สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
วิทยานิพนธ์ งานวิจัย
Mtx 127470

การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

นางสาวญาณิศา โพธิ์รัตน์โส

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
พ.ศ. 2562

สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ใบอนุมัติวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

เรื่อง : การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

ผู้วิจัย : นางสาวญาณิศา โพธิ์รัตน์โส

ได้รับอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

(รองศาสตราจารย์ ดร.รภัสสา จันทาศรี)
คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล วรคำ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.กัญชลิกา รัตนเชิดฉาย)

กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ภูสีฤทธิ์)

กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ บุตรศาสตร์)

กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พรพิษณุ ธรรมปัทม์)

ชื่อเรื่อง	:	การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน
ผู้วิจัย	:	นางสาวญาณิศา โพธิ์รัตน์โส
ปริญญา	:	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการเกษตร) มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ที่ปรึกษา	:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนันท์ บุตรศาสตร์ อาจารย์ ดร.พรพิษณุ ธรรมปัทม์
ปีการศึกษา	:	2562

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของแป้งธัญพืชต่างกัน ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ร่วมกับแป้งฟักทอง ต่อคุณภาพของแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน และคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมซึ่งผู้ทดสอบให้การยอมรับรวมสูงสุด มาศึกษาสภาวะในการอบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน และพัฒนาสูตรโดยวางแผนการทดลองแบบผสมผันแปรส่วนผสมของแป้งฟักทอง (ร้อยละ 30-50) แป้งธัญพืช (ร้อยละ 40-60) และเนย (ร้อยละ 10-30)

ผลการวิจัยพบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับคุณภาพของแครกเกอร์ที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมกับแป้งฟักทองมากที่สุด และสภาวะที่เหมาะสมในการอบ คือ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที โดยผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองผสมกับแป้งข้าวเจ้ามีคุณภาพทางกายภาพค่าสี (L* a* b*) ปริมาณน้ำอิสระ และแรงกดแตก ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ท้องตลาด ผลการพัฒนาสูตรเพื่อหาส่วนประกอบที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน คือ แป้งฟักทองร้อยละ 30 แป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 45.8 และเนยร้อยละ 24.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน มีปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 5.67, 7.02, 6.60, 9.77, 11.11 และ 59.83 ตามลำดับ และคุณสมบัติเพื่อสุขภาพ ได้แก่ ปริมาณ β-carotene เท่ากับ 145.33 μg/100g และการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 68.52 mgAA/100g ตามลำดับ

คำสำคัญ : แครกเกอร์ แป้งข้าวเจ้า ฟักทอง กลูเตน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

________________________อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Title	:	Product Development of Gluten-Free Pumpkin Cracker
Author	:	Miss Yanisa Poratso
Degree	:	Master of Science (Agricultural Technology)
		Rajabhat Maha Sarakham University
Advisors	:	Assistant Professor Dr.Sunan Butsat
		Dr.Pornpisanu Thammapat
Year	:	2019

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of various cereal flours including as rice flour, corn flour and tapioca starch mixed with pumpkin flour on the quality of gluten free pumpkin cracker corresponding with overall acceptance of testers. Selecting the optimal cereal flour of cracker was used to study baked condition at different temperatures and times. Experimental mixture design was used to develop cracker formulation by using various ratios of pumpkin flour (30-50%), cereal flour (40-60%) and butter (10-20%).

The result found that the cracker was prepared from pumpkin flour and rice flour provided the most accepted by testers and the optimal baking was 170 °C for 8 minutes. The physical qualities such as color value (L* a* b*), water activity (a_w) and hardness (compression force) of developed cracker were similarly as commercial cracker. From experimental mixture design result showed that the optimal ratio of mixture components was 30% pumpkin flour, 45.8% rice flour and 24.2% butter. The moisture, ash, protein, fat, fiber and carbohydrate contents in developed gluten-free pumpkin cracker were 5.67%, 7.02%, 6.60%, 9.77%, 11.11% and 59.83%, respectively. Health properties include β-carotene and free radical inhibition were 145.33 µg/100g and 68.52 mgAA/100g respectively.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Keywords: Cracker, Rice Flour, Pumpkin, Gluten-Free

____Major Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือแนะนำของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ บุตรศาสตร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และอาจารย์ ดร.พรพิษณุ ธรรมปัทม์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตรวจสอบ และแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. กัญชลิกา รัตนเชิดฉาย ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธาน โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ ภูสีฤทธิ์ เป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยการ และประสานงานในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนค้นคว้าหาข้อมูลในการจัดทำวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอให้เป็นกตเวทิตาแด่บิดา มารดา ครอบครัวของผู้เขียน ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยจนสามารถให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

นางสาวญาณิศา โพธิ์รัตน์โส

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

หัวเรื่อง หน้า

บทคัดย่อ .... ค

ABSTRACT .... ง

กิตติกรรมประกาศ .... จ

สารบัญ .... ฉ

สารบัญตาราง .... ซ

สารบัญภาพ .... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 3

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 5

2.1 ความหมายของกลูเตน 5

2.2 แป้ง 8

2.3 แครกเกอร์ 12

2.4 แป้งธัญพืช 17

2.5 ฟักทอง 20

2.6 แคโรทีนอยด์ 21

2.7 การสังเคราะห์ และสกัดแคโรทีนอยด์ 26

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 32

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ เครื่องแก้ว สารเคมี และเครื่องมือ 32

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย 34

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 42

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวเรื่อง **หน้า**

บทที่ 4 ผลการวิจัย 43
4.1 ผลของแป้งธัญพืชร่วมกับแป้งฟักทองที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 43
4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 44
4.3 ผลการศึกษาหาองค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 46
4.4 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน 52
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 54
5.1 สรุปผลการวิจัย 54
5.2 ข้อเสนอแนะ 55
บรรณานุกรม 56
ภาคผนวก 61
ภาคผนวก ก แบบประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัส 62
ภาคผนวก ข วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต 65
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการผลิตแครกเกอร์ 67
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ 72
ประวัติผู้วิจัย 75

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ปริมาณส่วนประกอบของวัตถุดิบในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 34

3.2 อุณหภูมิ (°C) และระยะเวลาที่ใช้ในการอบ (นาที) 35

3.3 สัดส่วนและปริมาณขององ์ประกอบหลักในแต่ละสูตร 37

4.1 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ฟักทอง
ร่วมกับแป้งธัญพืชต่างกัน 43

4.2 ค่าการทดสอบในการศึกษาสภาวะในการอบที่เหมาะสมโดยการผันแปร อุณหภูมิและ
ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ 44

4.3 ค่าคะแนนการยอมรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทอง
ปลอดกลูเตน 46

4.4 คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน จากการเปรียบเทียบ
การยืนยันผลการทดลอง 51

4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์
ฟักทอง ปลอดกลูเตน 51

4.6 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน 52

4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน และกิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH
ในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน 53

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 (ก) โครงสรางของอะไมโลส และ (ข) โครงสรางของอะไมโลเพคติน 9

2.2 การเจลาติไนเซชันของแป้ง 11

2.3 การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง 12

2.4 ฟักทอง 21

2.5 ผัก และผลไม้ที่มีสีส้ม 23

2.6 โครงสร้างของแคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติ 26

4.1 Contour plot คะแนนด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทอง ปลอดกลูเตน 47

4.2 Contour plot คะแนนด้านสีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 48

4.3 Contour plot คะแนนด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 48

4.4 Contour plot คะแนนด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทอง ปลอดกลูเตน 49

4.5 Contour plot คะแนนด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 49

4.6 Contour plot คะแนนด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทอง ปลอดกลูเตน 50

ข.1 วัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิต 66

ค.1 ชั่งส่วนผสมตามสูตรที่กำหนด 68

ค.2 นำส่วนผสมทั้งหมดมาปั่นเข้าด้วยกันเป็นเวลา 2 นาที แล้วนวดจนเป็นเนื้อเดียวกัน 68

ค.3 พักแป้งโดทิ้วไว้ประมาณ 20 นาที ที่อุณหภูมิตู้เย็น 69

ค.4 รีดโดให้เป็นแผ่นบางด้วยเครื่องรีดแป้ง โดยใช้หัวรีดเบอร์ 2 แล้วตัดให้เป็นแผ่น ขนาด 4x4 เซนติเมตร แล้วนำเข้าอบให้สุกด้วยตู้อบลมร้อน 70

ค.5 ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 71

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ จัดเป็นขนมปังกรอบอีกประเภทหนึ่งซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวสาลีเป็นส่วนผสมหลัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2555) เมื่อมีการบริโภคแครกเกอร์มากขึ้นจึงส่งผลต่อการใช้แป้งสาลีเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง ผลิตภัณฑ์มีราคาแพงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าแครกเกอร์ที่ผลิตจากแป้งสาลียังอาจส่งผลต่อสุขภาพในกลุ่มผู้แพ้กลูเตน ซึ่งเป็นโปรตีนหลักในแป้งสาลี กล่าวคือ ผู้ที่ป่วยเป็นโรคระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ ร่างกายจะผลิตสารต่อต้านการทำงานของเนื้อเยื่อของลำไส้เล็ก ซึ่งเมื่อร่างกายได้รับกลูเตนเข้าไปเนื้อเยื่อที่ผนังลำไส้เล็กจะทำให้พื้นที่ในการดูดซับจะน้อยลงจนมีผลข้างเคียงคือ อาการท้องร่วง เป็นต้น ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ปราศจากกลูเตนหลากหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมปังปลอดกลูเตนโดยการใช้แป้งข้าว แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง พบว่าขนมปังปราศจากกลูเตนที่มีการผสมระหว่างแป้งข้าว ร้อยละ 45 แป้งข้าวโพด ร้อยละ 35 และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 20 ทำให้ขนมปังมีลักษณะที่ดี เนื้อแน่น เซลล์มีลักษณะที่ดี รวมถึงกลิ่น และลักษณะปรากฏเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค (Lopez et al., 2004) นอกจากนี้ยังมีการผลิตแครกเกอร์จากแป้งข้าวเหนียวและข้าวเหนียวหัก (จิตติมณฑน์ วงศ์ษา และคณะ, 2556) คุกกี้ปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งธัญพืชอื่น ๆ เช่น แป้งข้าวสีนิล แป้งกล้วยหอม แป้งมัน และเผือก (สิรินภา สาสนาม และคณะ, ม.ป.ป.) และแครกเกอร์จากข้าวเหนียวดำและข้าวเหนียวข้าว (นวรัตน์ เศรษฐสุวรรณ และคณะ, 2553)

แป้งที่นำมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ จะได้มาจากธัญพืชต่าง ๆ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งแป้งต่างชนิดกันจะมีส่วนประกอบต่างกัน จึงทำให้แป้งมีคุณสมบัติทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ ทางด้านเคมี และทางด้านกายภาพต่างกันด้วย โดยทั่วไปแป้งจะมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด ซึ่งจะอยู่ในรูปของสตาร์ช รองลงมา คือ โปรตีน นอกจากนี้ยังมีไขมัน เซลลูโลส เถ้า วิตามิน สารสี เอนไซม์ ความชื้นหรือน้ำ (งามชื่น คงเสรี, 2546) ในงานวิจัยนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มีความสนใจที่จะนำแป้งจากธัญพืชต่าง ๆ มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ร่วมกับฟักทอง เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น ประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่สูง และเหมาะแก่การนำมาบริโภค ซึ่งฟักทองเป็นพืชผักวงศ์แตง (Cucurbita Moschata) ที่มีคุณค่าทางอาหารและยา สามารถปลูกได้ตลอดปีในทุกภาคของประเทศไทย ในปัจจุบันมีการรับประทานฟักทองทั้งในส่วนเนื้อและเมล็ด ในรูปอาหารเพื่อสุขภาพ หรือเป็นยา (Caili et al., 2006) เนื้อฟักทองประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 9.91 ไขมันร้อยละ 2.45 และเยื่อใยร้อยละ 6.66 (Kulaitiene et al., 2014) นอกจากนี้ฟักทองเป็นแหล่งของสารแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะสารเบต้า-แคโรทีน (β-carotene) ที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ ซึ่งช่วยทำให้ตามองเห็นในที่มืดสลัวได้ดี ปกป้องผิวหนังจากรังสีอุลตร้าไวโอเลทจากแสงแดด และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ฟักทองยังมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญอื่นๆ อีก ได้แก่ วิตามินเอ โฟเลท และกรดแกมม่าอะมิโนบูไทริก (Mulleder et al., 2002.) ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตแครกเกอร์ที่ปลอดกลูเตนโดยใช้แป้งฟักทองร่วมกับแป้งจากธัญพืชต่าง ๆ เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหมาะสมต่อการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทย และสามารถลดการนำเข้าแป้งสาลีได้อีกด้วย อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความหลากหลายในการใช้ประโยชน์จากแป้งธัญพืชปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง และเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาชนิดของแป้งธัญพืชและศึกษาสภาวะในการอบที่เหมาะสมต่อการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเพื่อสุขภาพของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาชนิดของแป้งที่มาจากธัญพืช 3 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ร่วมกับแป้งฟักทองในการผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

1.3.2 ศึกษาสภาวะที่ใช้ในการอบแครกเกอร์ คือ อุณหภูมิ 150 – 170 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการอบ 8 – 12 นาที

1.3.3 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน

1.3.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

"แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน" หมายถึง ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่ผลิตจากฟักทองร่วมกับแป้งธัญพืช

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

"โรคภูมิแพ้กลูเตน" หมายถึง โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกัน เกิดจากการที่ระบบภูมิคุ้มกันตอบสนองต่อโปรตีนกลูเตน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีอยู่ในพืชจำพวกข้าวสาลี ข้าวไรย์ และข้าวบาร์เลย์หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งสาลี ทั้งนี้อาการแพ้กลูเตน สามารถส่งผลเสียได้กับทั้งร่างกายและจิตใจ วิธีเดียวที่สามารถทำได้คือการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการรับประทานอาหาร โดยหลีกเลี่ยงอาหารที่ทำจากแป้ง และข้าวที่มีโปรตีนกลูเตน

"ผลิตภัณฑ์ปลอดกลูเตน" หมายถึง ผลิตภัณฑ์ปราศจากโปรตีนกลูเตน ซึ่งเป็นสารที่พบอยู่ในธัญพืชจำพวกข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรย์ ข้าวทริทิเคลีที่เป็นธัญพืชผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวสาลีกับข้าวไรย์ รวมไปถึงผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ทำจากแป้งสาลีหรือธัญพืชเหล่านี้ด้วย ดังนั้น จึงอาจพบกลูเตนได้ในซุปข้น ซอส เครื่องดื่ม วิตามิน หรืออาหารเสริมบางตัว เช่น ซอสถั่วเหลือง เบียร์ ผลิตภัณฑ์จากมอลต์ ขนมปัง พาสต้า เค้ก หรือน้ำสลัด เป็นต้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 ได้ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปราศจากกลูเตน

1.5.2 ได้ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองที่เป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ดูแลสุขภาพ

1.5.3 เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร

1.5.4 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปถ่ายทอดแก่ชุมชนได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ความหมายของกลูเตน

2.1.1 กลูเตน (Gluten)

กลูเตนเป็นโปรตีนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) ในปริมาณใกล้เคียงกัน ปริมาณกลูเตนที่เกิดขึ้นนับว่าเป็นส่วนใหญ่ของโปรตีน (ร้อยละ 80-90) ในแป้งไกลอะดินและกลูเตนินก่อให้เกิดลักษณะโครงร่างของกลูเตนจากการนวดโด ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวของพันธะทางเคมีระหว่างกรดอะมิโนหลายรูปแบบ ได้แก่ พันธะโคเวเลนต์ (Covalent) พันธะอิออนิก (Ionic) และพันธะวาน เดอร์ วาลส์ (Van der waals) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

Demirkesen et al. (2010) รายงานว่า กลูเตนเป็นสิ่งสำคัญในการกักเก็บก๊าซเอาไว้ ซึ่งเป็นที่ต้องการต่อปริมาตรและลักษณะเนื้อสัมผัสของโดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงร่างโปรตีนที่แข็งแรงซึ่งเป็นที่ต้องการในการรักษาความเหนียวของโด กลูเตนินและโปรลามิน (Prolamin) เป็นส่วนประกอบหลักในกลูเตนในขณะที่โปรลามินจะให้ความเหนียวและความสามารถในการขยายตัวของโด ส่วนกลูเตนินจะมีหน้าที่ให้คุณสมบัติยึดหยุ่นและเกาะติดกันของโดกลูเตนนั้นไม่ได้มีความสำคัญเพียงแค่ในเรื่องของลักษณะที่ปรากฏเท่านั้น แต่ยังมีส่วนช่วยในโครงร่างของเนื้อขนมปังที่ทำจากธัญพืชอีกด้วย ตามที่ Renzetti et al. (2008) กล่าวว่ากลูเตนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับคุณภาพทั้งหมดและโครงร่างของขนมปังเช่นเดียวกับ Sivaramakrishnan et al. (2004) ได้นำเสนอว่ากลูเตนเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการเกิดโครงร่างโปรตีนสำคัญการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ลักษณะพิเศษของกลูเตนนี้ ทำให้แป้งสาลีเหมาะสมในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบได้ดีกว่าแป้งชนิดอื่นที่ไม่มีกลูเตน หรือมีกลูเตนแต่สัดส่วนขององค์ประกอบไม่เหมาะสม เนื่องจากในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้นส่วนใหญ่ต้องการโครงร่างของกลูเตนที่แข็งแรง ยึดหยุ่นสามารถอุ้มก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมัก และคงรูปร่างเมื่อถูกความร้อน ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อเหนียวพอดีเป็นเส้นใย ซึ่งผู้บริโภคทั่วไปยอมรับโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของลักษณะพิเศษ คือ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. ไกลอะดินมีลักษณะเป็น Globular Protein มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 30-75 กิโลดาลตัน (kDa) และโมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ เป็นโปรตีนที่ละลายในเอธานอล ร้อยละ 70 มีคุณสมบัติเป็นตัวทำให้เกิดความเหนียวหนืด (Viscous Property) ของกลูเตน

2. กลูเตนินมีลักษณะเป็นสายโมเลกุลยาวต่อกันด้วยหน่วยย่อยๆ มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 60-140 กิโลดาลตัน มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ จนได้เป็นสายโมเลกุลขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากกว่า 2,000 กิโลดาลตันขึ้นไป เกิดเป็นโครงสร้างกลูเทนินโพลีเมอร์ โดยมีกรดอะมิโนย่อยๆ มายึดเกาะกันเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเกลียว (α- helix) และตรงส่วนกลางของกลูเตนินจะมีกรดอะมิโนมายึดเกาะกันประมาณ 6-5 ชนิด เป็นโครงสร้างแบบแผ่น (β- sheet) ซึ่งกรดอะมิโนส่วนใหญ่จะเป็นไกลซีน โพรลีน และกลูตามีน กลูเตนินสามารถละลายไดในน้ำสารละลายกรดอ่อน สารละลาย Sodium Dodecyl Sulphate (SDS) และสารละลายเอธานอล ร้อยละ 70 สมบัติของกลูเตนิน คือ ทำให้เกิดความยืดหยุ่นคล้ายสปริง (Elastic Property) และมีคุณสมบัติในการเกาะติด (Cohesiveness)

