนมปังมีรสชาติขม

การหาสูตรที่เหมาะสมที่จะใช้ผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology, RSM) โดยศึกษาปริมาณฟลาวัวร์ข้าว ฟลาวัวร์ถั่ว ปริมาณน้ำ และปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนคือ ใช้ปริมาณฟลาวัวร์ข้าวหอมมะลิ 105 23.67 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟลาวัวร์ถั่วแดงหลวง 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ xanthan gum 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ HPMC 0.5 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณ SSL 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กฤษณา สัมพันธ์รักษ์. 2531. ฟืชไร่. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด. จินตนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2546 เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 244หน้า.
- จิรนาถ ทิพย์รักษา และสุภัทษร นุควงแก้ว. 2552. พาสต้าเสริมเส้นใยจากแป้งถั่วแดง. วารสารเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม 4: 16-22.
- วิชา สุโรจนะเมธากุล. 2556. โรคแพ้กลูเตน (Coeliac disease) และความสำคัญของอาหารปราศจากกลูเตน. วารสารอาหาร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร 43 (3): 16-22.
- ศิรินทร์ วงษ์โชติปิ่นทอง และสิทธิชัย ตีระแสงอรุณ. 2553. การประเมินผลโครงสร้างของเนื้อขนมปังโดยใช้การวิเคราะห์ภาพดิจิทัล. สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานและพัฒนาวิจัยข้าว, กรมการข้าว. 2555. องค์ความรู้เรื่องข้าว. <http://www.beed.in.th/rkb2/product/index.php-file=content.php&id=3.htm>
- อภิญา เจริญกุล. 2556. ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องงอกต่อคุณภาพของมัฟฟิน. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. กรุงเทพมหานคร.
- อภิพรรณ พุกภักดี. 2533. วิทยาศาสตร์การผลิตพืชตระกูลถั่ว. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร
- อุทัยวรรณ ทองทั้งวงษ์ และ สุรินทร์ สุวรรณสิขณัน. 2553. ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวสาลีต่อคุณภาพของบัตเตอร์เค้ก. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร
- อุไรวรรณ สุขขะ. 2546. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังเสริมใยเดยอบแห้ง. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏจันทรเกษม. กรุงเทพมหานคร
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่2. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 365 หน้า.
- AACC. 2000. American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 10th ed. St. Paul, MN., U.S.A.
- Ahmed, K., Ferhat, Y., and Safa, K. 2014. Simplex lattice mixture design approach on physicochemical and sensory properties of wheat chips enriched with different legume flours: An optimization study based on sensory properties. *LWT - Food Science and Technology*. 58: 639-648.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Alvarez-Jubete L, Arendt EK, Gallagher E. 2009. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal Food Science Nutrition*. 60: 240–57
- Angioloni, A. and Collar, C. 2008. Functional response of diluted dough matrixes in high-fiber system : A viscometric and rheological approach. *Food Research Internationnal*. 41: 803-812
- Cagampang, G.B., Cruz, L.J., Espiri, S.G., Santiago, R.G., and Juliano, B.O. 1966. Studies on the extraction and composition of rice proteins. *Cereal Chemistry*. 43(2): 145-155.
- Crockett, R., le, P., and Vodovote, Y. 2011. How do xanthan and hydroxypropyl methylcellulose individually affect the physicochemical properties in a model gluten-free dough. *Journal of Food Science*. 76(3): 274-283.
- Demirkesen, I., Behic, M., Gulum, S., and Serpil, S. 2010. Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*. 101: 329-336.
- Don, C., Lichtendonk, W.J., Pijfiter, J.J., and Hamer, R.J. 2003. Glutenin macropolymer: a gel formed by glutenin particles. *Journal Cereal Science*. 37: 1-7.
- Eliasson, A.C., and Larsson, K. 1983. Handbook of Dietary Fiber. An Applied Approach. New York. Marcel Dekker.
- Emanuele, Z., Alexander, M., Sandra, G., Michael, G., Aidan, C., Elke, K. A., and Josh, P.T., 2014. Barley malt wort fermentation by exopolysaccharide forming *Weissella cibaria* MG1 for the production of a novel beverage. *Journal of Applied Microbiology*. 45: 34-32.
- Feighery C. 1999. Fortnightly review: coeliac disease. *BMJ* 319: 236–39.
- Hu, F.B., Rimm, M.J., Stampfer, A., Spiegelmen, D., and Willet, W.C. 2002. Prospectice study of major dietary patterns and risk of coronary heart disease in men. *Journal Nutritional*. 72: 912-921.
- Hymowitz, T. and Singh R.T. 1987. Taxonomy and Speciation in soybeans improverment production and uses. *ASA-CSSA-SSSA*. 16.
- Jangchud, K., Boonthrapong, M., and Prinyawiwatkul, W. 2004. Effect of composite rice flour and water content on qualities of Thai rice cake. *Kasetsart Journal (Nat Sci)*. 38: 247-254.
- Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today*. 16: 334-338.
- Kadan, R.S., Robinsonm, M.G., Thibodeux, D.P., and Pepperman, A. 2001. Texture and other physiochemical properties of whole rice bread. *Journal of Food Science*. 66: 940-944.
- Kagnoff, M. 2005. Overview and pathogenesis of celiac disease *Gastroenterology* 128(4 suppl 1):s10-8
- Kim, J.C. and Ruiter, D. 1969. Bread from nonwheat flours Protein Enriched Cereal Foods for world Need. *The American Association of Cereal Chemists*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Lara C., Lea L., Romina M., Ivan K., Giovanni B., Laura M., and Nicolò M. 2014. Development of gluten-free bread using tartary buckwheat and chia flour rich in flavonoids and omega-3 fatty acids as ingredients. *Food Chemistry*. 165: 232-240.
- Livingstone MS, Rosen GD, Drislane FW, Galaburda AM. Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1993. 88: 7943-7.
- Keeratipibul, S., Luangsakul, N., Otsuka, S., Sakai, S., Hatano, Y. and Tanasupawat, S. 2010. Application of the Chinese steamed bun starter dough (CSB-SD) in breadmaking. *Journal of Food Science*. 75: 596-604.
- Lasztity, R. 1995. *The Chemistry of Cereal Protein*. 2nd edn. Boca Raton, FL. CRC Press.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. and Biliaderis, C.G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 79: 1033-1047.
- Lindsay, M.P. and Skerritt, J.H. 1999. The glutenin macropolymer of wheat flour dough: structure-function perspective. *Trends Food Science Technology*. 10: 247-253.
- MacRiche, F. 1980. Studies of gluten protein from wheat flours. *Cereal Foods World*. 25: 382-385.
- Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M.A., Perry, K.W.Ng. 2009. The role of corn starch amaranth flour, pea isolate, and *Psyllium* flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. *Food Research International*. 42: 963-975.
- Michele, S.C., and Myriam, M. 2015. Effects of substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *LWT - Food Science and Technology*. 60: 729-736.
- Minarro B., Albanell E., Aguilar N., Guamis B. and Capellas M. 2012. Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*. 56 : 476-481
- Mohammed I., Ahmed A.R., and Senge B. 2012. Dough rheology and bread quality of wheat chickpea flour blend. *Industrial Crops and Products*. 36 :196-202.
- Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., Schoenlechner, R. (2012). Quality improvement of rice-base gluten-free bread using different dietary fiber fraction of rice bran. *Journal of Cereal Science*. 56: 389-395.
- Polhill, R.M. and Maesen van der L.J.G. 1984. Taxonomy of grain legume in grain legume crops. *Collins publication*. London: 859.
- Pomerranz, Y. 1988. Composition and functionality of wheat flour component. *Wheat Chemistry and Technology II*. 3: 219-370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rajapaksa, D., Eliasson, A.C., and Larsson, K. 1983. Bread baked from wheat/rice mixed flour using liquid-crystalline lipid phases in order to improve bread volume. *Journal of Cereal Science*. 1: 53-61.
- Sabanis, D., Lebesi, D., Tzia, C. 2009. Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology*. 42: 1380-1389.
- Sathe, S.K. and Salunkhe, D.K. 1981. Fermentation of the great northern bean (*Phaseolus vulgaris*) and rice blends. *Journal Food Science*. 46: 1374-1378.
- Schober TJ, Bean SR, Boyle DL, Park S-H. 2008. Improved viscoelastic zein-starch doughs for leavened gluten-free breads: their rheology and microstructure. *Journal Cereal Science*. 48: 755-67.
- Smerdal, B., Lea, P., Dubravka, N., Nikorina, C., Maja B., Drazen, L., and Duska C. 2012. Improvement of gluten-free bread quality using transglutaminase various extruded flours and protein isolates. *Journal of Food and Nutrition Research*. 51(4): 242-253.
- Sciarni, L.S., Ribotta, P.D., Leon, A.E. and Perez, G.T. 2010. Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *Journal of Food and Technology*. 45: 2360-2312.
- Sookdang, A. 1998. The modification of rice flours for rice noodle. MS thesis. *Asian Institute of Technology: Pathumthani, Thailand*
- Thumrongchote, D., Suzuki, T., Laohasongkram, K., and Chaiwanichsiri, S. 2012. Properties of Non-glutenous Thai Rice Flour: Effect of rice variety. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Science*. 3(1): 150-164.
- Torbica, A., Handnadev, M., and Dapcevic, T. 2010. Rheological texture and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*. 24: 625-632.
- Van Heel, D.A., and West, J. 2006. Recent advances in coeliac disease. *Gut* 55 . 1037-1046.
- Van, V.T., Jassen, A.M., Bloksma, A.H. and Walstra, P, 1992. Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. *Journal of Texture Studies*. 23: 439-460.
- Vanessa, D., Capriles,. And Jose, A.G. 2014. Novel Approaches in Gluten- Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 13: 871-890.
- Xu, J., Bietz, J.A. and Carriere, C.J. 2007. Viscoelastic properties of wheat gliadin and glutenin suspension. *Food Chemistry*. 101: 1025-1030.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

1. ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

1.1 การเขียนกราฟมาตรฐาน

ซึ่งอะไมโลสบริสุทธิ์ (amylose from potato) ประมาณ 40 มิลลิกรัม ใส่ในหลอดทดลอง เติมเอทานอล (ethyl alcohol) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นและถ่ายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดสารละลายมาปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ใบที่ 1-5 ตามลำดับ เติมกรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรใบที่ 1-5 ตามลำดับ เติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรแต่ละใบ ใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอะไมโลส (ร้อยละ 8 16 24 32 และ 40) กับค่าการดูดกลืนแสง

2.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัม (น้ำหนักแน่นอน) ใส่ในหลอดทดลอง เติมเอทานอล (ethyl alcohol) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นและถ่ายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดสารละลายมาปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร และเติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใช้น้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และหาปริมาณอะไมโลส โดยอ่านจากกราฟมาตรฐาน

$$M_1, M_2 = \text{น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (Proximate analysis)

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น(AOAC, 2000)

การหาปริมาณความชื้นโดยใช้เตาอบลมร้อน โดยอบMoisture Can และ ฝา ด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยให้เย็นใน โถดูดความชื้นนาน 30 นาที ชั่งน้ำหนัก Moisture Can และ ฝา โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด4 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ3 กรัมใส่ลงในMoisture Can นำไปอบที่อุณหภูมิ105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา6 ชั่วโมง โดยไม่ปิดฝาMoisture Can เมื่อครบเวลา ปิดฝา Moisture Can แล้วนำไปใส่ไว้ใน โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที นำไปอบต่อ และนำมาชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(W1 - W2) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ W1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างและภาชนะหาความชื้นก่อนอบ (กรัม)

W2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างและภาชนะหาความชื้นหลังอบ (กรัม)

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl (AOAC, 2000)

การหาปริมาณ โปรตีน โดยชั่งตัวอย่างประมาณ2 กรัม ลงในหลอดเคลด้าหัด เดิมคะตะลิตส์ 8 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น25 มิลลิลิตร นำเข้าชุดย่อยโปรตีนจนกระทั่งสารละลายใสและปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปต่อกับชุดกลั่น โปรตีน โดยนำขวดแก้วรูปชมพู่ที่มีกรดบอริก50 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ลงไป3-5 หยด ทำการกลั่นตัวอย่าง นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสังเกตเห็นสีชมพูปรากฏขึ้นและคำนวณหาปริมาณโปรตีนดังนี้

$$\text{โปรตีน(ร้อยละ)} = \frac{(V1-V2) \times 0.1 \times 1.4007}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ V1 = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง(มิลลิลิตร)

V2 = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตเตรทblank (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีSoxlet (AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีSoxlet เป็นการสกัดไขมันในตัวอย่างที่สกัดได้โดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ตามระยะเวลาที่กำหนด ภายหลังกการสกัดจะระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ และทำการชั่งน้ำหนักไขมันที่ได้ คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักบีกเกอร์หลังสกัด} - \text{น้ำหนักบีกเกอร์ก่อนสกัด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย(AOAC, 2000)

การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยโดยวิธีการย่อยด้วยสารละลายกรดและด่าง นำส่วนที่เหลือจากการย่อยไปอบ และเผาเพื่อหาส่วนที่หายไปหลังกการเผา ซึ่งก็คือปริมาณเส้นใย หรือสิ่งที่หายไปหลังกการเผาส่วนอบแห้งที่เหลือจากการย่อยตัวอย่างด้วยสารละลายกรดและด่าง คำนวณปริมาณเส้นใยจากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณเส้นใย} = \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือหลังกการสกัด} - (\% \text{โปรตีนตัวอย่าง} - \% \text{ถั่วตัวอย่าง})$$

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าทั้งหมด(AOAC, 2000)

การหาปริมาณเถ้าโดยการเผาที่อุณหภูมิ550 องศาเซลเซียส โดยชั่งตัวอย่างประมาณ3 กรัมใส่ลงใน ถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ผ่านการอบแห้ง จดน้ำหนักที่แน่นอนเป็นทศนิยม4 ตำแหน่ง นำไปเผาในตะเกียงให้หมดควัน แล้วนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ550 องศาเซลเซียส นาน3 ชั่วโมงนำออกจากเตาเผาและ ปล่อยให้เย็นลงในโถแก้วดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก และอบซ้ำหลายๆ ครั้งจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องก่อนเผา}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์}} \times 100$$

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการคำนวณ(AOAC, 2000)

การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต(\%)} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{เถ้า} + \% \text{เส้นใยอาหาร})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลงานที่ตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conference Proceedings

Bali, Indonesia

June, 2014



IRCET

International Research Conference on Engineering and Technology

ISCMIS

International Scientific Conference on Management & Information Science

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



IRCET

International Research Conference on Engineering and Technology

ISBN 978-986-89844-6-2

ISCMIS

International Scientific Conference on Management & Information Science

ISBN 978-986-90263-4-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRCET-486

Characteristics of The Bread Made from Rice and Legume Flours Substituted to Wheat Flour

Weetara Sartsara, Naphatrapi Luangsakul*

Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkraban, Thailand.

*klarunee@kmitl.ac.th

Abstract

Bakery products has been originated and consumed as staple food in the western, however, nowadays, it is popular and well-known throughout the world. Wheat is traditionally used as the main ingredient for making bakery products. It has a lot of functionality relevant to the quality of bakery products, such as, appearance and so on, depending on the types of product (bread, cake, etc.). In Asian country including Thailand, wheat is imported from abroad. This causes a great economic loss each year. In addition, the gluten-intolerance issue, which is the disorders in which gluten has adverse effect on consumer's body, is more prevalence. Therefore, the substitution of wheat flour with other flours (gluten-free) that are cultivated in Thailand is the interesting perspective. Rice and some legume flours are chosen. This research is aimed to study the effect of rice and legume flours substitution to wheat flour at 50% (w/w) substitution levels on qualities of bread. Fifteen bread recipes were prepared with three types of rice flours (Jasmin 105, Pathumthani 1, and Supanburi) and five types of legume flours (pigeon pea, cowpea, red kidney bean, green gram and black gram) substituted to wheat flour 50%. The ratio of rice and legume flours was 1:1. The results showed bread prepared with red kidney bean flour provided the significantly highest specific volume ($p<0.05$) and the best loaf shape. Moreover, red kidney bean flour bread showed the significantly highest lightness bread crumb while the bread containing cowpea flour had the darkest crumb. The bread prepared with green gram flours provide the significantly lowest hardness values ($p<0.05$). Breads made with cowpea flour tended to show the significantly-higher cohesiveness value ($p<0.05$) than breads made with the other legume flours. Jasmin 105 rice flour bread resulted in the softest bread crumb at 0 day and during storage.

Keywords: Rice flour, Legume flour, Gluten-free, Gluten-intolerance, Wheat flour

1. Introduction

There is increasing interest in gluten-free products as the prevalence of celiac disease is increasing. The prevalence is estimated to be 1-2% of the world population (Gallagher *et al.*, 2004). Celiac disease is an intolerance to certain amino sequences found in the prolamin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

fraction. These kind of prolamins damage the mucosa of small intestine leading to mal-absorption of some nutrients. The only effective therapy for these patients is a strictly lifelong adherence to gluten-free diets.

Gluten composes of gliadin (prolamin) and glutenin. When these molecules are joined together due to a chemical reaction, they stretch and harden, allowing dough to form a light, airy loaf with a chewy texture. As a result, these proteins are commonly found in flour and other bakery products such as wheat, rye and barley. Therefore, regarding the development of gluten-free products, especially bread, it is an challenging issue needing the intensive scientific study to create the acceptable gluten-free products. In recent years there have been significantly various researches on gluten-free bread, involving a diverse approach of different gluten-free ingredients in making gluten-free bread. Phimolsiripol *et al.* (2012) reported that the Jasmine rice flour yielded better bread quality with higher loaf volume and softer crumb texture compared to the high amylose rice flour. Minarro *et al.* (2012) studied the characteristics of bread recipes prepared with chickpea, carob germ and soya flour. Chickpea bread obtained the highest specific volume and also showed the softness bread crumb. Rice and legumes are the agricultural products that cultivated a lot in Thailand.

Rice contains the main constituent of carbohydrate. Legume is high in protein. Therefore, the application of rice and legumes in making gluten-free bread is the interesting perspective. Therefore, the objectives of this study were to study the characteristics of the bread made from rice and legume flours substituted to wheat flour in order to screen the types of rice and legume flours that are suitable for further study of making gluten-free bread.

2. Materials and Methods

2.1 Materials

Rice used in this study were 3 different types: Jasmin 105 (amylose content 16.90%), Pathumthani 1 (amylose content 19.43%) and Supanburi (amylose content 38.69%). Legume used in this study were 5 different types: red kidney bean (amylose content 21.09%), green gram (amylose content 22.73%), black gram (amylose content 16.76%), cowpea (amylose content 18.96%) and pigeon pea (amylose content 22.50%)

2.2 Preparation of Flours

The preparation of rice flour, rice is pulverized to powder with hammer mill and pin mill machine to the particle size less than 0.25 mm. The preparation of legume flour, first: soak the legume in the water then peel the skin off and do the drying-up then pulverize to powder to the particle size less than 0.25 mm.

2.3 Breadmaking Procedure

Each 25% of rice and legume flours and 50% wheat flour were used in the study. Other ingredients for breadmaking is shown in Table 1. The 100% of wheat flour was used as the control. All the ingredients were mixed in a mixer (local type, Kittiwattana, 10 quartz) at low speed 4 min, medium speed 15 min and high speed 1 min. The mixed dough was then fermented in a fermenter at 30 °C and 85% RH for 90 min. After the time was reached at 60 min, the dough was punched during this fermentation to expel the air. After the whole fermentation was finished, the dough was divided into 7 portion (185g/ portion), then rounded, benched for 15 min at room temperature and moulded into loaf shapes. The dough pieces were placed in baking pan and then let them proofed in a proofer, controlled at 37 °C and 85% RH for 90 min. Baking was carried out at 190 °C for 20 min. And then, the baked bread was allowed to cool for 45 minutes at room temperature. After cooling two loaves were examined for the properties of fresh bread (day 0) while the other loaves were sealed in polyethylene bags and stored at room temperature until the examination of the texture profile at the 1st, 3rd and 5th day of storage.

Table 1 Ingredients used in bread formulation

Ingredients	Amount (g)/100g
Wheat flour	50
Rice flour	25
Legume flour	25
Yeast	1.4
Salt	1.5
sugar	6
water	65
Shortening	5

2.4 Bread Properties Evaluation

2.4.1 Bread Specific Volume

Bread specific volume was evaluated after cooling for 45 min. The average specific volume (cm³/g) was calculated from the loaf volume to loaf weight ratio. The bread volume was determined by black sesame seed displacement method. (AACC, 2000)

2.4.2 Crumb Colour Analysis

Crumb colour was examined by using a spectrophotometer (Minolta CR400, Japan) by evaluating lightness = L* (0=black, 100=white). Crumb colour was taken from three equidistant points to the center of the bread slice (Pongjaruvat *et al.*, 2014).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Texture Profile Analysis

Texture profile analysis was performed on breadcrumb samples using a Texture analyzer TA-XT plus (Stable Micro system Ltd., Surry UK). The samples were cut into each slice having thickness of 20 mm. The bread slice was compressed up to 40% of its original height, a crosshead speed of 1 mm/s with a cylindrical stainless steel probe (diameter 25 mm). Parameters studied were hardness and cohesiveness (AACC International, 2000).

2.4.4 Image

Image of slices were capture using a flatbed scanner (Scanner CANON 9000F Mark II, Japan). One slices of thickness were cut into 20 mm. from the center of the loaf.

2.4.5 Shelf-life Analysis

The loaves were sealed in polyethylene bags and stored at room temperature until examined. The shelf-life of bread was studied by focusing on breadcrumb hardness performed by Texture analyzer (TA-XT plus) during storage time of 0, 1, 3 and 5 day.

2.4.6 Statistical Analysis

The test was done in three replicates. Analysis of variance (ANOVA) was performed to determine whether there was significant difference within bread made from rice flours (Jasmin 105, Pathumthani 1, and Supanburi) and within bread made from legume flours (pigeon pea, cowpea, red kidney bean, green gram and black gram) ($p < 0.05$) separately. Variable means were compared by Duncan's multiple comparison test by using the commercial SPSS ver.11.5 (SPSS Inc., Chicago, IL) computer program.

3. Results and Discussion

3.1 Bread Specific Volume

Table 2 presents the breads prepared with red kidney bean provided the significantly highest specific volume values, while black gram bread with any types of rice flour showed the significantly lowest specific volume values. Breads made with Jasmin rice flour tended to show the significantly higher specific volume than breads made with the other rice flour studied. The Jasmine 105 rice flour with intermediate amylose content, i.e.~15-20%, was selected as preliminary breadmaking test showed that jasmine flour yielded better bread quality with higher loaf volume compare to the common rice flour with higher amylose content, i.e. ~30%. This results agreed with the study of Pongjaruvat *et al.* (2004).

Table 2 The effect of types of rice and legume flours on bread specific volume.

Legumes	Red kidney bean (cm ³ /g)	Green gram (cm ³ /g)	Black gram (cm ³ /g)	Pigeon pea (cm ³ /g)	Cowpea (cm ³ /g)
Rices					
Jasmin 105	2.61±0.04 ^{Ca}	2.58±0.10 ^{Cb}	1.71±0.05 ^{Ab}	2.20±0.02 ^{Bb}	2.23±0.03 ^{Bb}
Pathumthani 1	2.56±0.03 ^{Da}	2.32±0.02 ^{Ca}	1.66±0.01 ^{Aa}	2.10±0.02 ^{Ba}	2.13±0.03 ^{Ba}
Supanburi	2.58±0.02 ^{Ea}	2.27±0.02 ^{Da}	1.57±0.03 ^{Aa}	2.20±0.01 ^{Bb}	2.09±0.02 ^{Ca}

Values with different letters of A, B, C, D and E shown in the same row are significantly different ($p < 0.05$) between the types of studied legume flour.

Values with different letters of a, b, c, shown in the same column are significantly different ($p < 0.05$) between the types of studied rice flour.

3.2 Crumb Colour Analysis

From Fig 1, it shows the lightness of bread crumb made from different types of rice and legume flours. The highest values of L* (lightness) of the crumb was obtained from the bread mixed with red kidney bean flour and was also more lightness of bread crumb than the control. The breads containing cowpea flours have the darkest bread crumb. Concerning the different types of rice with counter path of legume flour, they showed no significant differences of most samples. This may be caused by the color of red kidney bean flour which is lighter than the other flours. Consequently, its bread crumb was performed the lighter color. Silva *et al*, (2009) reported that colour of raw material related to finished product and colour of bread crumb was important for consumer acceptance.

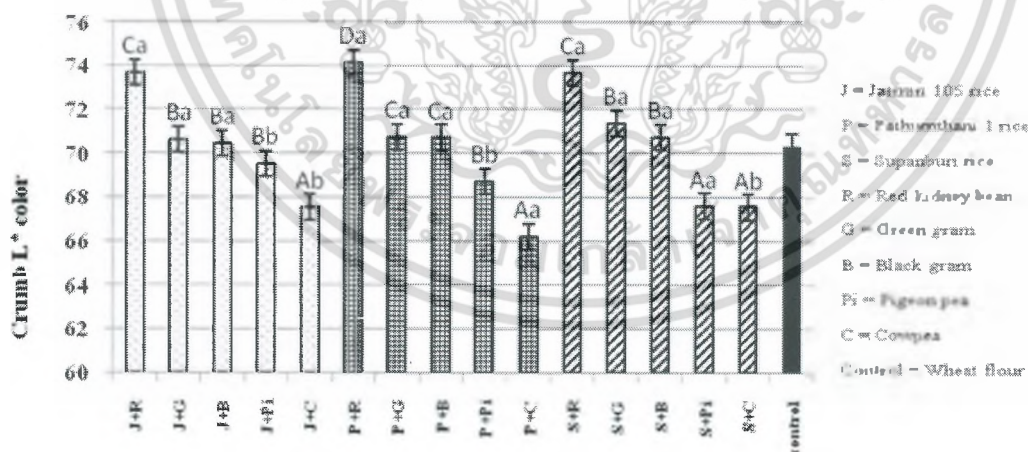


Fig 1 The effect of types of rice and legume flour on crumb L* color of bread

(□ = Jasmin 105, ▨ = Pathumthani 1, ▩ = Supanburi, ■ = Control)

Values with different letters of A, B, C, D shown the significantly different ($p < 0.05$) between the types of studied legume flour.