กลูเตนจากข้าวสาลี นิยมนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนจากพืชเป็นอันดับสองรองจากโปรตีนถั่วเหลืองในแง่ของปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา ปัจจุบันกำลังการผลิตกลูเตนจากข้าวสาลีมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามมักจะนิยมนำเอากลูเตนไปใช้ในรูปของส่วนผสมอย่างหนึ่งในอาหารมากกว่าที่จะนิยมนำมาบริโภคโดยตรง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กระบวนการผลิตกลูเตนส่วนใหญ่เป็นกระบวนการแบบเปียก (Wet Process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่แยกเอาส่วนของสตาร์ซออกมาจากแป้งสาลี ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตกลูเตนซึ่งมีอยู่ 3 กระบวนการใหญ่ๆ ได้แก่

1. Dough System หรือ Batter Process ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานโดยเป็นการละลายแป้งสาลีให้กระจายในน้ำปริมาณมากๆ เพื่อให้ส่วนของกลูเตนถูกแยกออกมาในลักษณะ Curd และแยกเอากลูเตนที่ได้ออกจากน้ำแป้งโดยการกรองร่อน

2. การผลิตแบบมาร์ติน (Martin) เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการแยกเอาส่วนของโด (Dough) ออกมาจากแป้งสาลีโดยการนวดแป้งและพ่นล้างด้วยเพื่อล้างเอาส่วนสตาร์ชออก

3. Alkaline process โดยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.03 นอร์มัล เพื่อแยกสตาร์ชและตกตะกอนโปรตีนกลูเตนในกระบวนการผลิตเหล่านี้กลูเตนที่ได้จะทำให้อยู่ในรูปผงแห้ง อาจใช้วิธีทำให้แห้งแบบแช่แข็ง ซึ่งไม่ทำให้กลูเตนเสียสภาพธรรมชาติและ

คงคุณสมบัติในการเกิดลักษณะที่ยืดหยุ่น และความสามารถในการอุ้มน้ำไว้มากที่สุดกลูเตนที่คงคุณสมบัติเหล่านี้อยู่เรียกว่า Vital Gluten

ปฏิกิริยาในระหว่างที่มีการผสมโดเกิดขึ้นนั้นพันธะไดซัลไฟด์ที่มีอยู่ในโมเลกุลจะเกิดปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างกลูเตนิน และไกลอะดิน โดยที่พันธะไดซัลไฟด์ภายในโมเลกุลของกลูเตนินจะถูกแทนที่ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ของไกลอะดิน มีผลทำให้ไกลอะดินมีลักษณะคล้ายกับ Plasticizer ของกลูเตนิน โดยกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของกลูเตนกลูเตนินและไกลอะดิน

2.1.2 โรคภูมิแพ้กลูเตน (Celiac Disease)

โรคภูมิแพ้กลูเตน คือ โรคที่เกี่ยวกับระบบการย่อยไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากลำไส้เล็กถูกทำลายมีผลทำให้ลำไส้เล็กดูดซึมสารอาหารไปใช้ไม่ได้ สาเหตุเกิดจากการแพ้ไกลอะดินในกูลเตน ซึ่งพบในข้าวสาลี ข้าวไรซ์ ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต โดยผู้ป่วยจะออกอาการเมื่อรับประทานอาหารที่มีกลูเตนเข้าไปทำให้ระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายสร้างสารขึ้นมาต่อต้านซึ่งจะไปทำลายส่วนที่ใช้ดูดซึมสารอาหารในลำไส้เล็ก ทำให้ร่างกายดูดซึมสารอาหารเข้าสู่กระแสเลือดไม่ได้ อาการของโรคนี้โดยทั่วไป คือ ท้องบวม และปวด มีอาการท้องร่วงเรื้อรัง น้ำหนักลด อุจจาระมีสีซีดและกลิ่นเหม็นเน่า โลหิตจาง เป็นตะคริว เหนื่อยง่ายหากเกิดในทารกจะเจริญเติบโตช้า ปวดกระดูกและข้อต่อ ขาหมดความรู้สึก เพราะเส้นประสาทถูกทำลาย มีแผลพุพองในปาก มีผื่นคันที่ผิวหนัง เรียกว่า Dermatitis Herpetiformis สำหรับผู้หญิงประจำเดือนจะไม่มาเนื่องจากน้ำหนักลด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แนวทางในการรักษามีทางเดียวคือ หลีกเลี่ยงอาหารที่มีกลูเตน เพราะฉะนั้นจึงมีการคิดสูตรอาหารที่ปราศจากกลูเตนขึ้นมามากมาย โดยหนึ่งในนั้นคือ ผลิตภัณฑ์ขนมอบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบปราศจากกลูเตน ได้มีการพิจารณาใช้แป้งชนิดอื่นมาทดแทนแป้งสาลีที่มีกลูเตน เช่น แป้งข้าว แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด โดยเฉพาะแป้งข้าวนั้นเป็นแป้งที่นิยมใช้มากในงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบปราศจากกลูเตน เพราะมีคุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสม คือ ปราศจากกลูเตน มีปริมาณโซเดียม โปรตีน และไขมันน้อย นอกจากนี้ยังมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายเป็นปริมาณมากอีกด้วย ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่มีประโยชนต่อสุขภาพมาก

Sabanis et al. (2009) รายงานว่า โรคภูมิแพ้กลูเตน เป็นความผิดปกติเรื้อรังของลำไส้เล็ก มีสาเหตุมาจากกลูเตนที่มีผลเฉพาะทางพันธุกรรม ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ต่อต้านกรดอะมิโนที่พบในโปรลามินของข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรซ์ ผลที่เกิดขึ้นจะเป็นอันตรายต่อส่วนของวิลไล (Villi) ในลำไส้เล็ก ที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมสารอาหาร ซึ่งสอดคลองกับ Demirkesen et al. (2010)

ที่กล่าวว่า โรคภูมิแพ้กลูเตนเป็นความผิดปกติเกี่ยวกับการย่อย ซึ่งเป็นอันตรายต่อวิลไล (Villi) ในลำไส้เล็กที่มีหน้าที่ดูดซึมสารอาหาร เนื่องจากจะเกิดปฏิกิริยาการสร้างภูมิคุ้มกันต่อกลูเตน

อาหารที่ปราศจากกลูเตน (Gluten-free diet) จึงเป็นทางเลือกสำหรับผู้ที่เป็นโรคดังกล่าว โดยมี การวิจัยและพัฒนากันอย่างแพร่หลายถึงการนำแป้งที่ปราศจากกลูเตนมาผลิตเป็นอาหารที่ไม่มีกลูเตนเพื่อแทนที่แป้งสาลีในผลิตภัณฑ์นั้นๆ

2.2 แป้ง

แป้งเป็นส่วนผสมสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น อาหารเส้น ขนมเบเกอรี่ ขนมขบเคี้ยว ขนมหวาน อาหารแปรรูป และอาหารกึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น ซึ่งคำว่า “แป้ง” เป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียกแป้งทั้งสองชนิดคือ ฟลาวร์ (Flour) และ สตาร์ช (Starch) ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน ประเภทของแป้งที่เลือกใช้ในการผลิตอาหารมีหลายประเภทด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน ด้านลักษณะของเนื้อขนม และด้านรสชาติที่ไม่เหมือนกัน โดยแป้งผลิตมาจากส่วนของพืชที่มีการสะสมอาหาร เช่น เมล็ดของข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่วเหลือง มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ และเผือก เป็นต้น นำมาผ่านกระบวนการทำให้ละเอียดด้วยวิธีการบดหรือโม่ ซึ่งมีทั้งวิธีแบบแห้ง (Dry Milling) และวิธีแบบเปียก (Wet Milling) แป้งที่ผลิตได้โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นผงแห้ง มีองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

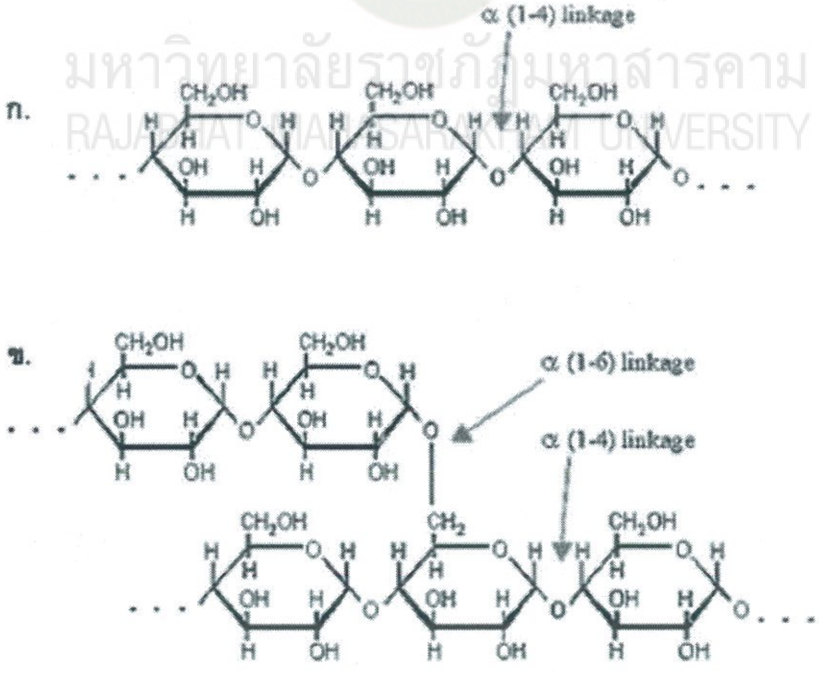
2.2.1 โครงสร้างและการรวมตัวกันของเม็ดแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งหมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่น้อยมาก ส่วนใหญ่แป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อยู่มาก เรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) ตัวอย่าง เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง จะจัดอยู่ในประเภท Flour เรียกว่า Corn Flour Wheat Flour เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีนร้อยละ 7 ถึง 8 ก็เรียกว่า Rice Flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแรอื่น ๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือเป็นแป้งบริสุทธิ์

เป็นส่วนใหญ่จึงเรียกว่า แป้งสตาร์ช (Starch) เช่น Corn Starch, Wheat Starch เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

ภายในเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพคติน (Amylopectin) ที่จัดเรียงตัวกันภายในเม็ดแป้งทั้งส่วนที่เป็นผลึก (Crystallite) และส่วนอสัณฐาน (Amorphous) ส่วนของสายโซสั้นของอะไมโลเพคตินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (Double helix) ซึ่งบางส่วนจะเกิดโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลสและสายโซยาวของอะไมโลเพคตินเม็ดแป้งจะมีโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (สตาร์ชจากธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆ จะเกิดผลึกแบบ B (สตาร์ชจากพืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว) อะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่เป็นองค์ประกอบในเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่น้ำหนักโมเลกุล และสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน ดังนั้น สมบัติของแป้งที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันจึงมีความสามารถในการทำหน้าที่ได้ต่างกัน (ภาพที่ 2.1)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.1 (ก) โครงสรางของอะไมโลส และ(ข) โครงสรางของอะไมโลเพคติน. ปรับปรุงจาก *เทคโนโลยีของแป้ง,* โดย กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546, กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

2.2.2 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy Group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในในรูปของร่างแห Micell ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach et al., 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนเข้าไป พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ของผสมจะมีความหนืดมากขึ้น และใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (ภาพที่ 2.2)

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้อย่างรวดเร็ว โดยจะดูดซึมน้ำเข้ามามากเรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจลของแป้งทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่าง ๆ ได้ดีกว่า

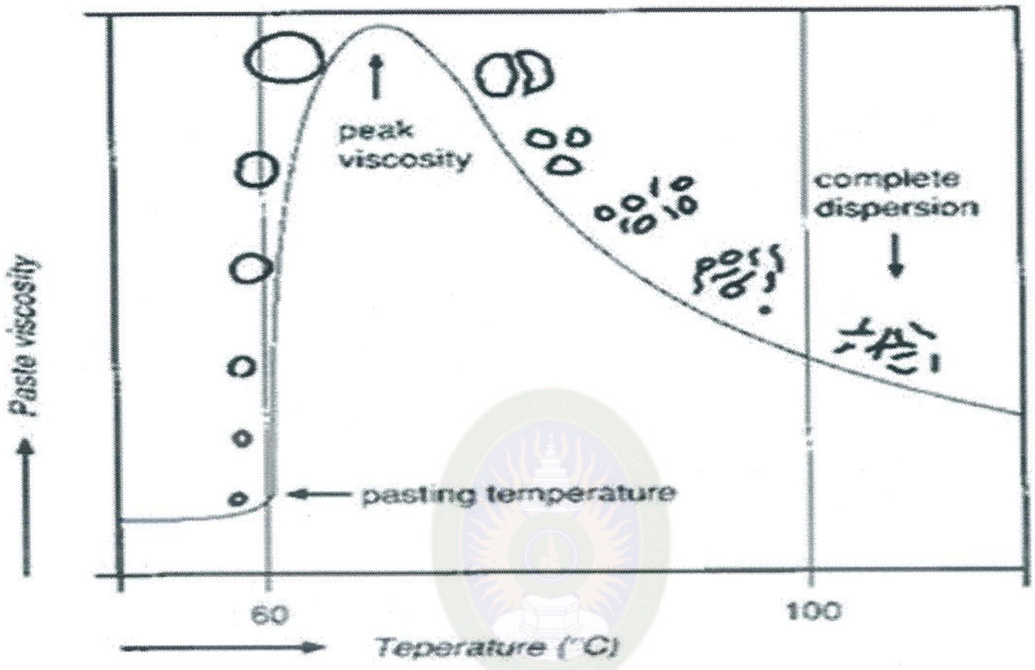
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ ทำให้เม็ดแป้งมีขนาดต่างกัน แป้งชนิดต่าง ๆ มีลักษณะการเกิดเจลที่ต่างกันไป

2.2.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นลงโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้นเกิดลักษณะเป็นเจลเรียกปรากฏการนี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัว หรือ Setback เมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของ

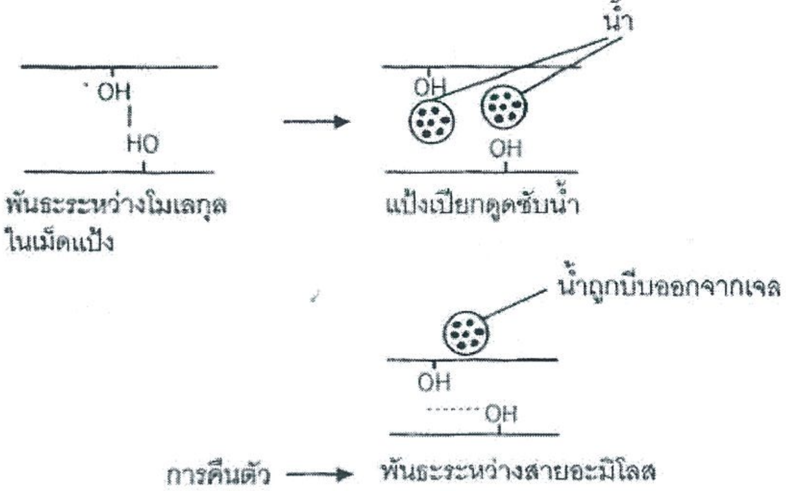
โครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า Syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่น และมีความหนืดมากขึ้น



ภาพที่ 2.2 การเจลาติไนเซชันของแป้ง, ปรับปรุงจาก *Starch crop selection and breeding,* โดย Sanders, 1996, *In Advanced Post-Academic Course on Tapioca Starch Technology*, p. 19-23.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้นของสตาร์ช กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ความเป็นกรดเบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในสตาร์ช ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ และความเข้มข้นของสตาร์ชสูง สตาร์ชสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วงพีเอช 5-7 สตาร์ชที่มีอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มาก และเร็วกว่าสตาร์ชที่มีอะมิโลเพกตินสูง ในการทำให้อะมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพกตินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)



ภาพที่ 2.3 การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง, โดย กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546, กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

2.3 แครกเกอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แครกเกอร์ จัดเป็นขนมปังกรอบประเภทหนึ่งที่แตกต่างไปจากบิสกิต และคุกกี้ เมื่อพิจารณาตามส่วนผสม วิธีการทำ รูปร่างและขนาด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2538 ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ในกลุ่มขนมปังกรอบและแครกเกอร์มีการขยายตัวทางการตลาดเพิ่มมากขึ้น โดย นายเว็น ซานโตส ผู้จัดการฝ่ายการตลาดอาวุโส บริษัท มอนเด นิสชิน (ประเทศไทย) จำกัดกลุ่มธุรกิจจากประเทศฟิลิปปินส์ เปิดเผยว่าตลาดแครกเกอร์หรือขนมปังกรอบในประเทศไทยมีมูลค่ากว่า 1 หมื่นล้านบาท และด้วยกลยุทธ์การตลาด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท (แครกเกอร์วอยซ์) มีส่วนแบ่งการตลาดแล้วร้อยละ 5 และมีความเติบโตขึ้นมากกว่าร้อยละ 15 มาตลอด 3 ปี โดยแนวโน้มของผู้บริโภคจะให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลดีต่อสุขภาพ แครกเกอร์มีแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลัก เมื่อมีการบริโภคแครกเกอร์มากขึ้นจึงส่งผลต่อการใช้แป้งสาลีเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง ผลิตภัณฑ์มีราคาแพงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าแครกเกอร์ที่ผลิตจากแป้งสาลียังอาจส่งผลต่อสุขภาพในกลุ่มผู้แพ้กลูเตน ซึ่งเป็นโปรตีนหลักในแป้งสาลี กล่าวคือ ผู้ที่ป่วยเป็นโรคระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ ร่างกายจะผลิตสารต่อต้านการทำงานของเนื้อเยื่อของลำไส้เล็ก ดังนั้นเมื่อร่างกายได้รับ

กลูเตนเข้าไปเนื้อเยื่อที่ผนังลำไส้เล็กจะทำให้พื้นที่ในการดูดซับจะน้อยลงจนมีผลข้างเคียงคือ อาการท้องร่วง เป็นต้น (ประชาคมวิจัย, 2561)

การบริโภคในปัจจุบันที่เน้นเรื่องของสุขภาพมากขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการหันมาสนใจกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่ใช้วัตถุดิบหลักจากข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศให้ปลอดกลูเตน เพื่อให้กลุ่มผู้บริโภคที่แพ้กลูเตนสามารถรับประทานได้

2.3.1 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์

ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตแครกเกอร์แบ่งได้เป็นส่วนผสมที่เป็นโครงร่างพื้นฐานและส่วนผสมที่ทำให้มีความอ่อนตัว ได้แก่

2.3.1.1 แป้งสาลี ประกอบโปรตีนกลูเตนิน (Glutanin) และไกลอะดิน (Gliadin) เมื่อผสมกับน้ำจะทำให้เกิดกลูเตน (Gluten) มีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ กลูเตนจะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงร่างของผลิตภัณฑ์ และจะเป็นโครงร่างแบบฟองน้ำ เมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ แป้งสาลีที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มี 3 ชนิดคือ แป้งขนมปัง แป้งเค้ก และแป้งอเนกประสงค์

1) แป้งขนมปัง มีโปรตีน ร้อยละ 12-14 ได้จากการโม่ข้าวสาลีชนิดแข็ง ลักษณะของแป้งชนิดนี้เมื่อถูด้วยมือจะรู้สึกระคายมือคล้ายมีกรวดหรือหยาบเหมือนทรายมีสีครีมไม่ขาว เมื่อกดนิ้วลงไปบนแป้ง แป้งจะไม่เกาะตัวกันแป้งนี้ใช้ยีสต์เป็นตัวทำให้ขึ้นฟู

2) แป้งอเนกประสงค์ มีโปรตีนสูงปานกลาง ร้อยละ 10-11 เป็นแป้งที่ได้จากการผสม ข้าวสาลีชนิดแข็งกับชนิดอ่อนเข้ากันในสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์หลายๆ ชนิด ใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง ซึ่งใช้เวลาในการนวดน้อยกว่าขนมปัง ลักษณะของแป้งชนิดนี้จะมีลักษณะของแป้งเค้กและแป้งขนมปังรวมกันสารที่ทำให้ขึ้นฟู สำหรับแป้งชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งยีสต์และผงฟู

3) แป้งเค้ก มีโปรตีนต่ำร้อยละ 7-9 โม่จากข้าวสาลีชนิดอ่อนใช้ทำเค้ก คุกกี้ ลักษณะของแป้งเมื่อถูด้วยมือจะรู้สึกอ่อนนุ่มเนียน ละเอียด มีสีขาวกว่าแป้งขนมปัง และแป้งอเนกประสงค์ เมื่อกดนิ้วลงบนแป้ง แป้งจะเกาะรวมกันเป็นก้อนและคงรอยนิ้วมือไว้ แป้งชนิดนี้ใช้สารเคมีช่วยทำให้ขึ้นฟูเท่านั้นไม่ใช้ยีสต์

แป้งช่วยให้เกิดโครงร่างของผลิตภัณฑ์และทำให้คงรูปอยู่เมื่ออบเสร็จแล้ว เป็นส่วนผสมหลักที่ใช้การทำผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงควรเลือกใช้แป้งสาลีที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยปกติผลิตภัณฑ์แครกเกอร์จะใช้แป้งสาลีชนิดอ่อนซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำประมาณ ร้อยละ 7-9

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ลักษณะของแป้งเมื่อถูด้วยมือจะรู้สึกอ่อนนุ่มเนื้อละเอียด มีสีขาวกว่าแป้งขนมปังหรือแป้งอเนกประสงค์

2.3.1.2 ไขมันและน้ำมันที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้มาจากทั้งพืชและสัตว์ สำหรับไขมันที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ เนยสด (Butter) ได้จากน้ำนมวัว มันหมูแข็งได้จากสุกร ส่วนไขมันที่ได้จากพืชจะได้มาจากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ เช่น เมล็ดฝ้ายถั่วลิสง ถั่วเหลือง ข้าว งา มะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น ไขมันและน้ำมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ ได้แก่

1) มันหมูแข็ง (Lard) เป็นไขมันที่ได้สุกรมีสีขาว มีกลิ่นและรสอ่อน ๆ เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณของไขมันอยู่ ร้อยละ 98 ใช้ในการทำขนมปัง แครกเกอร์ เปลือกพาย เค้กบางชนิด และคุกกี้ มันหมูแข็งที่ดีควรตัดจากส่วนด้านข้าง และด้านหลังของสุกร

2) เนยสด (Butter) ทำจากส่วนที่เป็นไขมันของนมวัว ประกอบด้วย ไขมันร้อยละ 80 มีสีเหลืองมีกลิ่นรสหวานมีลักษณะแข็งที่อุณหภูมิห้อง เนยสดนั้นใช้ได้ดีที่สุดในการให้กลิ่นรส แต่จะมีคุณสมบัติด้อยในการเป็นครีม คือเนยสดจะตีเป็นครีมไม่ดี และขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน เค้กที่ทำจากเนยล้วน ๆ โดยทั่วไปจะมีปริมาตรต่ำ เนื้อเค้กหยาบ แต่มีรสชาติหอมหวาน

3) ไขมัน (Hydrogenated Vegetable Oil) ทำจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ปราศจาก กลิ่น เช่น นม น้ำมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง โดยนำไปผ่านก๊าซ ไฮโดรเจนภายใต้ความดัน ซึ่งมีนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้นใช้โมโนกลีไตรเซอร์ไรด์เติมเข้าไปเพื่อให้ไขมันมีความสามารถในการดูดซึม และเก็บความชื้นไว้ได้สูง ซึ่งจัดเป็นไฮเรโซซอร์เทนิง สำหรับไขมันพืชที่ไม่เติมโมโนไตรกลีเซอรไรด์จะเป็นไขมัน พืชทั่วไปที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์และไขมันพืชที่มีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ลงไปจะตีครีมได้ไม่ดี ส่วนมากใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลและน้ำสูง ไขมันพืชที่ได้จากการผ่านก๊าซไฮโดรเจนจะมีสีขาว เรียกว่า เนยขาว ไม่มีกลิ่นรส เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและมีปริมาณไขมันร้อยละ 100

4) น้ำมันพืช (Vegetable Oil) เป็นน้ำมันจากเมล็ดแห้งของพืชให้น้ำมันนำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ โดยทำให้บริสุทธิ์ ขจัดสี และกลิ่นแปลกปลอมออกไป แต่สีของน้ำมันก็จะต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ปริมาณไขมันที่ได้ ร้อยละ 100 ส่วนใหญ่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ขนมปัง โรล และผลิตภัณฑ์ยีสต์ชนิดแข็ง เค้กบางชนิดที่ต้องการความนุ่ม

5) ไขมันผสมหรือมาร์การีน (Compound Lard) ทำจากไขมันของพืชหรือสัตว์ที่นำมาผสมกับนมหรือครีม หรืออาจจะไม่ผสมนมและไขมันสัตว์ก็ได้ เพื่อให้เหมาะแก่ความ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ต้องการในด้านการลดไขมันของผู้บริโภค มาการีนมีทั้งสีขาวและสีเหลือง ผลิตขึ้นมาใช้แทนเนยสด โดยมีการปรุงแต่งให้มีรูปร่างลักษณะและกลิ่นรสใกล้เคียงกับเนยสดมากที่สุด เรียกว่า เนยเทียม มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และมีปริมาณไขมันร้อยละ 80-85 ใช้ทำขนมปัง ขนมเค้ก และบางชนิดที่มีจุดหลอมละลายสูงจะใช้ทำพัฟเพสตรี

6) โกโก้บัตเตอร์ (Cocoa Butter) ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมทำขนมหวาน ทำจากผลโกโก้มีสีครีมเหลือง มีกลิ่นรสชอคโกแลตมีปริมาณไขมัน ร้อยละ 92 นอกจากนั้น ยังใช้เติมลงไปในผงโกโก้เพื่อทำชอคโกแลต ไอซิงช่วยให้มีความมันเงาแก่ชอคโกแลตมากกว่าที่จะใช้เนยสดหรือเนยขาวผสมลงไป นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มความอ่อนตัวให้แก่ไอซิงด้วย

7) เนยขาว (Shortening) มีผลต่อความนุ่มและร่วนของผลิตภัณฑ์ไขมันจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการพัฒนาตัวของกลูเตน (Gluten) มากเกินไปในช่วงการขึ้นรูป และช่วยเพิ่มปริมาตรในการอบ เนื่องจากไขมันช่วยให้แก๊สที่ถูกอุ้มเข้าไปในระหว่างผสม หรือแก๊สที่ได้จากสารขึ้นฟูขยายตัวได้ง่ายและไม่แตกหรือยุบตัวขณะอบ กรณีที่ใช้แป้งผสม (Blend Flour) ควรใช้เนยขาวทั่วไป (Regular Shortening) แทนการใช้เนยขาวประเภทอิมัลซิไฟด์ (Emulsified Type Shortening) ซึ่งจะมีผลทำให้มีการขยายตัวมาก

2.3.1.3 ไข่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในด้าน Emulsifying Leavening Tenderizing Binding action ไข่ให้สี คุณค่าสารอาหาร และกลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ ไข่แดง ช่วยในการเกิดอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) โดยเลซิทิน (Lecitin) ในไข่จะลดความเหนียวของโด (Dough) ลง

2.3.1.4 น้ำตาล เป็นตัวให้ความหวาน ซึ่งมีผลต่อโปรตีนของแป้งในด้าน Tenderizing Effect และมีผลต่อผลิตภัณฑ์ในด้าน Lubricate Batter ทำให้ส่วนผสมไหลลื่นดีขึ้น และช่วยควบคุมการแผ่ขยายตัวของคุกกี้ นิยมใช้น้ำตาลทรายละเอียด เพื่อให้เกิดการกระจายในส่วนผสม ละลายง่าย และช่วยให้โดมีความคงตัวมากขึ้น

2.3.1.5 น้ำ เป็นของเหลวในการทำให้เกิดกลูเตน เป็นโครงร่างของผลิตภัณฑ์ และช่วยควบคุมความหนืดของโด

2.3.1.6 สิ่งที่ช่วยให้ขึ้นฟู ทำหน้าที่ในการขยายของขนาด ปริมาตร และการขึ้นฟู ช่วยควบคุมกลิ่นและสี ได้แก่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1) โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) ช่วยปรับปรุงการขยายตัวมีผลต่อ Weakening Effect Gluten โดยจะไปตัดทอนโครงสร้างของกลูเตนให้สั้นทำให้ง่านต่อถูกดันให้ขยายตัวออกไป

2) ผงฟู (Baking Powder) ช่วยให้เกิดการขึ้นฟูในระหว่างการอบ ซึ่งเกิดจากการ ขยายตัวของแก็สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาของกรดเกลือและ Sodium Bicarbonate ที่เป็นองค์ประกอบของผงฟู

3) เกลือเพื่อทำให้รสชาติดีขึ้น ควรใช้เกลือละเอียดซึ่งจะช่วยให้เกิดการกระจายตัวดี

2.3.2 กรรมวิธีการผลิตแครกเกอร์

ส่วนผสมของแครกเกอร์ประกอบด้วยแป้งสาลี น้ำ สารให้ความอ่อนตัว ได้แก่ ไขมัน สารให้ความพองตัว ได้แก่ ยีสต์ โซดาผงฟู สารให้รสชาติ ได้แก่ เกลือ น้ำตาล น้ำนม และสิ่งปรุงแต่งอื่น ๆ ได้แก่ ผลไม้ ถั่วแหง ลูก นัต (Nut) มะม่วงหิมพานต์ โกโก้ ชอคโกแลต สี และกลิ่นรสต่าง ๆ โดยมีแป้งสาลีเป็นองค์ประกอบสำคัญในสูตรมากถึงร้อยละ 80 หรือมากกว่าจึงมีผลต่อลักษณะโครงร่างของผลิตภัณฑ์กรรมวิธีการผลิตแบ่ง ออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.3.2.1 ประเภทโดหมัก (Fermentation Dough) เป็นแครกเกอร์ที่มีส่วนผสม และวิธีการทำในขั้นตอนการผสมและการหมักโดคล้ายวิธี ทำขนมปัง โดยทั่วไปนิยมทำเป็นแครกเกอรครีม (Cream Crackers) ที่มีสูตรและการผสม 3 แบบ คือ การผสมแบบครั้งเดียว การผสมสองครั้ง และการผสมสองครั้งแต่ใช้เวลาในการหมักสปันจ์สั้น (Flying Spong Eand Dough Process)

2.3.2.2 ประเภทโดพัฟ (Puff Dough) เป็นแครกเกอร์ที่มีลักษณะการทำคล้ายวิธีการทำพัฟเพสตรี ซึ่งประกอบด้วยแป้งสาลีชนิดแข็ง มอลต์สกัดไขมันที่ใช้แทรกระหว่างชั้นอาจใช้มาร์การีนชนิดพิเศษ (เพสตรี มาร์การีน) เพื่อให้ทำการรีดที่อุณหภูมิห้องได้ซึ่งมาร์การีนชนิดพิเศษมีจุดหลอมเหลว ที่อุณหภูมิสูง (43-53 องศาเซลเซียส) โดยใช้ร้อยละ 18.0 สำหรับแครกเกอร์ธรรมดาและร้อยละ 36 สำหรับแครกเกอร์ชนิดพิเศษ เมื่อผสมส่วนผสมจนได้แล้วพักไว้ 20 นาที ในที่เย็นแล้วจึงนำมารีดเป็นแผ่นบาง ใสเพสตรีมาร์การีนแล้วพับทบด้วยโดทำไขมันอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นโดนำมารีดแล้วพับอีก 3 ชั้น พักไวประมาณ 1 ชั่วโมงก่อนนำไปตัดเป็นรูปตามต้องการ

2.3.2.3 ประเภทโดกึ่งหวาน (Semi-Sweet Dough) เป็นแครกเกอร์ที่มีลักษณะโดแข็งแต่ทำจากแป้งสาลีชนิดอ่อนและอาจผสมกับแป้งข้าวโพดเพื่อให้แป้งอ่อนตัว แครกเกอร์ชนิดนี้จะ

มีรสหวานกว่าแครกเกอร์ธรรมดา แต่ไม่หวานเท่าแครกเกอร์ชนิดหวาน ทำการผสมส่วนผสมทั้งหมดในสูตรลงไปในเครื่องผสมพร้อมกัน (All in Method) และผสมจนกระทั่งโดมีโครงร่างของกลูเตนที่อ่อนตัว โดจะมีความยืดตัวมากเนื่องจากผสมนานกว่าวิธีผสมแบบโดหมัก 2-3 เทา (ประมาณ 1 ชั่วโมง) ทำให้โดมีอุณหภูมิสูงถึง 38 องศาเซลเซียส (100 องศาฟาเรนไฮน์) เมื่อผสมเสร็จพักโดประมาณ 1 ชั่วโมงนำมารีด และพับ 3 ทบโดยไม่ต้องใส่ไขมันหรือโรยด้วยแปงกลับข้างของโดแล้วพับอีก 3 ทบกลับ และพับกี่ครั้งขึ้นอยู่กับลักษณะของแครกเกอร์ที่ต้องการจากนั้นจึงตัดเป็นรูปร่างต่าง ๆ

2.4 แป้งธัญพืช

แป้งธัญพืช เป็นแป้งได้จากการกระบวนแปรรูปให้อยู่ในรูปผงจากธัญพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวไรย์ โดยแป้งที่ใช้มากในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้าเป็นต้น

2.4.1 แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้า (Rice Flour) เป็นแป้งที่ผลิตจากการบดเมล็ดข้าว มีทั้งแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือ ข้าวหักหรือปลายข้าว ซึ่งกรรมวิธีการผลิตมี 3 วิธี คือ วิธีโม่แห้ง วิธีโม่น้ำ และวิธีผสม ดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.4.1.1 การผลิตแป้งข้าวด้วยการโม่แห้ง ได้จากการนำข้าวมาทำความสะอาด เพื่อแยกสิ่งสกปรกออก แล้วจึงนำไปบดให้เป็นแป้งจะมีคุณภาพต่ำ เพราะเม็ดแป้งค่อนข้างหยาบและมีสิ่งเจือปนสูง อายุการเก็บรักษาสั้น เพราะเกิดกลิ่นหืนได้ง่ายเพราะมีปริมาณไขมันสูง และถูกทำลายจากแมลงได้ง่าย

2.4.1.2 การผลิตแป้งข้าวด้วยวิธีการโม่น้ำ เป็นวิธีการผลิตแป้งข้าวในปัจจุบัน แป้งมีคุณภาพดี มีความละเอียดและสิ่งเจือปนน้อย เทคโนโลยีการผลิตแป้งโดยวิธีการโม่น้ำได้รับการพัฒนามาช้านาน การผลิตแป้งในปัจจุบันยังคงมุ่งเน้นแป้งข้าวเจ้าชนิดอะไมโลสสูง

2.4.1.3 การผลิตแป้งข้าววิธีผสม เป็นการโม่แป้งจากข้าวที่แช่น้ำและอบแห้งด้วยความร้อนก่อนโม่เป็นแป้ง แป้งชนิดนี้เป็นแป้งคุณภาพสูงและนำไปใช้ทำขนมเฉพาะอย่าง เช่น ขนมโก๋จากแป้งข้าวเหนียว

ลักษณะของแป้งข้าวเจ้า หรือบางทีก็เรียกว่า แป้งญวณ จับแล้วสากมือ เมื่อใช้มือสัมผัสจะมีความหยาบเล็กน้อย แต่สากมือกว่าแป้งสาลี พอทำให้สุกแล้วตัวแป้งจะมีสีขาวขุ่น จับตัวกันเป็นก้อน เหมาะสำหรับนำไปทำอาหารที่ต้องการความอยู่ตัว เนื้อขนมจะมีความแข็งร่วน เช่น ขนมกล้วย ขนมเบื้อง ขนมดอกจอก ลอดช่อง ซึ่งแป้งข้าวเจ้าถือว่าเป็นแป้งที่ถูกนำมาทำขนมไทยมากที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ผลิต ดวงฤทัย ธารงโชติ และคณะ (2555) ศึกษาสูตรมาตรฐานและกรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชจากแป้งข้าว โดยใช้อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าต่ออัตราส่วนแป้งสาลี 0:100, 80:20, 70:30, 100:0 สูตรที่ได้รับการยอมรับคือ สูตร อัตราส่วนแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 70 ต่อแป้งสาลีร้อยละ 30 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ แป้งข้าว 1,000 กรัม ยีสต์ 20 กรัม, น้ำตาลทราย 80 กรัม เกลือป่น 15 กรัม นมผง 80 กรัม ซอยโปรตีน 50 กรัม ผงฟู 10 กรัม สารเสริม $KS_5 0_5$ 10 กรัม Xantangum 10 กรัม เนยขาว 80 กรัม เอสพี 80 กรัม น้ำ 930 กรัม จากนั้นศึกษาขั้นตอนที่ได้รับการยอมรับ คือการทำขนมปังแซนด์วิชแบบ 2 ขั้นตอน ศึกษาการขึ้นฟูของขนมปังแซนด์วิชเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน ผลจากการทดลอง เมื่อแทนที่ แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวจะทำให้อัตราการขึ้นฟูของขนมปังแซนด์วิช ลดลง เมื่อปริมาณแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ศึกษาสารไฮโดรคลอลอยด์ 3 ชนิดที่ใช้เป็นส่วนผสมในขนมปังแซนด์วิช สารที่ใช้เปรียบเทียบ คือ สารแซนแทนกัม สารซีเอ็มซี สารกัวร์กัม ซึ่งสารแซนแทนกัมทำให้ขนมปังแซนด์วิชมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด ศึกษาอัตราการใช้เลซิติน ในอัตราส่วน 50, 100, 150, 200 กรัม พบว่า ขนมปังแซนด์วิชที่ใช้เลซิติน 100 กรัม มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชจากแป้งข้าว พบว่า ความชื้น 31.33 เถ้า 3.08 โปรตีน 9.24 ไขมัน 2.50 เยื่อใย 4.84 และคาร์โบไฮเดรต 49.01 และพลังงาน 256.34 แคลอรี่ จากการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชจากแป้งข้าวเจ้า ของผู้บริโภคจำนวน 50 คน พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งข้าวเจ้า จำนวน 45 คน