Values with different letters of a, b, c shown the significantly different ($p < 0.05$) between the types of studied rice flour.

3.3 Texture Profile Analysis

3.3.1 Bread Hardness

Fig 2 shows the bread hardness of different types of rice and legume flours. It was found that the bread prepared with green gram flour provided the significantly lowest hardness values. The significantly highest values of hardness was obtained from in black gram bread. Jasmine 105 rice bread tended to show softer breadcrumb than the other rice breads. Sanbanis and Tzia (2011) reported the specific volume value related to hardness value thus bread provided low specific volume relating to an effect on high crumb hardness.

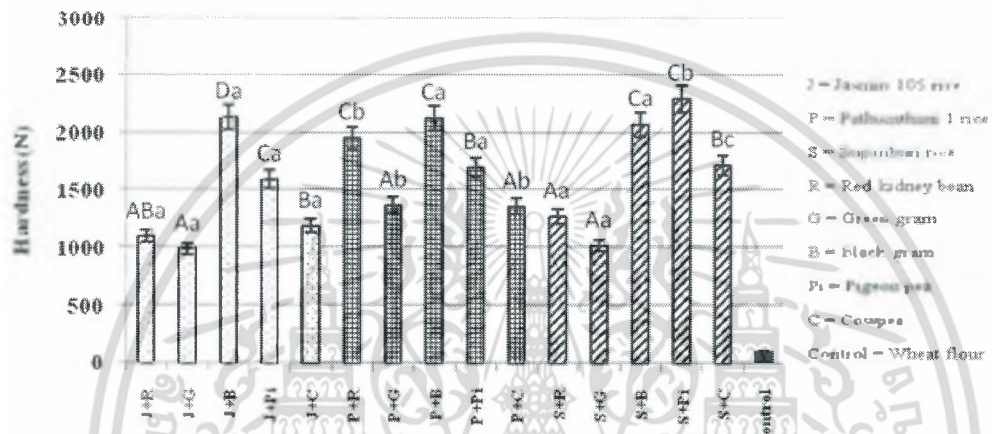


Fig 2 The effects of types of rice and legume flours on bread hardness

(□ = Jasmine 105, ▨ = Pathumthani 1, ▩ = Supanburi, ■ = Control)

Values with different letters of A, B, C, D shown the significantly different ($p < 0.05$) between the types of studied legume flour.

Values with different letters of a, b, c shown the significantly different ($p < 0.05$) between the types of studied rice flour.

3.3.2 Bread Cohesiveness

Breads made with cowpea flour tended to show the significantly higher cohesiveness value than breads made with the other legume studied. In addition, bread made with black gram gave lower cohesiveness value when compared to the other legume flours (Fig 3).

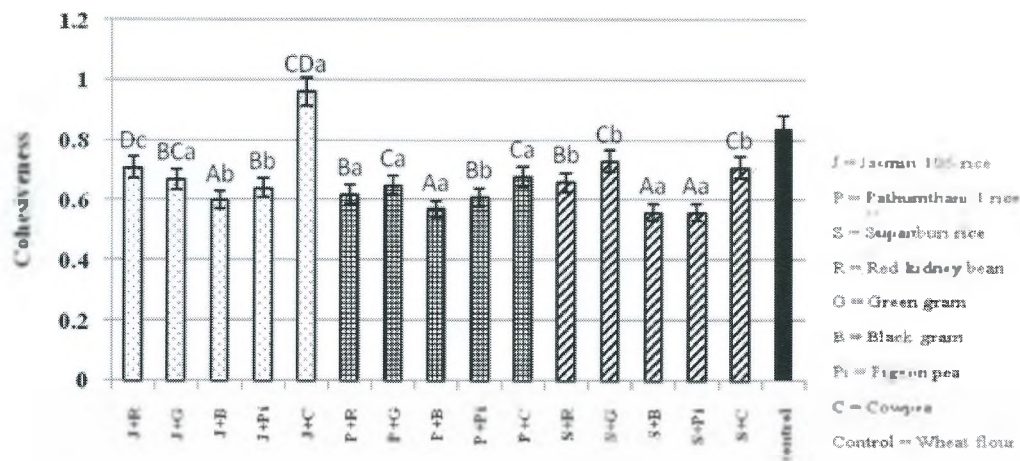


Fig 3 The effects of types of rice and legume flours on bread cohesiveness

(□ = Jasmin 105, ▨ = Pathumthani1, ▩ = Supanburi, ■ = Control)

Values with different letters of A, B, C, D shown the significantly different ($p < 0.05$) between the types of studied legume flour.

Values with different letters of a, b, c shown the significantly different ($p < 0.05$) between the types of studied rice flour.

3.4 Shelf-life Analysis

The change in breadcrumb hardness during 0, 1, 3 and 5 day storage shows in All the breads studied exhibited the hardness higher than the control bread. Figs 4 (a, b and c). During storage times, all bread showed increasing in hardness. The Jasmin 105 rice breads (Fig 4 (a)) prepared with black gram showed the significantly highest hardness values during storage. The Jasmine rice breads prepared with green gram and red kidney bean implicated lower hardness value than the black gram bread. Among Pathumthani 1 rice breads (Fig 4 (b)) prepared with black gram showed the significantly highest hardness values, showing the same result as breads with jasmine rice (Fig 4 (a)). Pathumthani 1 rice breads prepared with green gram provided the significantly lowest hardness values during storage. Fig 4 (c) shows hardness change of Supanburi rice breads, the breads with pigeon pea flour gave the highest hardness value. Green gram bread provided the softest breadcrumb during the storage. Supanburi rice breads were prone to show the higher hardness of breadcrumb than the breads made from the other two of rices. This may be caused by the higher amylose content of Supanburi rice (38.69 %)