2.4.2 แป้งข้าวโพด

แป้งข้าวโพด (Corn Flour อาจเรียกว่า Maize Flour) เป็นแป้งที่ผลิตจากเมล็ดข้าวโพด (Zea may Lin.) โดยการบดแห้ง มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว มีไขมันและโปรตีน สูงกว่า สตาร์ชข้าวโพด ซึ่งมีแต่คาร์โบไฮเดรต หรือสตาร์ชเท่านั้น แป้งข้าวโพดใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อแปรรูปเป็นอาหาร เช่น แผ่นข้าวโพดกรอบ มัฟฟิน และขนม โดยแป้งข้าวโพดเป็นพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งเป็นแหล่งสะสมอาหารของพืช โมเลกุลจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส เชื่อมต่อด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Bond) ซึ่งมีโครงสร้างของโมเลกุล 2 รูปแบบ คือ อะไมโลส และ อะไมโลเพคติน โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดแป้ง แป้งข้าวโพดถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมที่หลากหลายต่างกันไปตามพื้นที่หรือวัฒนธรรม เช่น Soong et al. (2014) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและอัตราการย่อยแป้งในผลิตภัณฑ์มัฟฟินที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี แป้งข้าวโอ๊ต แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวบาเรย์ พบว่าแป้งข้าวบาเรย์มีปริมาณสารประกอบฟินอลิกสูงในผลิตภัณฑ์มัฟฟิน (1,687 ไมโครกรัม/กรัม) ตามด้วยแป้งข้าวโพด (1,454 ไมโครกรัม/กรัม) แป้งข้าวโอ๊ต (945 ไมโครกรัม/กรัม) แป้งสาลี (705 ไมโครกรัม/กรัม) และแป้งข้าวเจ้า (675 ไมโครกรัม/กรัม) ส่วนแป้งที่ถูกย่อยได้เร็วจะพบในมัฟฟินจากแป้งข้าวเจ้ามากที่สุด (445 มิลลิกรัม/กรัม) และแป้งสาลี (444 มิลลิกรัม/กรัม) ตามด้วยแป้งข้าวโอ๊ต (416 มิลลิกรัม/กรัม) แป้งข้าวโพด (402 มิลลิกรัม/กรัม) และแป้งข้าวบาเรย์ (387 มิลลิกรัม/กรัม)

2.4.3 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca Starch /Cassava Starch) หรือแป้งมัน บางทีก็เรียกว่า แป้งมันสิงคโปร์ ทำมาจาก หัวมันสำปะหลัง เป็นผงสีขาว เนื้อแป้งมีความละเอียด ลื่นมือ เมื่อถูกทำให้สุกแล้วตัวแป้งจะเหนียวหนืด มีสีใส เหมาะกับการนำไปทำอาหารที่มีความเหนียวแต่ใสและดูขึ้นเงา สามารถนำมาแทนแป้งสาลีบางส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรีบางชนิดได้แต่ข้อเสียของแป้งมันสำปะหลังคือ เมื่อถูกทำให้เย็นลงจะคืนตัวง่ายมาก จึงมีการนำแป้งชนิดอื่นมาผสมเพื่อทำให้ขนมมีความเหนียวนุ่มขึ้น เช่น ลอดช่องสิงโปร์ เต้าส่วน บัวลอย ครองแครงแก้ว ทับทิมกรอบ ขนมชั้น ขนมปลากริมไข่เต่า เป็นต้น ส่วนอาหารคาว ได้แก่ กุยช่ายทอดหรือหอยทอด ซึ่งต้องผสมแป้งผสมแป้งสาลีลงไปเพื่อให้ได้ความกรอบและนุ่ม เพราะถ้าใช้แป้งมันสำปะหลังอย่างเดียวอาหารทอดจะไม่กรอบ โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลีโดยแปรเป็นร้อยละ 0 40 50 60 และ70 (โดยน้ำหนักแป้ง) ประเมินคุณภาพของคุกกี้เนย โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อปริมาณแป้งฟลาวร์มันสำปะหลังเพิ่มขึ้น คุกกี้เนยจะมีสีอ่อนลงเนื่องจาก ค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความเข้มของสี(Chroma) มีแนวโน้มลดลง ($p>0.05$) และพบว่าขนาดของคุกกี้เนยลดลง โดยมีเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น เนื่องจากค่าแรงตัดขาด และค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการแผ่ขยายตัวและปริมาตรจำเพาะลดลง ($p>0.05$) จากการทดสอบลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี 9- points hedonic scale พบว่า สามารถใช้แป้งฟลาวร์มันสำปะหลังทดแทนแป้งสำลีในการผลิตคุกกี้เนยได้ถึงร้อยละ 70

แต่ควรมีการปรุงแต่งกลิ่น เพื่อลดกลิ่นเฉพาะของแป้งฟลาวร์มันสำปะหลัง (ผาณิต รุจิรพิสิฐ และวิชชุดา สังข์แก้ว, 2556)

2.5 ฟักทอง

ฟักทองเป็นผักวงศ์แตงที่สามารถปลูกได้ผลดีในภูมิอากาศอบอุ่นและเขตร้อนของโลก เป็นผักที่ให้คุณค่าอาหารสูง นิยมบริโภคส่วนของเนื้อฟักทอง ลักษณะพันธุ์ฟักทองที่นิยมในประเทศไทย ได้แก่ ผิวผลสีเขียวคล้ำ ร่องผลเป็นพูสม่ำเสมอหรือผิวขรุขระแบบหนังคางคก ผลที่แก่จัดขึ้นนวลสีขาวตั้งแต่ขั้วไปทั้งผล และนิยมพันธุ์ผลใหญ่ ปัจจุบันฟักทองที่ปลูกในประเทศไทยเป็นฟักทองที่บริโภคเนื้อ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ปรับปรุงพันธุ์ฟักทองเพื่อผลผลิตและคุณภาพการบริโภคเนื้อสูงมาตั้งแต่ พ.ศ. 2534 ใช้วิธีการคัดเลือกแบบหมู่ การสกัดสายพันธุ์แท้ และคัดเลือกแบบวงจร S1–selection (จานุลักษณ์ ขนบดี และพีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์, 2534) ต่อมาประเมินพันธุ์ฟักทอง จำนวน 268 สายพันธุ์ คัดเลือกฟักทองได้ 26 สายพันธุ์ ที่มีลักษณะผลผลิต องค์ประกอบของผลผลิตและหรือคุณภาพสูง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ฟักทองเป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เบต้าแคโรทีน (β-carotene) สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ที่ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง และสารออกฤทธิ์ที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ วิตามินเอ โฟเลท (Folate) และกรดแกมม่าอะมิโนบูไทริก (γ-Aminobutyric acid, GABA) (Mulleder et al., 2002) สารที่ทำให้น้ำตาลในเลือดต่ำ คือ พอลิแซคคาไรด์จากเนื้อฟักทอง น้ำมันจากเมล็ด และโปรตีนจากเมล็ดที่เริ่มงอก โพลีแซคคาไรด์ในฟักทองสามารถเพิ่มปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระ SOD และ GSH-Px และลดปริมาณ MDA ในเซรุ่มของหนูที่เป็นก้อนเนื้อ (Tumor mice serum) ได้ (Xu et al., 2000) ซึ่ง Caili et al. (2006) รายงานว่า ส่วนเนื้อของผล และเมล็ดแสดงฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดทั้งในสัตว์ทดลองปกติและหนูขาวและกระต่ายที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย alloxan น้ำมันในเมล็ดฟักทอง C. Moschata ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงร้อยละ 71.10 ± 4.32 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดลิโนเลอิคร้อยละ 52.64±0.90 กรดไขมันนี้มีผลทำให้ค่าไขมันไม่ดี Low Density Lipoprotein (LDL) ลดลง แต่ค่าไขมันดี High Density Lipoprotein (HDL) สูงขึ้น อีกทั้งสารสกัดโปรตีนจากเนื้อ และเปลือกเมล็ดฟักทองมีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคบางชนิดได้ เช่น

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม วิทยานิพนธ์ งานวิจัย

Staphylococcus Aureus, Bacillus Subtilis, Penicillium Chrysogenum และ Aspergillus Flavus (El-Aziz and El-Kalek, 2011) Abuelgassim and Al-showayman (2012) รายงานว่า สารสกัดจากเมล็ดฟักทองมีฤทธิ์ป้องกันภาวะไขมันสะสมในเลือดและต้านการเกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัวในหนูแรท (Rat) ที่ถูกเลี้ยงด้วยอาหารที่ใช้ทาให้เกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัวผสมกับผงเมล็ดฟักทอง ซึ่งทำให้ค่าไขมันในเลือดและค่าไขมันไม่ดี (LDL) ลดลง แต่ค่าไขมันดี (HDL) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 2.4 ฟักทอง, ปรับปรุงจาก *ฟักทอง ผักและผลไม้อุดมไปด้วยคุณค่า.* โดย สมุนไพรไทย, 2561.

2.6 แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เป็นสารสีที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เป็นสารที่มีความสำคัญหลายประการ อาทิ เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยในพัฒนาการของตัวอ่อน และระบบการสืบพันธุ์ ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน รวมถึงเป็นสารที่ทำให้เกิดสีในสิ่งมีชีวิต

แคโรทีนอยด์จะพบมากในผัก และผลไม้ ซึ่งไม่แสดงสีให้เห็น เนื่องจากถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ แต่เมื่อผัก และผลไม้แก่ตัว คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไป แล้วสารสีแคโรทีนอยด์จึงจะปรากฏสีให้เห็น เช่น สีเหลือง สีส้ม สีแดง เป็นต้น

แคโรทีนอยด์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) มีคาร์บอน 40 อะตอม ประกอบด้วย 8 ไอโซพรีน ที่เชื่อมติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่เป็นพันธะคู่สายยาว มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลต้าไวโอเลต และแสงสีขาวได้ดี ทำให้สารแคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติเป็นสารสีในสิ่งมีชีวิต นอกจากนั้น ยังมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสีของแคโรทีนอยด์จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุล หากมีจำนวนพันธะคู่มากจะให้สีแดงเข้ม หากมีจำนวนพันธะคู่น้อยจะให้สีจาง จำนวนพันธะคู่ของแคโรทีนอยด์ที่มีน้อยที่สุดจะมีจำนวน 7 คู่ ให้สีออกเหลือง และพันธะคู่อาจอยู่ในรูปของ -cis ที่ให้สีอ่อน และหากมีพันธะคู่ในรูปของ -cis จะยิ่งให้สีจางลง ส่วนพันธะคู่ในรูป -trans จะให้สีเข้มและเข้มขึ้นเมื่ออยู่ในรูปของ -trans มาก ทั้งนี้ แคโรทีนอยด์ส่วนมากมักพบอยู่ในรูปของ -trans ที่โมเลกุลมักรวมกันเป็นกลุ่มทำให้มีคุณสมบัติในการละลาย และดูดซึมได้น้อยกว่าในรูปของ -cis

2.6.1 ชนิดแคโรทีน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แคโรทีนอยด์ประกอบด้วยสารอนุพันธุ์หลายชนิด เช่น Carotene, Lycopene และ Xanthophylls เป็นต้น โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี คือ

2.6.1.1 แคโรทีน (Carotene)

เป็นไฮโดรคาร์บอน ในกลุ่ม Hydrocarbon Carotene ประกอบไปด้วยอะตอมคาร์บอน และไฮโดรเจนที่เรียงตัวกันเป็นสายยาว [CH_2=C-(CH_3)-CH=CH_2] เชื่อมต่อกันพันธะเดี่ยว (Single Bonds) สลับกับพันธะคู่ (Double Bonds) ที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองปลายจะมีอะตอมคาร์บอนเป็นวง เรียกว่า ไอโอโนนริง (Ionone Ring) จำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 40 อะตอม มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{40}H_{56}$ ทำให้โมเลกุลไม่มีขั้ว ละลายได้ดีในไขมัน สารสีที่ให้จะเป็นสีส้มแดง สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ β-carotene และ Lycopene โดยแคโรทีนส่วนใหญ่จะให้สารสีส้ม แคโรทีนในกลุ่มนี้ ที่สำคัญ และเป็นที่รู้จักกัน คือ เบต้าแคโรทีน (Beta carotene) เนื่องจากสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ ทั้งนี้ แคโรทีนแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

1) Acyclic เป็นแคโรทีนที่ไม่มีวงแหวนในโมเลกุล ได้แก่ ไลโคพีน (Lycopene)

2) Monocyclic เป็นแคโรทีนที่มีวงแหวนในโมเลกุลที่ปลายด้านใดด้านหนึ่ง ได้แก่ แกมม่าแคโรทีน (γ-carotene) ทำให้โครงสร้างโมเลกุลครึ่งหนึ่งเหมือนกับไลโคพีน ส่วนอีกครึ่งหนึ่งเหมือนกับเบต้าแคโรทีน

3) Bicyclic เป็นแคโรทีนที่มีวงแหวนในโมเลกุลที่ปลายทั้งสองด้าน ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน (α-carotene) และเบต้าแคโรทีน (β-carotene) โดยทั้งสองชนิดมีโครงสร้างโมเลกุลแตกต่างกันที่ตำแหน่งพันธะคู่ในวงแหวนตำแหน่งที่ 2

เบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) ถือเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอมี ที่มีบทบาทสำคัญในการบำรุงร่างกาย ช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกัน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจ เป็นต้น โดยที่ร่างกายสามารถเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนเป็นวิตามินเอได้ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการ

เบต้าแคโรทีนพบมากในผัก และผลไม้ที่มีสีส้ม เหลือง หรือแดง เช่น ฟักทอง แครอท ข้าวโพดอ่อน แตงโม หน่อไม้ฝรั่ง แคนตาลูป และมะละกอสุก เป็นต้น รวมถึงผักที่มีสีเขียวทุกชนิด เช่น บร็อคโคลี ผักคะน้า ตำลึง ผักบุ้ง ผักกวางตุ้ง และมะระ เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 2.5 ผัก และผลไม้ที่มีสีส้ม, ปรับปรุงจาก *ผัก และผลไม้ที่มีสีส้ม.* โดย Siamchem, 2019.

2.6.1.2 ประโยชน์เบต้าแคโรทีน

1) ป้องกันโรคต้อกระจก ป้องกันเยื่อบุตาอักเสบ ช่วยลดความเสื่อมของเซลล์ลูกตา และช่วยบำรุงสายตา ทำให้มองเห็นในที่มืดได้ดี โดยการสร้างสาร Rhodopsin ในดวงตาในส่วนเรติน่า (Retina) เพื่อให้สามารถมองเห็นในตอนกลางคืนได้ดี ช่วยลดความเสื่อมของเซลล์ตา และลดความเสี่ยงในการเป็นโรคต้อกระจก

2) ช่วยป้องกันผิวจากแสงรังสีอัลตราไวโอเลตที่มากับแสงแดด ทำให้ผิวไม่แลดูคล้ำ ไม่เกิดฝ้า ไม่มีริ้วรอย

3) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยบำรุงผิวพรรณให้มีสุขภาพดี ไม่มีริ้วรอย แลดูอ่อนกว่าวัย

4) ช่วยรักษาบำรุง และรักษาเซลล์เยื่อบุตาขาว กระจกตา ช่องปาก ทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ รวมถึงระบบทางเดินปัสสาวะให้เป็นปกติ

5) ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และช่วยป้องกันโรคภูมิแพ้

6) ป้องกัน และต้านโรคมะเร็ง

7) ป้องกันโรคในระบบบหลอดเลือด และหัวใจ ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ในประเทศอินเดียมีการใช้ประโยชน์ของเบต้าแคโรทีนจากผักหลายชนิด เพื่อลดการเกิดโรคมะเร็ง และโรคหัวใจ เช่น ผักโขม ผักชี และสะระแหน่ เป็นต้น

2.6.1.3 โทษเบต้าแคโรทีน

สารเบต้าแคโรทีนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ หากร่างกายได้รับเกินความต้องการจะกลายเป็นสาร Pro-oxidant ที่ช่วยส่งเสริมการเกิดสารอนุมูลอิสระ ทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อโรคมะเร็ง และโรคในระบบหลอดเลือด และหัวใจ โดยเฉพาะการรับประทานเบต้าแคโรทีนจากผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มีความเข้มข้นสูงหรือรับประทานในปริมาณที่มากเกินขนาด ประกอบกับปกติร่างกายจะรับเบต้าแคโรทีนได้จากอาหารที่รับประทานในแต่ละวัน เช่น ผักสีเขียว และผลไม้ชนิดต่าง ๆ จึงอาจเสี่ยงต่อการได้รับสารเบต้าแคโรทีนเกินความต้องการของร่างกายได้ ดังนั้น การรับประทานอาหารเสริมเบต้าแคโรทีนจึงต้องรับประทานในปริมาณที่พอเหมาะกับความต้องการของร่างกาย

2.6.2 แซนโทฟิล (Xanthophyll)

แคโรทีนอยด์ในกลุ่ม Oxygenated Xanthophyll ที่เกิดจากออกซิเดชันของแคโรทีน โดยการเพิ่มออกซิเจนเข้าในโมเลกุลแคโรทีน ในธรรมชาติพบในรูปอิสระ (Free form) เอสเทอร์ (Esters) หรือแคโรทีโน โปรตีน (Carotenoproteins) เป็นสารที่มีขั้วมากกว่ากลุ่มแคโรทีน ชนิดแซนโทฟิลที่พบมีประมาณ 20 ชนิด ได้แก่ ลูทีน (lutein) (3R,3’R,6’R β), ซีเอแซนทิน (Zeaxanthin) (3,3’R-β,β-carotene-3, 3’diol), ไวโอลาแซนทิน (Violaxanthin) (3S,5R, 6S, 3’S, 5’R, 6’S-5,5,5,’,6’-depoxy-5,6,5’,6’tetrahydro β,β-carotene-3,3 diol), แคนตาแซนทิน (Canthaxanthin) และแอสตาแซนทิน ที่พบในปลาส่วนใหญ่จะเป็นทาราแซนทีน ลูทีน และแอสตาแซนทีน

แซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) มีองค์ประกอบหลักเป็นอะตอม C, H และ O โดยอะตอมออกซิเจนอาจอยู่ในรูปไฮดรอกซิล มีสูตรโครงสร้างทางโมเลกุล คือ $C_{40}H_{56}O_2$ ที่ให้สีเหลืองเข้ม หรือสีเหลืองแกมน้ำตาล มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น เอธิลแอลกอฮอล์ อะซิโตน เอธิลอีเทอร์ เป็นต้น แต่ละลายได้ในไขมันแต่จะน้อยกว่าแคโรทีน พบได้ในพืช และสาหร่ายทุกชนิด เป็นสารที่ช่วยบำรุงสายตา ป้องกันเลนส์ตาจากอนุมูลอิสระ ช่วยลดการเกิดโรคต้อกระจก การเสื่อมของสายตา รวมถึงยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งลำไส้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ซีแซนทีน (Zeaxanthin) มีคุณสมบัติแตกต่างจากแคโรทีน เนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ เป็นสารที่ร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ ในร่างกายมนุษย์พบได้ที่เลนส์ตา และจอรับภาพของตา (Retina) และพบได้ที่ไต ต่อมหมวกไต ตับ ตับอ่อน ม้าม และเต้านม ทำหน้าที่ป้องกันดวงตาจากรังสีของแสงแดด ป้องกันเซลล์จอประสาทตาไม่ให้ถูกทำลาย บำรุงสายตา ทำให้มองเห็นได้ดีทั้งกลางวัน และกลางคืน นอกจากนี้ ยังช่วยป้องกันโรคหลายชนิด เช่น โรคต้อกระจก โรคจอรับภาพเสื่อม โรคระบบหลอดเลือด และหัวใจ (โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมองตีบ เป็นต้น) โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคมะเร็งตับ มะเร็งเต้านม เป็นต้น

2.7 การสังเคราะห์ และสกัดแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ที่มีการสังเคราะห์ และสกัดจากธรรมชาติที่นิยมมี 2 ชนิด คือ เบต้าแคโรทีนที่ใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับรับประทาน และแอสตาแซนทินที่ใช้เป็นอาหารเสริมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การเสริมในอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของเนื้อในด้านสี และรสสัมผัส รวมถึงช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโตของสัตว์

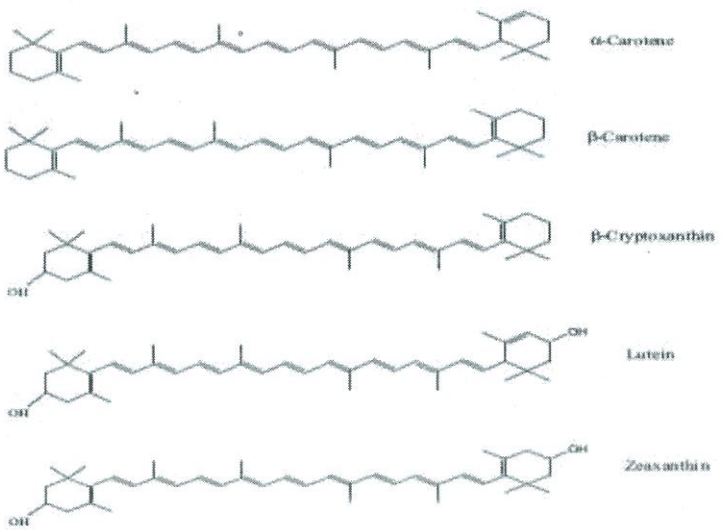
2.7.1 สังเคราะห์ทางเคมี

ปัจจุบันมีหลายบริษัทที่ผลิตแคโรทีน และแอสตาแซนทินจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี แต่ปัจจุบัน แคโรทีนอยด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีมีแนวโน้มการได้รับความนิยมลดลง เนื่องจากผู้คนส่วนใหญ่เริ่มให้ความระมัดระวังในการบริโภคอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์หรืออาหารที่เลี้ยงจากอาหารที่เสริมสารสังเคราะห์มากขึ้น

2.7.2 การสกัดจากธรรมชาติ

แคโรทีน และแอสตาแซนทินสามารรถสกัดได้จากธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชผัก และผลไม้ชนิดต่างๆ ที่มีสีเหลือง สีแดง เขียว น้ำตาล น้ำเงิน เป็นต้น รวมถึงการสกัดจากสัตว์ชนิดต่างๆ เช่น ไข่ปลา และเปลือกกุ้ง เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของแคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติ, ปรับปรุงจาก *Carotenoid/แคโรทีนอยด์,* โดย Food Network Solution, 2018.

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฑารัตน์ คงโนนกอก และ ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย (2555) ศึกษาผลของการทดแทนแป้งข้าวเหนียวด้วยแป้งกล้วยพรีเจลาทิไนซ์ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ คุณสมบัติทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่น โดยทดแทนแป้งข้าวเหนียวด้วยแป้งกล้วยพรีเจลาทิไนซ์ออกเป็น 7 ระดับคือร้อยละ 0, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 (โดยน้ำหนัก) พบว่าเมื่อทดแทนปริมาณแป้งกล้วยพรีเจลทิไนซ์เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น ในทำนองเดียวกันค่าความเข้มสีและค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อัตราการพองตัวลดลง เมื่อวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (7-Hedonic Scale) พบว่าการทดแทนแป้งกล้วยพรีเจลาทิไนซ์ที่ระดับไม่เกินร้อยละ 20 มีคะแนนความชอบด้านสี ความกรอบ รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบรวมสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบด้านกลิ่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการเติมแป้งกล้วยพรีเจลาทิไนซ์เพิ่มขึ้น

จิตติมณฑน์ วงศ์ษา และคณะ (2556) ศึกษาการเปรียบเทียบแป้งข้าวเหนียวและข้าวเหนียวหักที่มีผลต่อการพองตัว และแปรอัตราส่วน 3 ส่วนของข้าวเหนียวหัก: ข้าวเจ้าหอมมะลิ เป็น 100:0, 95:5 และ 90:10 โดยน้ำหนัก ส่วนของไส้ปลาน้ำพริกเผาคัดเลือกจากผลคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด ประกอบด้วยเนื้อปลายี่สกบดร้อยละ 65 น้ำพริกเผาร้อยละ 25 และแป้งสาลีร้อยละ 10 อบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำแป้งข้าวที่ใส่ไส้ปลาน้ำพริกเผาอบที่ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 3 นาที ผลการทดลองพบว่าแครกเกอร์ข้าวเหนียวผลิตจากข้าวเหนียวหักให้การพองตัวดีกว่าแครกเกอร์ที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว เมื่อแปรปริมาณข้าวเหนียวหักและข้าวเจ้าหอมมะลิ พบว่าการเพิ่มปริมาณข้าวเจ้าหอมมะลิสูงขึ้น ทำให้ค่าการขยายตัวในเชิงปริมาตรหรือการพองกรอบและความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ข้าวเหนียวไส้ปลาน้ำพริกเผาลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \le 0.05$) แต่ค่าสี L*, a* และ b* มีความแตกต่างกันเล็กน้อย

นวรัตน์ เศรษฐสุวรรณ และคณะ (2553) ศึกษาผลของปริมาณข้าวเหนียวดำและกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของแครกเกอร์ข้าวเหนียว จากผลการทดลองพบว่าข้าวเหนียวดำมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 9.39 ฐานแห้ง) และ เถ้า (ร้อยละ 1.5 ฐานแห้ง) สูงกว่าข้าวเหนียวขาว จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์อะไมโลกราฟ พบว่าข้าวเหนียวดำมีอุณหภูมิในการเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงกว่าข้าวเหนียวขาว แต่มีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าข้าวเหนียวขาว

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เมื่อนำข้าวเหนียวดำมาผลิตเป็นแครกเกอร์ข้าวเหนียว พบว่า การเพิ่มปริมาณข้าวเหนียวดำจากร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ทำให้ค่าการขยายตัวในเชิงปริมาตรของแครกเกอร์ข้าวเหนียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส ($p>0.05$) และจากการตรวจสอบผลของระยะเวลาในการแช่เย็นของแผ่นแป้งที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ต่อคุณภาพของแครกเกอร์ข้าวเหนียวที่มีปริมาณข้าวเหนียวดำร้อยละ 15 พบว่าระยะเวลาในการแช่เย็นของแผ่นแป้งทำให้แครกเกอร์ข้าวเหนียวมีค่าการขยายตัวเชิงปริมาตร ค่าความหนาแน่น ค่าความแข็ง และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ปุณฑริกา รัตนตรัยวงศ์ (2555) ศึกษาอิทธิพลของโปรตีนสกัดชนิดต่าง ๆ ร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของแครกเกอร์ข้าวทั้งชนิดที่มีกลูเตนและชนิดไม่มีกลูเตนผลิตโดยใช้แป้งข้าวผสม การทดลองใช้โปรตีนสกัด 3 ชนิดได้แก่ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง กลูเตนสกัด และโปรตีนสกัดจากถั่วลันเตาในปริมาณร้อลยะ 2.5, 5.0 และ 10.0 ตามลำดับ วิเคราะห์คุณภาพของโดและแครกเกอร์เพื่อเลือกชนิดและปริมาณโปรตีนสกัดที่เหมาะสมเพื่อทดลองขั้นต่อไปโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม 3 ชนิดได้แก่ แครกเกอร์ข้าวร้อยละ 100 แครกเกอร์แป้งสาลีร้อยละ 100 และ แครกเกอร์สูตรแป้งผสมร้อยละ 100 ชนิดและปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดและโปรตีนถั่วลันเตาสกัดอย่างละร้อยละ 10 ใช้ร่วมกับ HPMC ร้อยละ 1.5 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.5 รวมเป็น 4 ตัวอย่างทดลอง พบว่า โดแครกเกอร์ข้าวมีค่า storage modulus สูงสุด รองลงมาได้แก่โดแครกเกอร์แป้งผสม โดแครกเกอร์ผสมโปรตีนถั่วลันเตา โดแครกเกอร์ผสมโปรตีนถั่วเหลือง และโดแครกเกอร์แป้งสาลี ซึ่งโดแครกเกอร์แป้งสาลีมีความยืดหยุ่นสูงเหมาะกับการนวดและรีดโด ในขณะที่โดแครกเกอร์แป้งข้าวแห้ง แข็ง และขาดง่าย การเติมโปรตีนสกัดในโดสูตรทดลองนั้นช่วยให้การนวดและรีดโดดีขึ้น ภาพถ่ายโครงสร้างของโดแครกเกอร์แป้งสาลีแสดงภาพโครงข่ายที่มีเม็ดสตาร์ชกระจายอย่างสม่ำเสมอ และภาพของโดที่มีส่วนผสมโปรตีนก็มีเม็ดสตาร์ชถูกห่อหุ้มในโครงข่ายเป็นชั้นหนาเห็นได้ชัดเจนกว่าโดแครกเกอร์ข้าวและโดแครกเกอร์แป้งผสม แครกเกอร์สูตรทดลองที่ได้มีความชื้นและปริมาณน้ำอิสระมากกว่าแครกเกอร์ข้าวและแครกเกอร์แป้งผสมอย่างมีนัยสำคัญ สีของตัวอย่างเข้มกว่าโดสูตรแป้งผสมแต่ได้รับการยอมรับมากกว่าแครกเกอร์ข้าว และแครกเกอร์สูตรทดลองมีการขึ้นฟูมากกว่าแครกเกอร์ข้าวอย่างมีนัยสำคัญ เนื้อสัมผัสแครกเกอร์ข้าวมีลักษณะร่วนเป็นผง ในขณะที่แครกเกอร์สูตรแป้งผสมค่อนข้างแข็งแต่ร่วนน้อยกว่าและแครกเกอร์แป้งสาลีมีความกรอบเปราะกำลังดี

แครกเกอร์สูตรทดลองนั้นมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด มีความกรอบเปราะมากขึ้นและไม่ร่วนเป็นผง จึงเห็นได้ชัดเจนว่าองค์ความรู้จากงานวิจัยนี้สามารถช่วยพัฒนาวิธีการผลิตแครกเกอร์ข้าวแบบไม่มีกลูเตนที่มีลักษณะตามผู้บริโภคต้องการ

ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ และคณะ (2558) ศึกษาหากระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมฟักทองผง โดยแปร 2 ปัจจัยได้แก่ ชนิดวัตถุดิบฟักทอง (เนื้อฟักทองดิบ และเนื้อฟักทองนึ่งสุกนาน 45-60 นาที) และวิธีการเตรียมเนื้อฟักทอง ไม่แช่สารละลายหรือ Control แช่ในสารละลายกรดซิตริก ร้อยละ 0.1 นาน 15 นาที และแช่ในสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ($K_2S_2O_5$) เข้มข้นร้อยละ 1 นาน 10 นาที ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมฟักทองผง คือ การเตรียมจากเนื้อฟักทองที่แช่ในสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ($K_2S_2O_5$) เข้มข้นร้อยละ 1 นาน 15 นาที แล้วนำไปนึ่งให้สุกด้วยไอน้ำเดือด นาน 45-60 นาที โดยฟักทองผงที่ได้มีสีเหลืองสว่าง (ค่า L* และ a* สูง) ปริมาณความชื้นต่ำ และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง รวมทั้งปริมาณผลผลิตฟักทองผง แคโรทีนอยด์ทั้งหมดในรูปของเบต้า-แคโรทีน และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Activity) ระดับสูง

วิภาดา ฤาชากูล และคณะ (2557) ศึกษาผลของการเติมน้ำมันรำข้าว อุณหภูมิ และเวลาในการอบต่อคุณภาพของแครกเกอร์จากเศษเหลือปลาแซลมอน โดยการแปรปริมาณน้ำมันรำข้าว 3 ระดับ ได้แก่ 10, 20 และ 30 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมน้ำมันรำข้าว อุณหภูมิและเวลาในการอบ 3 ระดับ ได้แก่ 135, 145 และ 155 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบที่ 5.5, 6 และ 6.5 นาที ศึกษาคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัส พบว่าค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตีของแครกเกอร์แซลมอนที่เติมน้ำมันรำข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำมันรำข้าวส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีลักษณะนิ่ม สีเหลืองมากกว่าตัวอย่างชุดควบคุม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการอบ ค่าความชื้น วอเตอร์แอคติวิตี L* และ b* ลดลง แต่ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น การเติมน้ำมันรำข้าวที่ 10 กรัมต่อแป้ง 100 กรัม อบที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5.5 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์จากเศษเหลือปลาแซลมอน แครกเกอร์จากเศษเหลือปลาแซลมอนที่พัฒนาขึ้นใน 100 กรัมประกอบด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 ในปริมาณ 635.55 มิลลิกรัม และมีปริมาณโปรตีน 16.17 กรัม

สิรินภา สาสนาม และคณะ (ม.ป.ป.) พัฒนาคุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า แป้งกล้วยและแป้งลูกเดือย โดยพัฒนาเป็น 4 สูตรประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า:แป้งกล้วย:แป้งลูกเดือย เท่ากับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

60:30:10, 50:35:15, 40:40:20 และ 30:45:25 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีแป้งสาลีร้อยละ 100 วิเคราะห์คุณสมบัติทางความหนืดของแป้ง สมบัติทางกายภาพของคุกกี้ได้แก่ ความแข็ง สี อัตราการขยายตัว และ การทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์คุกกี้แต่ละสูตรมีค่าความแข็งและค่าสีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยคุกกี้สูตรที่ 4 ที่มีแป้งข้าวเจ้า แป้งกล้วยและแป้งลูกเดือย อัตราส่วน 30:45:25 มีค่าความแข็งมากที่สุด (29,813 (N)) และค่าอัตราส่วนการขยายตัวมีค่ามากที่สุด (4.85) ผลคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสโดยรวมของคุกกี้สูตรที่ 1 ที่มีแป้งข้าวเจ้า แป้งกล้วยและแป้งลูกเดือย อัตราส่วน 60:30:10 ได้รับคะแนนมากที่สุดและผู้บริโภคการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์คุกกี้สูตรที่ 1 ร้อยละ 80

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น และขวัญชัย (2555) พัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ โดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้อง หอมมะลิ ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 (ของน้ำหนักแป้งสาลีทั้งหมด) จากนั้นคัดเลือกแครกเกอร์ที่มีคุณภาพดี นำมาทดแทนแป้งสาลีด้วยข้าวแดงหรืออังคัก ผลการทดลองพบว่าการทดแทน แป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้อง หอมมะลิ ส่งผลให้แครกเกอร์ มีอัตราการขยายตัว ค่าสี L* และ b* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าความกรอบ และ ค่าสี a* เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระดับการทดแทนแป้งสาลี การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าการ ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ร้อยละ 10-30 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และความชอบรวมไม่มีความแตกต่างกับแครกเกอร์จากแป้งสาลีล้วน ($p>0.05$) แต่เมื่อเพิ่มระดับการทดแทน แป้งสาลีเป็นร้อยละ 40 คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะมีแนวโน้มลดลง ($p\leq0.05$) ดังนั้นจึงนำแครกเกอร์ที่ ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ร้อยละ 30 พัฒนาโดยทดแทนด้วยข้าวแดงในรูปแบบผงและแบบสารสกัดที่ร้อยละ 0, 2, 4, 6 และ 8 ตามลำดับ พบว่า ค่าการขยายตัว ค่าสี L* และ b* มีแนวโน้มลดลง ($p\leq0.05$) แต่ค่าความกรอบ ค่าสี a* เพิ่มขึ้น ($p\leq0.05$) เมื่อเพิ่มระดับของการทดแทน การประเมินคุณภาพทาง ประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการทดแทนคะแนนความชอบของทุกคุณลักษณะลดลง ($p\leq0.05$) โดยเฉพาะ อย่างยิ่งด้านรสชาติ ซึ่งมีความขม ผู้ทดสอบชิมยอมรับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยข้าวกล้อง หอมมะลิร้อยละ 30 ร่วมกับข้าวแดงที่ร้อยละ 2 โดยการใช้ข้าวแดงในรูปแบบสารสกัด แครกเกอร์จะมี คะแนนความชอบในทุกๆ คุณลักษณะสูงกว่าการใช้ข้าวแดงแบบผง ในขณะที่คุณภาพทางเคมีและกายภาพมี ค่าใกล้เคียงกัน แครกเกอร์ที่ใช้สารสกัดข้าวแดงร้อยละ 2 มีปริมาณสารโมนาโคลิน เค ในผลิตภัณฑ์ประมาณ 0. 393 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแครกเกอร์ ในขณะที่ตรวจไม่พบสารซิตรินิน จากนั้นนำแครกเกอร์ที่ทดแทน แป้งสาลีด้วย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แป้งข้าวหอมมะลิที่ร้อยละ 30 ร่วมกับสารสกัดข้าวแดง ร้อยละ 2 ไปพัฒนาด้านกลิ่นรสและ รูปร่าง พบว่าแครกเกอร์รสชีส และรูปร่างแบบแท่ง ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น (ม.ป.ป.) ศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ด้วยแป้งฟักทองต่อคุณภาพของคัพเค้ก การทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งฟักทองส่งผลต่อปริมาณความชื้น ค่า a_w สมบัติทางลักษณะเนื้อสัมผัส สี และประสาทสัมผัสของคัพเค้กอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) คัพเค้กที่มีส่วนผสมของแป้งฟักทองร้อยละ 10-30 จะมีปริมาณความชื้น และค่า a_w สูงกว่าคัพเค้กสูตรควบคุมที่ไม่มีการทดแทนด้วยแป้งฟักทอง เมื่อปริมาณของแป้งฟักทองเพิ่มขึ้น ความความเป็นสีเหลือง และค่าการกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมของเนื้อคัพเค้กเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าความสว่างมีค่าลดลง จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส คัพเค้กที่มีปริมาณส่วนผสมของแป้งฟักทองร้อยละ 5 ได้รับการยอมรับมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคัพเค้กที่มีการทดแทนด้วยแป้งฟักทอง