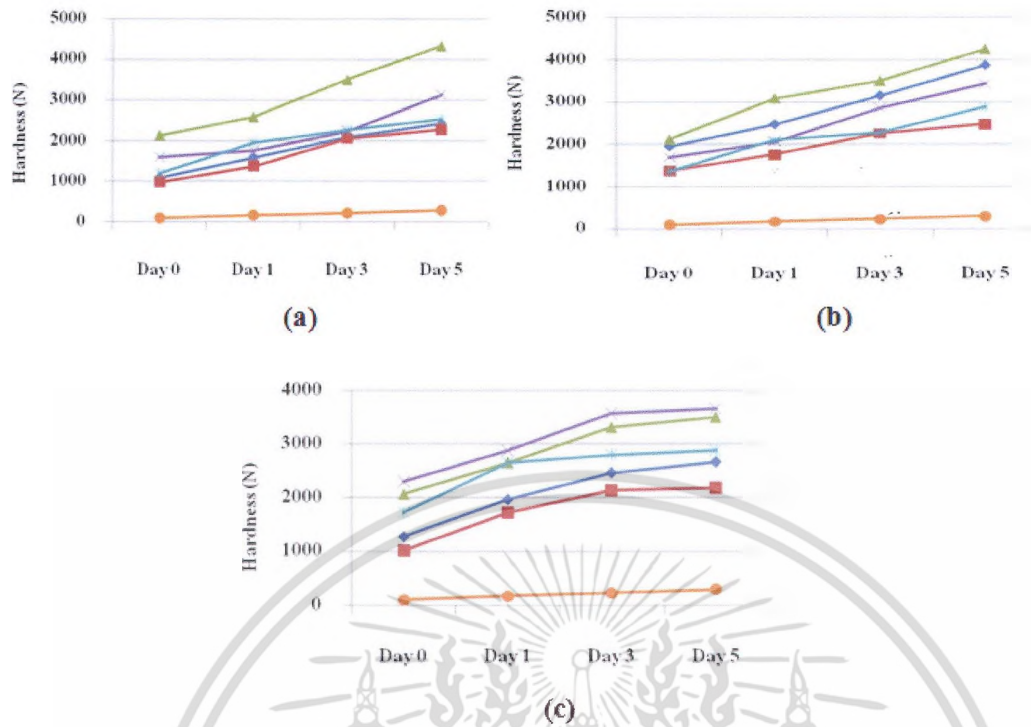


Fig 4 Shelf-life of bread crumb hardness made from Jasmine 105 (a), Pathunthani 1 (b) Supanburi (c) (◇=red kidney bean, □=green gram, △=black gram, x=pigeon pea, *=cowpea, o=control)

3.5 Image

Overall figures (Fig 5, 6 and 7) show the bread made from red kidney bean implicit the highest and symmetry loaf volume and finer cell crumb while bread with black gram shows the most inferior volume and shape and more coarse crumb cell .

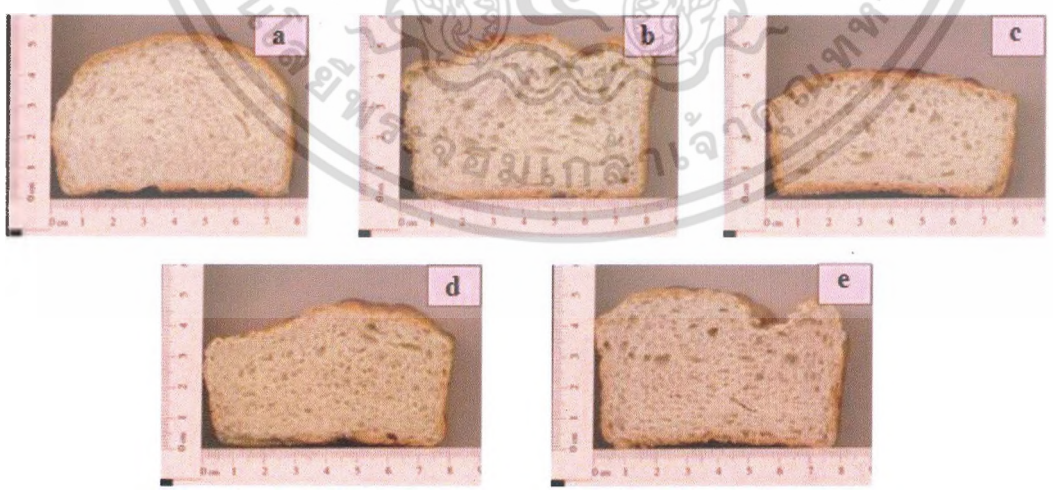


Fig 5 Bread made from Jasmin 105 rice flour with five types of legume flours (a=Red kidney bean, b=Green gram, c=Black gram, d=Pigeon pea, e= Cowpea)

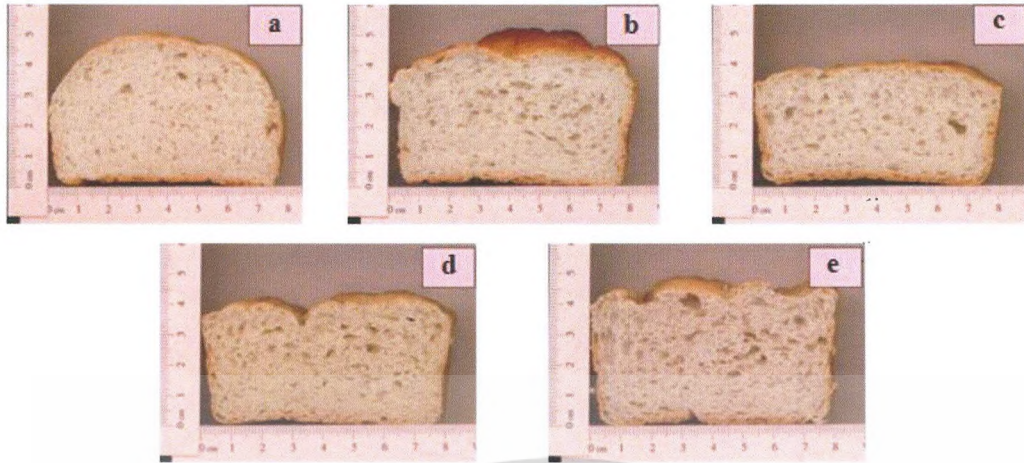


Fig 6 Bread made from Pathumthani 1 rice flour with five types of legume flours (a=Red kidney bean, b=Green gram, c=Black gram, d=Pigeon pea, e= Cowpea)