Lopez et al. (2004) ได้ศึกษาการแทนที่แป้งสาลีในการผลิตขนมปังปราศจากกลูเตนด้วยแป้งข้าว แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง พบว่าขนมปังที่ปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวโพดจะให้ลักษณะปรากฏของโครงสร้างที่ดี และมีปริมาตรจำเพาะที่ดีกว่าแป้งข้าวและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ในด้านการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทำจากแป้งข้าว มีลักษณะปรากฏสีเปลือกนอก สีเนื้อใน และระดับความพึงพอใจสูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำสำปะหลัง และแป้งข้าวยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่ม และบัตเตอร์ยังมีความคงตัวอีกด้วย ส่วนแป้งมันสำปะหลังจะให้ความยืดหยุ่น และให้เนื้อสัมผัสที่เหนียว ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสยังไม่เป็นที่ต้องการ และขนมปังปราศจากกลูเตนที่มีการผสมระหว่างแป้งข้าว ร้อยละ 45 แป้งข้าวโพดร้อยละ 35 และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 20 ทำให้ขนมปังมีลักษณะที่ดี เนื้อแน่น เซลล์มีลักษณะที่ดีรวมถึงกลิ่น และลักษณะปรากฏเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ เครื่องแก้ว สารเคมี และเครื่องมือ

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 แป้งฟักทอง ตรา Pumpkin Powder

3.1.1.2 แป้งข้าวเจ้า ตรา เพชรพานทอง

3.1.1.3 แป้งมันสำปะหลัง ตรา ใบหยก

3.1.1.4 แป้งข้าวโพด ตรา คนอร์

3.1.1.5 เนยสด

3.1.1.6 น้ำตาลทราย

3.1.1.7 ยีสต์

3.1.1.8 ผงฟู

3.1.1.9 นมสด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.1.2 อุปกรณ์ เครื่องแก้ว

3.1.2.1 ถ้วยอะลูมิเนียม (Aluminium can) สำหรับหาความชื้น

3.1.2.2 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.2.3 เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ขวดย่อยสาร ขวดรูปชมพู่ ปิเปตต์ บิวเรตต์ ขวดวัดปริมาตร ขาตั้งและที่จับ ขวดน้ำกลั่น กระบอกตวง บีกเกอร์

3.1.2.4 ครูซิเบิล (Crucible)

3.1.2.5 หลอดทิมเบิล (Thimble)

3.1.2.6 กระดาษกรอง

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

3.1.3.2 สารเร่งปฏิกิริยาผสม (คอปเปอร์ซัลเฟต:โพแทสเซียมซัลเฟต อัตราส่วน 1:10)

3.1.3.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 40

3.1.3.4 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

3.1.3.5 กรดบอริก เข้มข้นร้อยละ 4

3.1.3.6 อินดิเคเตอร์ผสม (เมทิลเรด 0.1 กรัม : บรอมครีซอลกรีน 0.1 กรัม ในเอทานอล 100 มิลลิลิตร)

3.1.3.7 ปิโตรเลียมอีเทอร์

3.1.3.8 สารมาตรฐานเบต้าแคโรทีน

3.1.3.9 แอซิโตน

3.1.3.10 เฮกเซน

3.1.4 เครื่องมือ

3.1.4.1 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

3.1.4.2 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.1.4.3 เครื่องบดผสมอาหาร

3.1.4.4 เตาอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.1.4.5 เครื่องวัดค่าสี Color Flex EZ

3.1.4.6 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส

3.1.4.7 ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)

3.1.4.8 เครื่องย่อยสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Digestion Apparatus)

3.1.4.9 เครื่องกลั่น (Distallation)

3.1.4.10 เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)

3.1.4.11 เครื่องวัด a_w (AquaLab รุ่น CX3TE)

3.1.4.12 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์

3.1.4.13 เครื่องเตาเผา (Muffle furnace)

3.1.4.14 เครื่องเขย่าด้วยคลื่นเสียง (Sonicator)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 ศึกษาชนิดของแป้งธัญพืชร่วมกับแป้งฟักทองในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

3.2.1.1 ผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน ตามกรรมวิธีของ วิภาดา และคณะ (2557) โดยมีการดัดแปลงใช้แป้งธัญพืช 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวเจ้า ร่วมกับแป้งฟักทอง ในอัตราส่วนของแป้งธัญพืชต่อแป้งฟักทอง เท่ากับ 50:50 ดังตารางที่ 3.1

3.2.1.2 นำมาผสมร่วมกับส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ นม ยีสต์ ผงฟู เกลือและน้ำตาล ในอัตราส่วนที่ปริมาณเท่ากันทุกสูตร

3.2.1.3 จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดมาปั่นเข้าด้วยกันเป็นเวลา 2 นาที แล้วนวดจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นพักแป้งโดทิ้งไว้ ประมาณ 20 นาที ที่อุณหภูมิตู้เย็น

3.2.1.4 รีดโดให้เป็นแผ่นบางด้วยเครื่องรีดแป้ง โดยใช้หัวรีดเบอร์ 2 แล้วตัดให้เป็นแผ่นขนาด 4 x 4 เซนติเมตร

3.2.1.5 นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3.2.1.6 ทดสอบการยอมรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ จำนวน 40 คน ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale คุณลักษณะที่ทำการทดสอบการยอมรับ ได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม นำไปวิเคราะห์ทางสถิติแล้วแปรผลเพื่อคัดเลือกแป้งธัญพืชที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 3.1

ปริมาณส่วนประกอบของวัตถุดิบในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

องค์ประกอบ	สูตรควบคุม* (กรัม)	สูตรที่ 1 (กรัม)	สูตรที่ 2 (กรัม)	สูตรที่ 3 (กรัม)
แป้งสาลี	100	0	0	0
แป้งฟักทอง	-	50	50	50

(ต่อ)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

องค์ประกอบ	สูตรควบคุม* (กรัม)	สูตรที่ 1 (กรัม)	สูตรที่ 2 (กรัม)	สูตรที่ 3 (กรัม)
แป้งมันสำปะหลัง	-	50	-	-
แป้งข้าวเจ้า	-	-	50	-
แป้งข้าวโพด	-	-	-	50
เนย	20	20	20	20
นม	60	60	60	60
ยีสต์	5	5	5	5
ผงฟู	4	4	4	4
เกลือ	1	1	1	1
น้ำตาล	20	20	20	20

หมายเหตุ . ปรับปรุงจาก *สูตรควบคุม,* โดย วิภาดา ฤาชากูล และคณะ, 2557.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

โดยการคัดเลือกชนิดแป้งธัญพืชที่เป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบในสูตรที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับโดยรวมมีค่ามากที่สุด มาผลิตแครกเกอร์โดยศึกษาสภาวะในการอบที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2

อุณหภูมิ (°C) และระยะเวลาที่ใช้ในการอบ (นาที)

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาในการอบ (นาที)
150	8
	10
	12

(ต่อ)

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาในการอบ (นาที)
160	8
	10
	12
170	8
	10
	12

นำผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนที่อบในสภาวะอุณหภูมิและระยะเวลาต่างกันไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ โดยการวัดค่าสี (L*, a*, b*), ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และเนื้อสัมผัส (ค่าแรงกดแตก) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

3.2.3 ศึกษาส่วนประกอบที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

ผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน โดยการผันแปรองค์ประกอบของแป้งธัญพืชที่เหมาะสม (ผลที่ได้จากข้อ 3.2.1) ฟักทอง และเนย โดยการวางแผนทดลองแบบ Mixture Design แปรอัตราส่วนของปริมาณฟักทอง (ร้อยละ 30 – 50) แป้งธัญพืช (ร้อยละ 40 – 60) และเนย (ร้อยละ 10 – 30) จำนวนทั้งหมด 14 สูตร (ตารางที่ 3.3) ส่วนปริมาณของส่วนผสมอื่นกำหนดให้คงที่ แล้วนำไปผลิตแครกเกอร์ตามกรรมวิธีเช่นเดียวกันกับ 3.2.1 โดยใช้สภาวะการอบที่เหมาะสม (ผลที่ได้จากข้อ 3.2.2) หลังจากนั้นประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบการยอมรับของตัวอย่าง ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 40 คน คุณลักษณะที่ทำการทดสอบการยอมรับได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 3.3

สัดส่วนและปริมาณขององค์ประกอบหลักในแต่ละสูตร

สูตร	สัดส่วนขององค์ประกอบ			องค์ประกอบ (กรัม)		
	X_1	X_2	X_3	ฟักทอง (30-50)	แป้งข้าวเจ้า (40-60)	เนย (10-30)
1	1.00	0.00	0.00	50	40	10
2	0.00	0.50	0.50	30	50	20
3	0.50	0.00	0.50	40	40	20
4	0.00	1.00	0.00	30	60	10
5	0.00	0.00	1.00	30	40	30
6	0.00	0.00	1.00	30	40	30
7	0.50	0.50	0.00	40	50	10
8	0.17	0.67	0.17	33.4	53.4	13.4
9	0.67	0.17	0.17	43.4	43.4	13.4
10	0.33	0.33	0.33	36.6	46.6	16.6
11	0.17	0.17	0.67	33.4	43.4	23.4
12	1.00	0.00	0.00	50	40	10
13	0.50	0.50	0.00	40	50	10
14	0.00	1.00	0.00	30	60	10

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเพื่อสุขภาพของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

ทำการผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค (ผลที่ได้จากข้อ 3.2.3) มาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน ดังนี้

3.2.4.1 ปริมาณความชื้น โดยวิธี Hot Air Oven Method (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน น้ำหนักแน่นอน 1-3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105±5 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง หรืออบจนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง และนำมาคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{ผลต่างน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \qquad (3\text{-}1)$$

3.2.4.2 ปริมาณโปรตีนรวม โดยวิธี Kjeldahl Method (AOAC, 2000)

1) ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ 2-5 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในหลอดย่อย เติมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 0.1 กรัม และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) 2 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร

2) นำไปย่อยบนเครื่องย่อย (Heating mantle) โดยให้ความร้อนอ่อน ๆ จนกระทั่งหมดฟอง แล้วค่อยเพิ่มความร้อนอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นลงไปในหลอดย่อยประมาณ 10-15 มิลลิลิตร

3) นำหลอดย่อยไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 40 ลงไป จำนวน 40 มิลลิลิตร แล้วทำการกลั่นเป็นเวลานานประมาณ 4 นาที โดยใช้ขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลายกรดบอริก เข้มข้นร้อยละ 4 และอินดิเคอร์ผสม รองรับสารละลายที่กลั่นได้

4) นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอมชมพู จดปริมาตรของกรดที่ใช้

5) ทำ blank (สิ่งไร้ตัวอย่าง) ตามข้อ 2.1-2.4 โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่าง

6) คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4 \times F}{W} \qquad (3\text{-}2)$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (N)

F คือ ค่าแฟคเตอร์เปลี่ยนไนโตรเจนเป็นโปรตีน (6.25)

3.2.4.3 ปริมาณไขมันรวม โดยวิธี Soxhlet (AOAC, 2000)

1) ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ (ทราบน้ำหนักแน่นอน) 3-5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรองให้มิดชิดใส่ลงในหลอดทิมเบิล

2) นำหลอดทิมเบิลที่มีตัวอย่างไปวางบนเครื่องสกัดไขมัน หลังจากนั้นเติมตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ จำนวน 150 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ (ที่ทราบน้ำหนัก) แล้ววางบนเตา

3) ประกอบอุปกรณ์ชุดกลั่นไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำ หล่ออุปกรณ์ควบแน่น และเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน โดยปรับความร้อนให้หยดของสารละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

4) เมื่อครบ 6 ชั่วโมงแล้ว นำหลอดทิมเบิลออกจากเครื่องสกัดไขมันไขตัวทำละลายไหลลงมาในขวดรองรับจนหมด

5) นำบีกเกอร์ที่มีไขมันอยู่ไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส จนแห้ง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

6) ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

7) คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100 \qquad (3\text{-}3)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักตัวอย่าง

W_1 คือ น้ำหนักบีกเกอร์

W_2 คือ น้ำหนักบีกเกอร์พร้อมไขมันหลังอบ

3.2.4.4 ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

1) เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง นำออกจากเตาเผาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล

2) กระทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 4.1) จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม) บันทึกผล (W_1)

3) ชั่งตัวอย่าง อย่างละเอียดประมาณ 2 กรัม (W) ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ เผาบนเตาไฟฟ้าจนหมดควัน

4) นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีเทาอ่อนหรือสีขาวสม่ำเสมอ นำออกจากเตาเผา เก็บในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล (W_2)

5) คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100 \qquad (3\text{-}4)$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2.4.5 วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน

นำผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค (ผลที่ได้จากข้อ 3.2.3) มาวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) ชั่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ น้ำหนักแน่นอน (1-2 กรัม) ใส่ลงในขวดแก้วรูปชมพู่ เติมตัวทำละลายผสม (แอซิโตน : เฮกเซน อัตราส่วน 4:6) จำนวน 20 มิลลิลิตร ปิดจุกขวด และนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบเสียง นาน 30 นาที หลังจากนั้นกรองด้วยระบบสุญญากาศ เก็บสารสกัดที่กรองได้ไว้ในขวดแก้ว

2) ทำการสกัดกากซ้ำอีก 1 ครั้ง แล้วกรองสารสกัดรวมกับที่เก็บไว้ในข้อ (5.1)

3) นำสารสกัดที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ช่วงความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

4) คำนวณหาปริมาณเบต้าแคโรทีนในสารสกัดโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายเบต้าแคโรทีน (ความเข้มข้น 20 – 200 มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.2.4.6 วิเคราะห์กิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

นำผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมาวิเคราะห์กิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) สกัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ด้วยเมทานอล โดยใช้ตัวอย่าง 1 กรัมต่อเมทานอล 20 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่องเขย่าแบบเสียง นาน 30 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วนที่ใสเก็บไว้สำหรับการทดสอบต่อไป

2) ปิเปตสารสกัด และสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (ความเข้มข้น 0.05 – 0.40 มิลลิโมลาร์) ชนิดละ 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดนาน 30 นาที

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

4) หาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัด และสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง DPPH} = \frac{(A_o - A_s) \times 100}{A_o} \qquad (3\text{-}5)$$

เมื่อ A_o = การดูดกลืนแสงของแบลงค์ (เมทานอล + DPPH)

A_s = การดูดกลืนแสงของสารสกัด

(ตัวอย่างหรือสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก + DPPH)

5) นำค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกไปสร้างกราฟมาตรฐาน

6) นำค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานและคำนวณความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH รายงานผลเป็นปริมาณมิลลิกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อน้ำหนักตัวอย่างแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน 100 กรัม

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ Randomized Complete Block Design (RCBD) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนวางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial Experiment และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเพื่อสุขภาพของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนวางแผนการทดลองแบบ t – test นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลของแป้งธัญพืชร่วมกับฟักทองที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

การใช้แป้งธัญพืชต่างกันส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน โดยที่ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับคุณลักษณะแต่ละด้านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแครกเกอร์ฟักทองร่วมกับแป้งธัญพืชต่างกัน

สูตร	ชนิดของแป้งธัญพืช	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
		ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	ความกรอบ	ความชอบรวม
1	แป้งมันสำปะหลัง	7.20 ± 0.22^{b}	7.35 ± 0.53^{a}	7.30 ± 0.60^{a}	7.40 ± 0.59^{a}	7.47 ± 0.59^{a}	7.32 ± 0.72^{b}
2	แป้งข้าวเจ้า	7.48 ± 0.27^{a}	7.55 ± 0.50^{a}	7.53 ± 0.51^{a}	7.52 ± 0.64^{a}	7.50 ± 0.67^{a}	7.67 ± 0.57^{a}
3	แป้งข้าวโพด	7.17 ± 0.23^{b}	6.62 ± 0.62^{b}	6.40 ± 0.63^{b}	7.02 ± 0.73^{b}	7.07 ± 0.26^{b}	7.25 ± 0.43^{b}

หมายเหตุ. อักษร $^{a-b}$ ที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

แครกเกอร์ที่มีองค์ประกอบของแป้งข้าวเจ้าและฟักทองมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกด้านสูงกว่าแป้งธัญพืชชนิดอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณลักษณะปรากฏ (7.48) และความชอบรวม (7.67) ส่วนคะแนนคุณลักษณะด้านสี กลิ่นรส รสชาติ และความกรอบ ของแครกเกอร์ที่มีองค์ประกอบของแป้งข้าวเจ้าร่วมกับฟักทองมีค่าคะแนนไม่ต่างกันกับแครกเกอร์ที่มีองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังกับฟักทอง ($p>0.05$) ในขณะที่แครกเกอร์ที่มีองค์ประกอบของแป้งข้าวโพดร่วมกับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ฟักทองมีคะแนนการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสต่ำที่สุดในทุกๆ คุณลักษณะ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่มีองค์ประกอบของแป้งข้าวเจ้ามีความกรอบทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของแป้งโดยแป้งข้าวเจ้ามีคุณสมบัติในด้านการให้ความกรอบ ส่วนแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดจะให้ความหนืดและยืดหยุ่น เมื่อได้รับความร้อน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของละอองวรรณ ศรีจันทร์ (2551) ที่ศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีในการผลิตแป้งชุบทอด โดยพบว่า สามารถใช้แป้งข้าวเจ้าได้ในสัดส่วนที่สูงกว่าแป้งสาลีโดยใช้แป้งข้าวเจ้าได้ถึงร้อยละ 58 ของแป้งทั้งหมดในการผลิตแป้งชุบทอด

ดังนั้นจึงนำสูตรที่มีส่วนประกอบของแป้งข้าวเจ้าร่วมกับแป้งฟักทองที่ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุดมาศึกษาสภาวะการอบที่เหมาะสมขั้นถัดไป

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

เมื่อนำสูตรที่มีส่วนประกอบของแป้งข้าวเจ้าร่วมกับแป้งฟักทองในการผลิตแครกเกอร์ซึ่งผู้ทดลองให้คะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุดมาศึกษาสภาวะการอบที่เหมาะสม โดยพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ ค่าสี ค่า a_w และค่าแรงกดแตก เทียบกับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ท้องตลาด ได้ผลดังตารางที่ 4.2

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2

ค่าการทดสอบในการศึกษาสภาวะในการอบที่เหมาะสมโดยการผันแปร อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการอบ

		ผลการทดสอบ				
อุณหภูมิ	ระยะเวลา	L*	a*	b*	a_w	ค่าแรงกดแตก (N)
150	8	71.24±0.19^{a}	7.29±0.32^{ef}	41.57±0.39^{b}	0.74±0.00^{a}	80.89±0.86^{a}
	10	70.61±0.29^{b}	7.67±0.13^{d}	41.41±0.24^{b}	0.62±0.01^{b}	58.14±0.58^{c}
	12	69.93±0.21^{c}	7.22±0.10^{f}	41.30±0.19^{b}	0.61±0.00^{b}	37.72±0.33^{d}