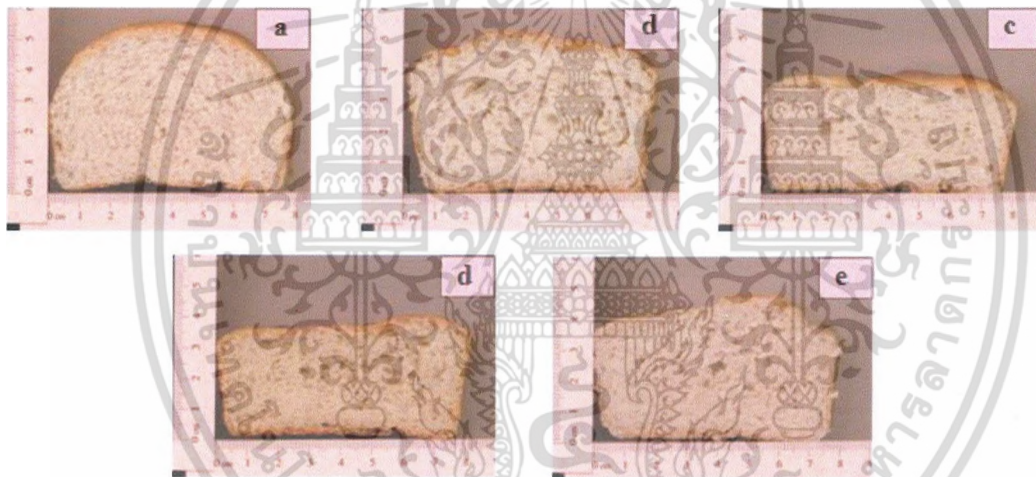


Fig 7 Bread made from Supanburi rice flour with five types of legume flours (a=Red kidney bean, b=Green gram, c=Black gram, d=Pigeon pea, e= Cowpea)

4. Conclusion

The results showed bread prepared with red kidney bean flour provided the significantly highest specific volume ($p < 0.05$) the best loaf shape and superior cell crumb. Moreover, red kidney bean flour bread showed the significantly highest lightness bread crumb while the bread containing cowpea flour had the darkest crumb. The bread prepared with green gram flours provide the significantly-lowest hardness values ($p < 0.05$). Breads made with cowpea flour tended to show the significantly higher cohesiveness value ($p < 0.05$) than breads made with the other legume flours, while black gram bread gave the lower cohesiveness than the other breads. Jasmine 105 rice flour bread resulted in the softest bread crumb at 0 day and during storage. Therefore, in conclusion, Jasmine 105 rice flour was prone to be selected

for further study to making gluten-free bread. Red kidney bean and green gram flour were preferred than the other studied legume flour.

5. Acknowledgement

The authors express the sincere appreciation to National Research Council of Thailand (grant in year 2014) for supporting the financial in this study.

6. References

- AACC. (2000). Approved Methods of the AACC, 10th ed. The Association, St. Paul, MN.
- AACC. (2000). Bread firmness by universal testing machine. In *Approved methods of the AACC (74-09)*. St. Paul, MN, USA: American Association of Cereals Chemists.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food science & Technology*, 15, 143-152.
- Juliano, B.O. (1971). A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science Today*, 16, 334-338.
- Minarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamin, B., Capellas, M. (2012). Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 56, 476-481.
- Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., Schoenlechner, R. (2012). Quality improvement of rice-base gluten-free bread using different dietary fiber fraction of rice bran. *Journal of Cereal Science*, 56, 389-395.
- Pongjaruvat, W., Methacanon, P., Seetapan, N., Fuongfuchat, A. (2014). Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jamine rice breads. *Food Hydrocolloids*, 36, 143-150.
- Sabani, D., & Tzia, C. (2011). Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food Science and Technology International*, 17, 279-291.
- Silva, L.H., Paucar-Menacho, L.M., Vieente, C.A., Salles, A.S. & Steel, C.J. (2009). Development of loaf bread with the addition of "okara" flour.. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12, 315-322.

ภาคผนวก ค
ข้อมูลประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล:

Dr. NAPHATRAPI LUANGSAKUL

2. ตำแหน่ง:

Lecturer

3. อีเมล:

klarunee@kmitl.ac.th and napasrapiluangsakul323@hotmail.com

4. ประวัติการศึกษา:

B.Sc. in Food Technology, Chulalongkorn University, Thailand

M.Sc. in Food Technology, Chulalongkorn University, Thailand

Ph.D. in Food Technology, Chulalongkorn University, Thailand

5. สาขาที่มีความชำนาญ:

Food Analysis, Principles of agriculture industry, Bakery science and products

Cereal science and products, Technology of biscuit, cookies and crackers.

6. งานวิจัย:

Bakery science and products, Sourdough technology, Science of Chinese steamed bun, Cereal science and products, Rice products, The properties of flour and starch and their utilization.

7. ฝึกอบรม:

- Basic Cookies & Crackers Short Course organized by U.S. Wheat Associates, July 12 – 23, 1993, Bangkok, Thailand.

- ‘Du ble au pain: decouverte de la boulangerie francaise (From wheat to bread: initiation to French bakery)’ in the CFA CM.CCI du Cher (Bourges, France) from September 18 – October 5, 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ผลงานทางวิชาการ:

8.1 ผลงานทางวิชาการ:

- Luangsakul, N.** 2003. Varietal Differences of Thai Glutinous Rice in relation to Quality Characteristics of Traditional Thai Rice Cracker (Khao-tan). *King Mongkut's Agricultural Journal*. 21(3), pp 55-67. (in Thai)
- Luangsakul, N.,** Kulmanoachwong, D. and Chivavithunekit, P. 2004. Utilization of Skipjack Fish Bone in Traditional Thai Rice Cracker (Khao-tan) for Calcium Fortification. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 22(1), pp 61-69. (in Thai)
- Keeratipibul, S., **Luangsakul, N.** and Lertsatchayarn, T. 2008. The effect of Thai glutinous rice cultivars, grain length and cultivating locations on the quality of rice cracker (arare). *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1934-1943.
- Luangsakul, N,** Keeratipibul, S, Jindamorakot, S. and Tanasupawat, S. 2009. Lactic acid bacteria and yeasts isolated from the starter doughs for Chinese steamed buns in Thailand. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 1404-1412.
- Keeratipibul, S., **Luangsakul, N.,** Otsuka, S., Sakai, S., Hatano, Y. and Tanasupawat, S. 2010. Application of the Chinese steamed bun starter dough (CSB-SD) in breadmaking. *Journal of Food Science*, 75, 596-604.
- Keeratipibul, S., **Luangsakul, N.,** Otsuka, S., Sakai, S., Hatano, Y. and Tanasupawat, S. 2013. Effects of the amount of Chinese steamed bun starter dough (CSB-SD) and the activation time on dough and bread properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37, 232-244 .

8.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ (full text):

- Chupanit, W., Mulser, C. and **Luangsakul, N.** 2003. Utilization of Red Snapper Fish Bone In Butter Cookies for Calcium Fortification. In Proceedings of the 5th Agro-Industrial Conference THAIFEX AND THAIMEX 2003. Bitec Convention Center, Bangkok. 30th-31st May, 2003: pp: 282-288. (in Thai)
- Luangsakul, N.** 2004. Effect of Processing Parameters in relation to Qualities of Traditional Thai Fried Rice Cracker (Khao-Tan). In Proceedings of the 1st KMITL International Conference on Integation of Science and Technology for Sustainable Development. KMITL, Bangkok. Thailand. 24th-26th August, 2004: pp: 379-384.
- Luangsakul, N.,** Katekasem, P., Suksawang, M. and Pomanansiri, S. 2011 The effects of the amount and type of wheat flour and mixing method on the quality of fortune cookies. In Proceedings of the 49th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart University, Bangkok. Thailand. 1st-4th February, 2011: pp: 290-298. (in Thai)
- Luangsakul, N.,** Siamtong, A., Wongthida, T., and Punga, U. 2011. Effects of dough sheeting, dough weight and proofing temperature on dough and bread properties using no-time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dough method. In Proceedings of The 12th Asean Food Conference 2011. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand 16th - 18th June, 2011: pp: 556-559.

Lunnawa, P., **Luangsakul**, N. 2012. Composition and physicochemical properties of starch isolated from Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis* Trin.). In Proceedings of the 1st Asean plus three Graduate Research Congress (AGRC 2012). Chiang Mai, Thailand, 1st- 2nd March, 2012. pp: 422-428.

Luangsakul, N., Ruenpirom, S., Boothsri, A. 2012. Pasting properties of Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis* Trin.) starch and textural properties of its gel. In Proceedings of the 14th Food Innovation Asia Conference 2012. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand, 14th- 15th June, 2012. pp: 37-42.

Luangsakul, N., Apiwong, P., Reungsang, M. and Kaewmon, A. 2012 Development of freeze-dried snack from Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis* Trin.). In Proceedings of the 14th Food Innovation Asia Conference 2012. BITEC Bangna, Bangkok, Thailand, 14th-15th June, 2012: pp: 318-324.

Jaikwang, K. and **Luangsakul**, N., 2012. Characteristics of dough and Chinese steamed bun fermented from Thai traditional fermentation starter (Loog-Pang) produce in the northern part of Thailand. In Proceedings: The 1st KMITL Agro-Industry Conference. The Emerald Hotel, Bangkok. Thailand, 7st September, 2012: pp: 109-116. (in Thai)

Suksawat, C. and **Luangsakul**, N. 2012. Resistant starch content and physicochemical properties of legume flour, In Proceedings: The 1st KMITL Agro-Industry Conference. The Emerald Hotel, Bangkok. Thailand, 7st September, 2012 pp:214-220. (in Thai)

Rongchoung, J. and **Luangsakul**, N. 2012. Effects of selected gluten-free flours on the qualities of gluten-free cookies. In Proceedings: The 1st KMITL Agro-Industry Conference. The Emerald Hotel, Bangkok. Thailand, 7st September, 2012. (in Thai)

Oamsukho, N. and **Luangsakul**, N. 2013. Effects of various processing techniques on the *in vitro* starch digestibility in Pigeon Pea, Red kidney bean and Chinese water chestnut starch. In Proceedings: The 2nd KMITL Agro-Industry Conference. The Windsor Hotel, Bangkok. Thailand, 30st August, 2013 pp: 145-151.

Sartsara, W., and **Luangsakul**, N. 2014. Characteristics of the bread made from rice and legume flours substituted to wheat flour. In Proceedings of the International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014). Ayodya resort, Bali, Indonesia, 27th-29th

เอกสารนี้ June, 2014. pp: 602-611. เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Supasom, B., and **Luangsakul, N.** 2014. Comparison of *in vitro* starch digestibility between legumes, tubers and cereals. In Proceedings of the International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014). *Ayodya resort, Bali, Indonesia, 27th-29th June, 2014*, pp: 612-622.

Chomchuenjitsin, T., and **Luangsakul, N.**, 2014. Effects of oil types on the quality of cake for vegans. In Proceedings of the International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014). *Ayodya resort, Bali, Indonesia, 27th-29th June, 2014*. pp: 623-630.

8.3 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ (abstracts):

Khopalassute, S, Sungsrin, A. and **Luangsakul, N.** 2005. Development of Butter Cake for Strict Vegetarians. In Proceedings of the 7th Agro-Industrial Conference 2005. Bitec Convention Center, Bangkok. 22nd-24th June, 2005. (in Thai)

Luangsakul, N., Maeda, T., Lertsachayarn, T., Morita, N. and Keeratipibul, S. 2008. Characteristics of two cultivars of Thai glutinous rice and their application to the rice crackers (arare). In Proceedings of the 2nd International Symposium on Rice and Disease Prevention, Wakayama Prefectural Culture Hall, Wakayama, Japan, 26th-27th October, 2008.

Luangsakul, N. and Jaikwang, K. 2012. Characteristics of Chinese steamed bun made from Thai traditional fermentation starter (Loog-Pang). In Proceedings of the V Symposium on Sourdough Cereal Fermentation for Future Foods, Hotel Hilton Strand, Helsinki, Finland, 10th-12th October, 2012.

Luangsakul, N. and Puttongsiri, T. 2012 Volatile compounds of a commercial Chinese steamed bun made from a Thai traditional fermentation starter (Loog-Pang). In Proceedings of the V Symposium on Sourdough Cereal Fermentation for Future Foods, Hotel Hilton Strand, Helsinki, Finland, 10th-12th October, 2012.

9. : บทความที่ตีพิมพ์

Keeratipibul S. and **Luangsakul N.** 2012. Chinese steamed buns. In Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology, 2ed, edited by Y. H. Hui; E. Özgül Evranuz, CRC press, NY.

10. รางวัล:

Young Investigator's Award, the excellent paper of Characteristics of two cultivars of Thai glutinous rice and their application to the rice crackers (arare) in *the 2nd International Symposium on Rice and Disease Prevention, 26th-27th October, 2008. Wakayama, Japan.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้