(ต่อ)

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

		ผลการทดสอบ				
อุณหภูมิ	ระยะเวลา	L*	a*	b*	a_w	ค่าแรงกดแตก (N)
	8	71.49±0.11[a]	7.56±0.23[de]	44.39±0.35[a]	0.67±0.00[ab]	66.84±0.05[b]
160	10	69.52±0.90[c]	7.28±0.12[ef]	41.44±0.41[b]	0.48±0.01[c]	4.63±0.10[e]
	12	69.37±0.55[c]	9.48±0.27[c]	40.42±0.28[c]	0.43±0.15[c]	1.30±0.20[f]
	8	71.27±0.22[a]	7.50±0.26[de]	41.39±0.15[b]	0.30±0.07[d]	2.43±0.26[ef]
170	10	67.32±0.19[d]	10.34±0.16[b]	41.32±0.09[b]	0.23±0.01[d]	1.48±0.26[f]
	12	66.26±0.68[e]	12.57±0. 14[a]	39.31±0.25[d]	0.21±0.05[d]	1.30±0.24[f]
ผลิตภัณฑ์ท้องตลาด	-	71.02±0.08[a]	7.55±0.08[de]	41.45±0.32[b]	0.28±0.03[d]	1.98±0.31[f]

หมายเหตุ. ปรับปรุงจาก อักษร [a-f] ที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

อุณหภูมิและเวลาในการอบมีผลต่อคุณภาพค่าสี (L* a* b*) ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ค่า a* และ b* มีค่าเป็นบวก ผลิตภัณฑ์จะมีสีเหลืองปนน้ำตาลอ่อน และแนวโน้มค่าสีเหลือง (b*) และความสว่าง (L*) ลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลาทูน่า (วิภาดา, 2542) และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแผ่นอบกรอบจากเศษเหลือปลาแซลมอล (จีรวรรณ และนันทภา, 2555)

สำหรับค่า a_w พบว่า เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้น แนวโน้มของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์มีค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง และส่งผลทำให้ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงโดยจะเห็นได้จากสภาวะการอบที่อุณหภูมิ 150 และ 160 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 8 นาที ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์มีค่าแรงกดแตกสูงมากกว่าสภาวะอื่น ๆ ซึ่งอาจเนื่องมาจากแครกเกอร์ยังไม่สุก สอดคล้องกับค่า a_w ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.5 ซึ่งส่งผลทำให้ยังคงมีปริมาณน้ำอิสระอยู่มากและยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของแป้งและโปรตีนในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติค่าสี (L* a* b*) ปริมาณน้ำอิสระ และค่าแรงกดแตก ของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอกกลูเตนที่อบในสภาวะอุณหภูมิ 170 องศษเซลเซียส นาน 8 นาที มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน คือ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที

4.3 ผลการศึกษาหาองค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

จากการวางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture design) โดยผันแปรองค์ประกอบของแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ 40-60) ฟักทอง (ร้อยละ 30-50) และเนย (ร้อยละ 10-30) และนำไปอบที่สภาวะอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 40 คน ประเมินคุณลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

ค่าคะแนนการยอมรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Formula	Natural-variable levels (%)			Hedonic sensory score					
	X_1	X_2	X_3	Appearance	Color	Oder	Flavor	Crispiness	Overall
1	50	40	10	4.82	6.85	5.26	5.02	6.23	6.25
2	30	50	20	5.82	5.97	5.08	4.86	6.67	5.37
3	40	40	20	7.15	5.20	5.39	5.76	7.28	5.44
4	30	60	10	4.96	6.67	6.02	5.91	6.80	6.02
5	30	40	30	5.79	5.84	5.07	4.88	7.05	5.81
6	30	40	30	5.84	5.26	7.68	7.44	5.61	7.22
7	40	50	10	7.61	4.97	4.65	5.23	7.73	4.21
8	33.4	53.4	13.4	4.68	7.14	6.03	5.26	6.20	6.08

(ต่อ)

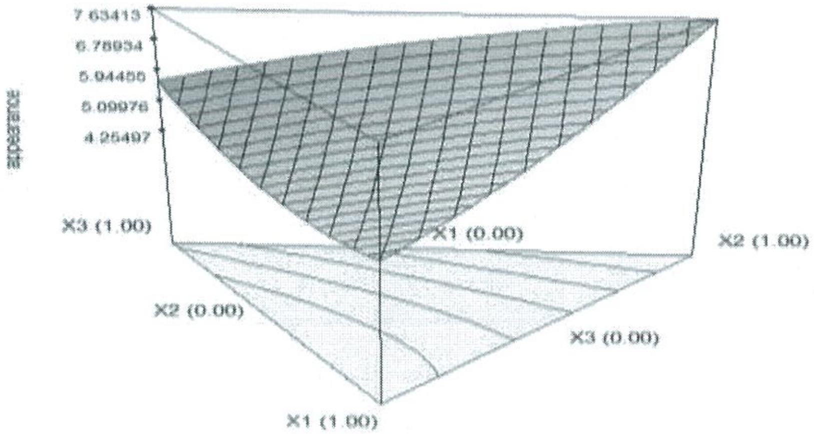
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Formula	Natural-variable levels (%)			Hedonic sensory score					
	X_1	X_2	X_3	Appearance	Color	Oder	Flavor	Crispiness	Overall
9	43.4	43.4	13.4	5.42	5.11	7.78	7.02	5.60	7.47
10	36.6	46.6	16.6	5.95	5.94	6.94	6.94	5.76	6.88
11	33.4	43.4	23.4	7.53	4.74	5.17	4.85	7.97	4.15
12	50	40	10	5.23	5.64	6.55	5.41	6.41	6.94
13	40	50	10	4.58	6.42	6.72	7.22	6.21	7.09
14	30	60	10	6.78	5.16	6.89	6.88	6.00	5.59

เมื่อนำค่าคะแนนการยอมรับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ทั้ง 14 สูตร มาสร้างสมการถดถอย (Regression Analysis) โดยใช้ปริมาณองค์ประกอบแป้งข้าวเจ้า ฟักทอง และเนย ของ Mixture design เป็นตัวแปรต้น ค่าคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นตัวแปรตาม นำไปสร้างกราฟแสดงพื้นที่ผิวตอบสนองได้ดังภาพที่ 4.1 – 4.6

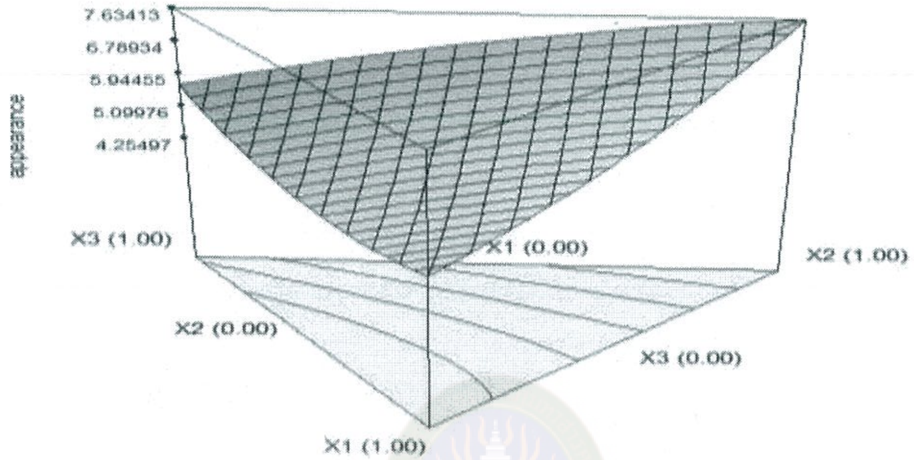
จากศึกษาพบว่า Contour plot คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนมีค่าความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.63 ดังภาพที่ 4.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 4.1 Contour plot คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

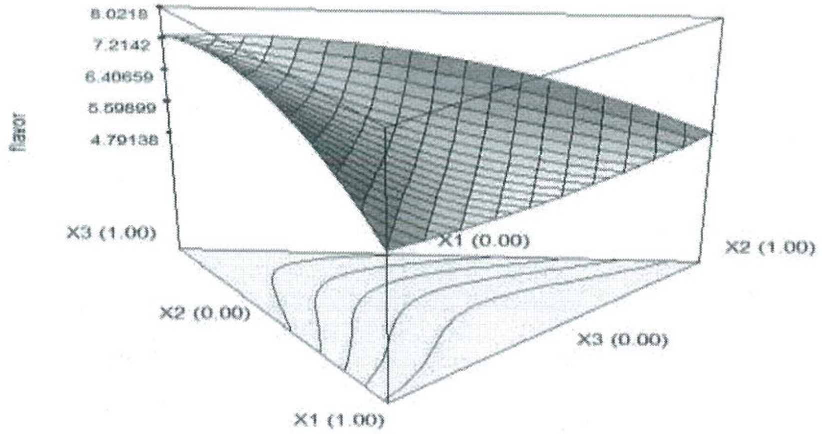
คะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนมีค่าความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.12 ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 Contour plot คะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

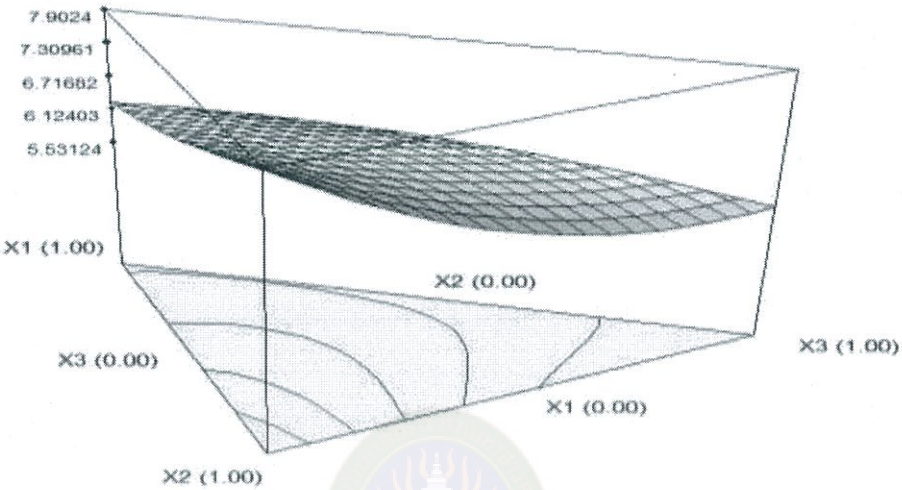
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนมีค่าความชอบสูงสุดเท่ากับ 8.0218 ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 Contour plot คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

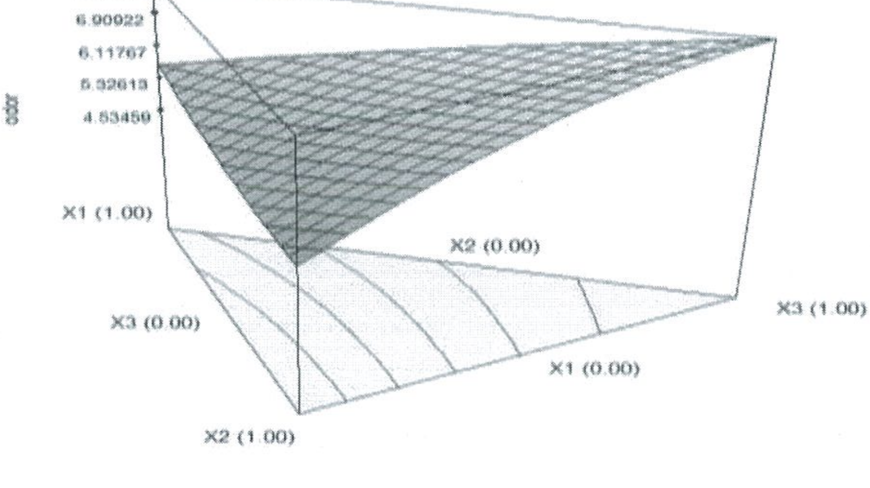
คะแนนความชอบด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนมีค่าความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.90 ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 Contour plot คะแนนความชอบด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

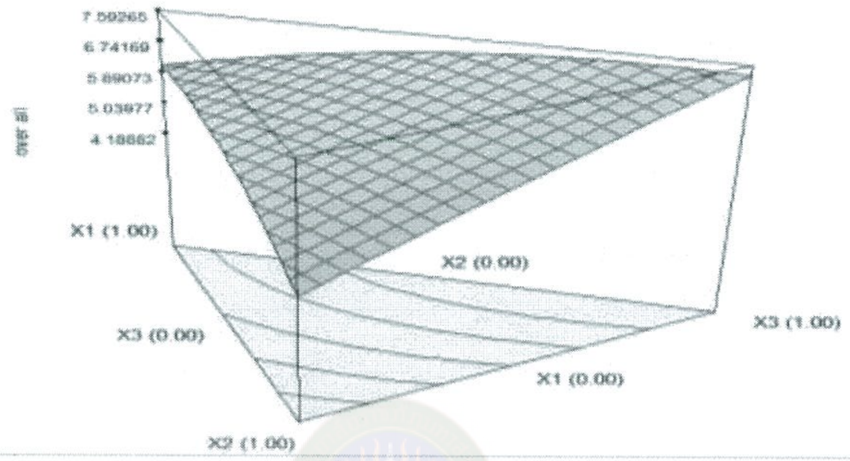
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

คะแนนความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนมีค่าความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.70 ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 Contour plot คะแนนความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

คะแนนความชอบด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนมีค่าความชอบสูงสุดเท่ากับ 7.59 ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 Contour plot คะแนนความชอบด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

การใช้เทคนิคการซ้อนทับของภาพฉายสามมิติที่แสดงความสูงต่ำของผลตอบสนอง (Contour plot) โดยสามารถเลือกพิกัดของพื้นที่ใดก็ได้ทุกจุดบนพื้นที่ที่ซ้อนทับกัน ในการทดลองนี้เลือกตำแหน่งที่มีค่าคะแนนความชอบสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ โดยได้เป็นสมการดังนี้

$$Y = 6.09X_1+4.19X_2+7.33X_3+2.07X_{12}+1.88X_{13}+0.34X_{23} \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อคำนวณเทียบสูตร ได้สูตรที่เหมาะสม คือ ปริมาณฟักทองร้อยละ 30 ปริมาณแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 45.8 และปริมาณเนยร้อยละ 24.2 ตามลำดับ

นำสูตรที่ผ่านการคัดเลือกไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน และ วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพื่อทวนสอบผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.4

คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน จากการเปรียบเทียบการยืนยันผลการทดลอง

คุณลักษณะ	คุณภาพทำนาย	คุณภาพผลิตภัณฑ์	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
ลักษณะปรากฏ	7.63	5.77	24.38
สี	7.12	6.47	9.13
กลิ่นรส	7.70	5.92	23.11
รสชาติ	8.02	7.05	12.09
ความกรอบ	7.90	7.42	6.07
ความชอบรวม	7.59	7.12	6.19

ตารางที่ 4.5

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

คุณภาพทางกายภาพ	ปริมาณ
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.23 ± 0.04
L*	70.05 ± 0.07
a*	7.28 ± 0.12
b*	40.98 ± 0.25
แรงกดแตก (N)	2.43 ± 1.82

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนที่มีปริมาณฟักทองร้อยละ 30 ปริมาณแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 45.8 และปริมาณเนยร้อยละ 24.2 พบว่า ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าเท่ากับ 0.23 ค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 70.05 ค่าสีแดง (a*) เท่ากับ 7.28 ค่าสีเหลือง (b*)เท่ากับ 40.98 และแรงกดแตก เท่ากับ 2.43 นิวตัน เมื่อทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านรสชาติ ความกรอบ และความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.05, 7.42 และ 7.12 ตามลำดับ) ด้านสีอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

(6.47) ด้านลักษณะปรากฏและด้านกลิ่นรสอยู่ในระดับเฉย (5.77 และ 5.92) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งผู้บริโภคยังไม่คุ้นชินในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และรสชาติ

4.4 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน

เมื่อนำผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนที่มีองค์ประกอบที่เหมาะสมไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับแครกเกอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้ผลตารางที่ 4.5 และผลการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน และกิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ผลิตภัณฑ์	
	แครกเกอร์ท้องตลาด	แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน
ปริมาณความชื้น	3.35±0.05^{b}	5.67 ± 0.00^{a}
ปริมาณเถ้า	1.21±0.05^{b}	7.02 ± 0.00^{a}
ปริมาณโปรตีน	8.37±0.01^{a}	6.60 ± 0.05^{b}
ปริมาณไขมัน	24.35±0.03^{a}	9.77 ± 0.00^{b}
ปริมาณเยื่อใย	2.31±0.27^{b}	11.11 ± 0.08^{a}
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	62.04±0.09^{b}	70.92 ± 0.00^{a}

หมายเหตุ. อักษร $^{a-b}$ ที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนมีความแตกต่างกับแครกเกอร์ท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่แครกเกอร์ฟักทองมีปริมาณเถ้าและเยื่อใยสูงกว่าแครกเกอร์ท้องตลาด ทั้งนี้เป็นผลมาจากส่วนประกอบของฟักทองซึ่งเป็นแหล่งของแร่ธาตุและ

ใยอาหารสูง ส่วนปริมาณไขมันและโปรตีนของแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนต่ำกว่าแครกเกอร์ท้องตลาด ทั้งนี้เนื่องมาจากส่วนประกอบของเนยน้อยกว่าและไม่มีส่วนประกอบของแป้งสาลีที่มีโปรตีนมากกว่าแป้งข้าวเจ้า ในด้านปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนมีค่าความชื้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ตามท้องตลาด และไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยค่าความชื้นขนมปังกรอบไม่มีไส้ ต้องไม่เกินร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.7

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน และกิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน

	ผลการวิเคราะห์
ปริมาณเบต้าแคโรทีน	145.33 ± 0.41 (μg/100g)
กิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ	68.52 ± 0.52 (mgAA/100g)

การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน และกิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ปลอดกลูเตน พบว่า ปริมาณเบต้าแคโรทีนมีค่าเท่ากับ 145.33 ไมโครกรัม/ 100 กรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ในงานวิจัยของ Jirapa et al. (2006) การใช้ประโยชน์ของแป้งฟักทองในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ซึ่งมีปริมาณเบต้าแคโรทีนในผลิตภัณฑ์ของขนมปังที่แทนด้วยแป้งฟักทองร้อยละ 10 มีค่าเท่ากับ 90 ไมโครกรัม/100 กรัม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 แป้งธัญพืชที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตแครกเกอร์ปลอดกลูเตน คือ แป้งข้าวเจ้า โดยใช้อัตราส่วนของแป้งฟักทองร่วมกับแป้งข้าวเจ้าในปริมาณ 50:50 โดยน้ำหนัก

5.1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน คือ การอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 8 นาที

5.1.3 สัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมในการผลิตแครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน คือ ฟักทองร้อยละ 30 แป้งข้าวจ้าวร้อยละ 45.8 และเนยร้อยละ 24.2

5.1.4 ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับมากที่สุดให้ระดับความชอบรวมเท่ากับ 7.12

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

5.1.5 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนที่ศึกษามีค่าสี L* เท่ากับ 71.21, a* 7.50 และ b* 41.39 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.30 และค่าความแข็งเท่ากับ 2.43 นิวตัน

5.1.6 คุณภาพทางเคมีมีปริมาณเถ้าร้อยละ 7.02 ปริมาณความชื้นร้อยละ 5.67 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.60 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดร้อยละ 70.92 ปริมาณเยื่อใยร้อยละ 11.11 และปริมาณไขมันทั้งหมดร้อยละ 9.77 โดยน้ำหนัก

5.1.7 ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองที่พัฒนามีปริมาณเบต้าแคโรทีน และกิจกรรมการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าเท่ากับ 145.33 ไมโครกรัม/ 100 กรัม และ 68.52 มิลลิกรัมกรดแอสคอบิก/ 100 กรัม ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

5.2.1.1 ฟักทองเป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระได้ดี ซึ่งอาจจะนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

5.2.1.2 ผู้ที่สนใจสามารถนำผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตนไปประยุกต์ใช้ในการผลิตออกสู่ตลาด

5.2.2 ข้อเสนอแนะเพื่อทำการวิจัยครั้งต่อไป

5.2.2.1 ควรศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

5.2.2.2 อาจมีการศึกษาหรือวิเคราะห์เกี่ยวกับสัดส่วนที่เหมาะสมขององค์ประกอบอื่นในการผลิตแครกเกอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). เทคโนโลยีของแป้ง (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามชื่น คงเสรี. (2546). *ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว.* กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

จานุลักษณ์ ขนบดี และพีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. (2534). *การคัดเลือกแบบหมู่ของฟักทองพันธุ์พื้นเมือง. รายงานการค้นคว้า.* จังหวัดลำปาง : สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง.

จีรวรรณ มณีโรจน์ และนันทภา พันธุ์สวัสดิ์. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแผ่นอบกรอบจากเศษ เหลือปลาแซลมอล.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์:

จุฑารัตน์ คงโนนกอก และ ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย. (2555). ผลของการทดแทนแป้งข้าวเหนียวด้วยแป้งกล้วยพรีเจลาทิไนซ์ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระคุณสมบัติทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวแบบแผ่น. *วารสารวิทย์เกษตร,* 43(2), 129-132.

จิตติมณฑน์ วงศ์ษา สมบูรณ์ศักดิ์ ศิลาเปรื่อง รพีพร เอี่ยมสะอาด และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. (2556). ผลของข้าวเจ้าหอมมะลิที่มีต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวอบกรอบไส้ปลาน้ำพริกเผา. *วารสารวิทย์เกษตร,* 44(2)/(พิเศษ), 329-332.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ดวงฤทัย ธารงโชติ, วิภาวัน จุลยา และรุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์. (2555). *การพัฒนาขนมปังแซนด์วิชจากแป้งข้าว.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.

นวรัตน์ เศรษฐสุวรรณ, น้ำตาล เนื่องจำนง และอโนชา สุขสมบูรณ์. (2553). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ข้าวเหนียว (อาราเร่) จากข้าวเหนียวดำ. *วารสารวิทย์เกษตร,* 41(3/1), 165-168.

ปุณฑริกา รัตนตรัยวงศ์. (2555). *ผลของการใช้โปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์ต่อการปรับปรุงคุณภาพแครกเกอร์ข้าว.* พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ประชาคมวิจัย. (2561). *Gluten Free ขนมปังกรอบ ปลอดแป้งสาลี.* สืบค้นจาก http://rescom.trf.or.th/display/keydefault.aspx?id_colum=2813

ผาณิต รุจิรพิสิฐ และวิชชุดา สังข์แก้ว. (2556). ผลของการใช้แป้งฟลาวร์มันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลีในการผลิตคุกกี้เนย. *วารสารวิทย์เกษตร,* 44(2)/(พิเศษ), 273-276.

ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ, ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน, รัตนพล พนมวัน ณ อยุธยา, จานุลักษณ์ ขนบดี และวิศิษฐ์ ดวงจันทร์. (2558). *การประเมินคุณภาพฟักทอง (Cucurbita spp.) และการพัฒนากระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตแป้งฟักทอง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เสริมสุขภาพ.* เชียงใหม่ : สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2555). *ขนมปังกรอบ.* กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม.

วิภาดา ฤาชากูล, นันทิภา พันธุ์สวัสดิ์ และจีรวรรณ มณีโรจน์. (2557). ผลของน้ำมันรำข้าวอุณหภูมิและเวลาในการอบต่อคุณภาพของแครกเกอร์จากเศษเหลือปลาแซลมอน. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมุนไพรไทย. (2561). *ฟักทอง ผักและผลไม้อุดมไปด้วยคุณค่า.* สืบค้นจาก http://xn--o3cepkej9b3gpeg.net/ %E0%B8%AD%E0%B8%87

สิรินภา สาสนาม, สาวิตรี สุวรรณ, ปริวัฒณ์ สกุลวโรภาส และเบญจวรรณ ธรรมาธนารักษ์. (ม.ป.ป.). *การพัฒนาคุกกี้ปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวเจ้า แป้งกล้วย และแป้งลูกเดือย.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุชาดา ไม้สนธิ์ และขวัญชัย คูเจริญไพศาล. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แครกเกอร์จากข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวแดง (อังคัก). *วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร,* 7(2), 26-40.

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น, จิราภรณ์ บรรจง, และมริสา เฮ้านนท์. (ม.ป.ป). *ผลของแป้งฟักทองต่อคุณภาพของคัพ เค้ก.* การประชุมวิชาการ “มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 12”, น. 383-389. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2532). *ข้าวสาลี.* กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abuelgassim, O.A. and AL-showayman, A.I. (2012). The effect of pumpkin (Cucurbita pepo L) seeds and L-arginine supplementation on serum lipid concentrations in atherogenic rats. Traditional. *Complementary and Alternative Medicines,* 9(1), 131-137.

AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International.* 17th ed., Maryland : USA.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Caili, F., Huan, S., and Quanhong, L. (2006). A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. *Plant Foods for Human Nutrition,* 61(2), 73-80.

Demirkesen I., Mert B., Sumnu G., and Sahin S. (2010). Utilization of chestnut flour in gluten- free bread formulations. *Food Engineering,* 101,329–336.

El-Aziz, A.B. Abd. and El-Kalek, H.H. Abd. (2011). Antimicrobial Proteins and Oil Seeds from Pumpkin (Cucurbita moschata). *Nature and Science,* 9(3), 105-119.

Food Network Solution.V. (2018). Carotenoid/แคโรทีนอยด์. Retrieved from http://www.foodnetworksolution.com/wiki/w

Kulaitiene, J,. Jariene, E,. Danilčenko, H,. Černiauskiene, J,. Wawrzyniak, A,. Hamulka, A,. and Juknevičiene, E,. (2014). Chemical composition of pumpkin (Cucurbita maxima D.) flesh flours used for food. Food, *Agriculture & Environment,* 12 (3&4), 61-64.

Mulleder, U. Murkovic, M., and Neunteufl, H. (2002). Carotenoid content in different varieties of pumpkins. *Food Composition Analysis,* 15, 633–638.

Leach, H. W., McCowen, L. D. and Schoch, T. J. (1959). Swelling power and solubility of granular starches. *Cereal Chemistry*, 36, 534-544.

Lopez, A. C. B., Pereira, A. J. G., and Janqueira, R. G. (2004). Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. *In Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(1), 63–70.

Renzetti, S., Dal Bello, F. and Arendt, E.K. (2008). Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Cereal Science,* 48, 33-45.

Sabanis, D., Lebesi, D., Tzia, C., (2009). Effect of dietary fiber enrichment on selected properties of gluten-free bread. *Food Science and Technology*, 42, 1380–1389.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Sanders, J.P.M. (1996). Starch crop selection and breeding. *In Advanced Post-Academic Course on Tapioca Starch Technology*, 19-23, 1996.

Siamchem. (2019). *ผัก และผลไม้ที่มีสีส้ม.* Retrieved from https://www.siamchemi.com/%E

Sivaramakrishnan, H. P., Senge, B. and Chattopadhyay, P. K. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Food Engineering,* 62(9), 37-45.

Soong, Y, Y., Tan, S, P., Leong, L, P. and Henry, J, K. (2014). Total antioxidant capacity and starch digestibility of muffins baked with rice, wheat, oat, corn and barley flour. *Food Chemistry,* 164, 462–469.

Xu, G.H. (2000). A study of the possible antitumour effect and immunompetence of pumpkin polysaccharide. *Wuhan Professional Medical College,* 28(4), 1–4.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

แบบประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัส

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แบบประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ ....

วันที่ทำการทดสอบ ....

คำแนะนำ กรุณาชิมตัวอย่างที่เสนอให้ตามลำดับของรหัสที่เสนอให้ในตารางจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนความชอบแต่ละคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุดโดยกำหนดให้

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

รหัสที่ทดสอบ	คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	รสชาติ	ความกรอบ	กลิ่นรส	ความชอบรวม
1.....................						
2.....................						
3.....................						
4.....................						
5.....................						
6.....................						
7.....................						
8.....................						
9.....................						
10...................						
11...................						
12...................						
13...................						
14...................						

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ข้อเสนอแนะ...

....

....

....

....

ขอขอบคุณสำหรับความร่วมมือในการตอบแบบทดสอบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

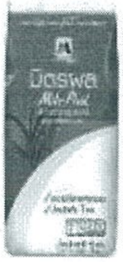
1. แป้งฟักทอง

2. แป้งข้าวจ้าว

3) แป้งมันสำปะหลัง

4) แป้งข้าวโพด

5) เนยสด



6) น้ำตาลทราย

7) ยีสต์

8) ผงฟู

9) นมสด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ ข.1 วัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิต

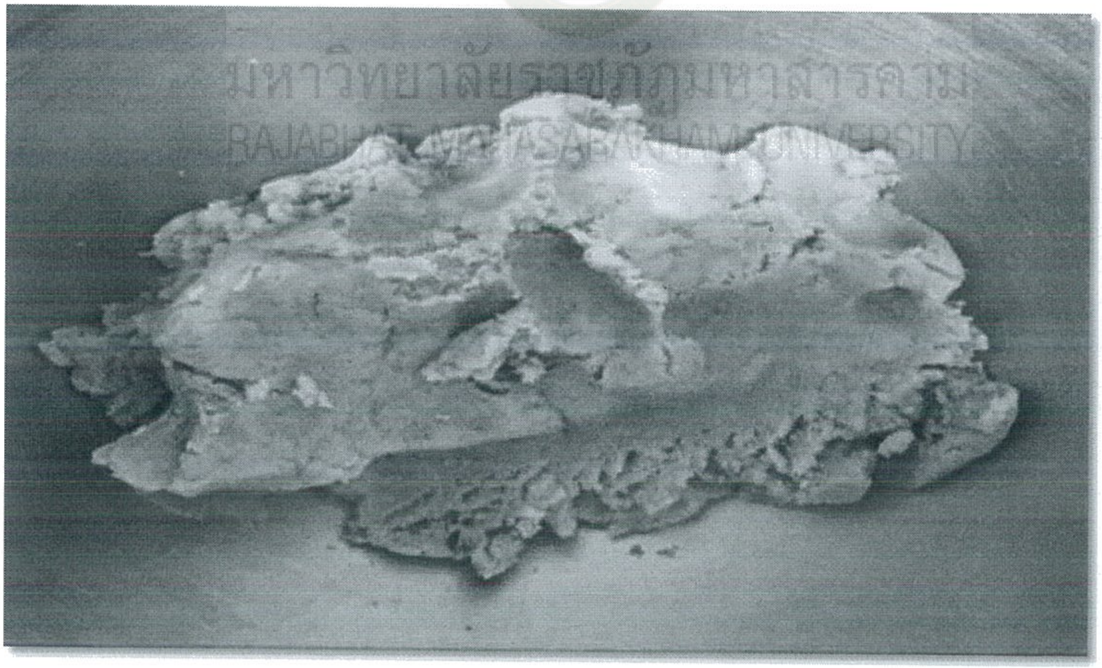
ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการผลิตแครกเกอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ ค.1 ชั่งส่วนผสมตามสูตรที่กำหนด

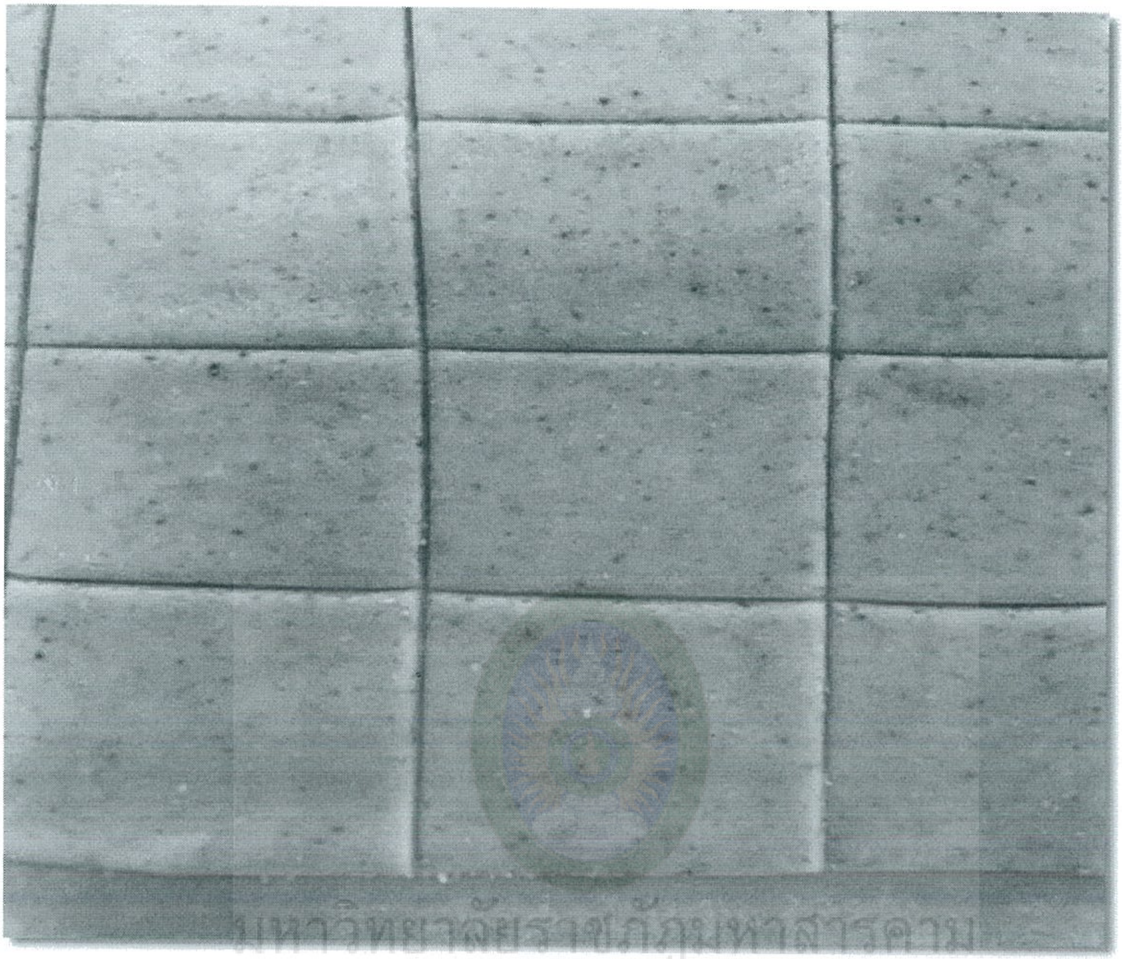
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ ค.2 นำส่วนผสมทั้งหมดมาปั่นเข้าด้วยกันเป็นเวลา 2 นาที แล้วนวดจนเป็นเนื้อเดียวกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ ค.3 พักแป้งโดทิ้งไว้ ประมาณ 20 นาที ที่อุณหภูมิตู้เย็น



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ ค.4 รีดโดให้เป็นแผ่นบางด้วยเครื่องรีดแป้ง โดยใช้หัวรีดเบอร์ 2 แล้วตัดให้เป็นแผ่นขนาด 4 x 4 เซนติเมตร แล้วนำเข้าอบให้สุกด้วยตู้อบลมร้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ ค.5 ผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองปลอดกลูเตน

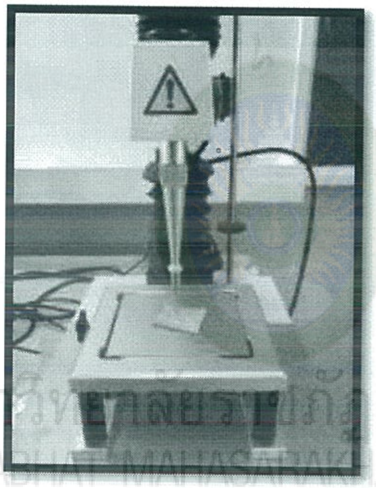
ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. การหาค่าความแข็งโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แครกเกอร์ฟักทองโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA. XT. Plus ด้วยโปรแกรม Texture Exponent 32 .ใช้หัววัด P/2 ทรงกระบอก ความเร็วของหัวกด Pre - Test Speed 1.0 mm/s, Test Speed 0.5 mm/s, Post – Test Speed 10.0 mm/s, Distance 2 mm, Trigger Type Auto 10 g และ Tare Mode Auto Data Acquisition 400 pps บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ได้เป็นค่าความแข็ง (นิวตัน) ทำการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้งต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2. การหาค่าสี (L* a* b*)

โดยใช้เครื่อง Color Flex EZ ทำการทำการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้งต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

3. การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

โดยใช้เครื่อง AquaLab รุ่น CX3TE ชั่งตัวอย่างที่บดแล้ว ประมาณ 3 กรัม โดยต้องให้ตัวอย่างปิดพื้นที่ก้นภาชนะใส่ตัวอย่าง และให้ปริมาณตัวอย่างอยู่สูงระดับครึ่งของภาชนะใส่ตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ต้องการวัดใส่ลงในช่องใส่ภาชนะสำหรับการวัด เครื่องจะทำการวิเคราะห์ค่าให้อัตโนมัติ จดบันทึกข้อมูล ทำการทำการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้งต่อผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ สกุล	นางสาวญาณิศา โพธิ์รัตน์โส
วัน เดือน ปี เกิด	24 มกราคม 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 17 หมู่ที่ 9 หมู่บ้านโนนวิเศษ ตำบลโนนบุรี อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46140
สถานที่ทำงาน (ถ้ามี)	สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เลขที่ 80 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000
ตำแหน่ง (ถ้ามี)	นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2557	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
รางวัลดีเด่น (ถ้ามี)	
พ.ศ. 2559	รางวัลเชิดชูเกียรติบุคลากร (สายสนับสนุน) “ด้านสนับสนุนการใช้บริการ”

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY