การใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแซนด์วิช

THE USE OF OKARA TO SUBSTITUTE WHEAT FLOUR IN SANDWICH BREAD

วิญญ์ ผิวนึม
WIN PHIUNIM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแซนด์วิช

THE USE OF OKARA TO SUBSTITUTE WHEAT FLOUR IN SANDWICH BREAD

วิญญ์ ผิวนิ่ม

WIN PHIUNIM

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....74570
วัน,เดือน,ปี.....- 3 ต.ค. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

THE USE OF OKARA TO SUBSTITUTE WHEAT FLOUR IN SANDWICH BREAD

WIN PHIUNIM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแซนด์วิช
นักศึกษา	นางสาววิญญ์ ผิวนิ่ม
รหัสประจำตัว	47063207
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ยุพร พืชกมุทร

บทคัดย่อ

ในการศึกษาการใช้กากถั่วเหลืองจากการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองหรือโอคาราเพื่อทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง ได้นำโอคาราสดจากโรงงานมาทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส พบว่าการใช้โอคาราสดทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความยืดหยุ่นของก้อนโดลดลง ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลง มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นและขนมปังมีสีคล้ำลง พบว่าปริมาณโอคาราที่สามารถใช้แทนแป้งสาลีได้อยู่ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นได้ทดลองใช้สารช่วยยึดเกาะ 3 ชนิด ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิลเมธิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methyl cellulose, HPMC) ดิสทิลเลทโมโนกรีเซอไรด์ (distilled monoglyceride, DMG) และ คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (carboxy methylcellulose, CMC) เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังโอคารา โดยทดลองเติมที่ระดับต่าง ๆ กัน ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ เมื่อใช้ HPMC ในปริมาณ 2 2.5 3 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังโอคาราเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการใช้ DMG ในปริมาณ 6 8 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่าการเติม DMG ทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังสูงขึ้น แต่ปริมาณ DMG ที่ใช้ต้องสูงถึง 10-12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง สำหรับการใช้ CMC ในปริมาณ 1 1.5 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเติมที่ระดับ 1.5 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาตรจำเพาะและความชื้นของขนมปังโอคาราเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับขนมปังสูตรควบคุม และขนมปังโอคารามีสีอ่อนลง ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเมื่อใช้ CMC 2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ขนมปังโอคาราที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี 20 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนการยอมรับสูงสุด จึงได้นำขนมปังโอคาราที่เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์มาปรับปรุงคุณค่าทางอาหารโดยไม่ใช้เนยขาวแต่ทดลองเติมน้ำมันถั่วเหลือง 4 ระดับ คือ 2 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเติมน้ำมันถั่วเหลือง 4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ขนมปังโอคารามีเนื้อสัมผัสที่ดีและได้รับการยอมรับโดยรวมจากผู้ทดสอบสูงสุด ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าขนมปังแซนด์วิชโอคารา มีความชื้น 42.19 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 14.23 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 32.9 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 6.21 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 3.02 เปอร์เซ็นต์ และเส้นใยอาหาร 4.84 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ขนมปังสูตรควบคุม มีปริมาณความชื้น 40.06 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 8.67 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 41.96 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 8.80 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 1.51 เปอร์เซ็นต์ และไม่พบเส้นใยอาหาร

ในการศึกษาอายุการเก็บรักษา เมื่อนำขนมปังโอคาราบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีนเก็บที่อุณหภูมิห้อง ตรวจสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่าขนมปังแซนด์วิชโอคาราเก็บรักษาได้มากกว่า 7 วัน เมื่อมีการเติมแคลเซียมโปรปีโอเนตที่ระดับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี

Thesis Title	The Use of Okara to Substitute Wheat Flour in Sandwich Bread
Student	Miss Win Phiunim
Student ID.	47063207
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2007
Thesis advisor	Dr. Yuporn Puechkamut

ABSTRACT

Studies on the used of soy milk residue or okara to substitute wheat flour in bread were done. Fresh okara form soymilk factory was used to substitute wheat flour at the amount of 15, 20 and 25 percent. The result showed that when the amount of okara increased, the elasticity of dough decreased, the specific volume of the okara bread significantly decreased. The texture of the okara breads were harder when compared to the control and the sensory evaluation result showed that 20 percent of okara could be used to substitute wheat flour. To improve the quality of the okara bread, three types of binding agents, i.e., hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC), distilled monoglyceride (DMG), carboxy methyl cellulose (CMC), were added at various concentrations. When 2, 2.5, 3 and 3.5 percent were of HPMC used, it was found that the specific volume of the okara bread was a little bit increased, but if the concentration of HPMC was higher than 3.5 percent, the sticky dough was obtained. The addition of DMG could increase the specific volume of the okara bread, but high amount around 10-12 percent should be used. When 1.5, 2 and 2.5 percent of CMC were added, the specific volume and the moisture content of the okara breads were not significantly different from the control, and the okara bread looked more whiten. The sensory evaluation result showed that the okara bread prepared form 20 percent okara and 2 percent CMC got good acceptance score from the panelists. To improve the nutritional value of okara bread, the soybean oil was used to replace the shortening. The soybean oil at amount of 2, 3, 4 and 5 percent of wheat flour were added to the dough. The result showed that the okara bread of 4 percent soybean oil got good texture and highest acceptance score.

The chemical compositions of the bread were also examined. The okara bread, from 20 percent okara, 2 percent CMC and 4 percent soybean oil contained 42.19 percent moisture, 14.23 percent protein, 32.9 percent carbohydrate, 6.21 percent fat, 3.02 percent ash, and 4.84 percent dietary fiber. Comparing to control bread (100 percent wheat flour) which contained 40.06

percent moisture, 8.67 percent protein, 41.96 percent carbohydrate, 8.80 percent fat, 1.51 percent ash, and 0 percent dietary fiber.

The shelf life of the okara bread was studied by kept in polyethylene pack at room temperature. The result showed that the okara bread calcium propionate was added at the amount of 0.4 percent of wheat weight.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.ยุพร พืชกมุทร ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาให้ความรู้ ข้อคิดเห็น คำแนะนำต่างๆที่มีค่า อันเป็นเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าตลอดการทำงานวิจัย ทั้งนี้ยังช่วยตรวจทาน แก้ไข วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์ ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ความรู้ ให้คำแนะนำเพิ่มเติมแก่ข้าพเจ้า ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. หทัยรัตน์ ริมคีรี อาจารย์จากคณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สละเวลาอันมีค่ามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ บริษัท กรีนสปอต (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์โอคาราสด

ขอขอบพระคุณ บริษัท รามา เคม. ที่ให้ความอนุเคราะห์สาร HPMC

ขอขอบพระคุณ บริษัท แคลแทค ที่ให้ความอนุเคราะห์สาร DMG

ขอขอบพระคุณ บริษัท ฟู้ดแอนด์ ดริ๊งส์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์สาร CMC

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ปริญญาเอก นางสาววรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ ที่ให้การช่วยเหลือในการวิเคราะห์ผล

ขอขอบคุณ นายรักษ์ ผิวนิ่ม ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านมาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ ขอขอบคุณ นายเมธี ไชยโย ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดมา รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการเรียนและการทำวิจัยเป็นอย่างดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่คณาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิญญ์ ผิวนิ่ม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....X

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....2

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 โอคารา.....3

2.2 ขนมปัง.....7

2.3 สารช่วยยึดเกาะ.....16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....20

3.1 วัตถุดิบ.....20

3.2 อุปกรณ์การผลิตขนมปังแซนด์วิช.....20

3.3 อุปกรณ์การวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังแซนด์วิช.....21

3.4 อุปกรณ์การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี.....21

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส.....21

3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....21

3.7 วิธีการดำเนินงาน.....21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....26
4.1 ผลการศึกษาปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา....26
4.2 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสารช่วยยึดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา....29
4.3 ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา....36
4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังแซนด์วิชโอคารา....38
4.5 ผลการศึกษาอายุการเก็บของขนมปังแซนด์วิชโอคารา....39

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง....40

บรรณานุกรม....41

ภาคผนวก
ก. การวิเคราะห์ทางเคมี....47
ข. การวิเคราะห์ทางกายภาพ....55
ค. การวัดเนื้อสัมผัส....57
ง. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส....61

ประวัติผู้เขียน....63

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปอร์เซ็นต์โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ต่อน้ำหนักแห้งของโอคารา.....4

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของโอคารา.....4

3.1 สูตรควบคุมขนมปังแซนด์วิช.....22

4.1 ค่าความยืดหยุ่นของโดที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง.....26

4.2 ปริมาตรจำเพาะ ความชื้น ค่าความแข็งของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี ที่ระดับ 15 20 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง.....27

4.3 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี ที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง.....28

4.4 คะแนนผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราทดแทน แป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง.....28

4.5 ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมกับสูตรที่ทดแทน ด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ.....30

4.6 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ.....31

4.7 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังสูตรที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ.....31

4.8 ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมกับสูตรทดแทนโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม DMG ที่ระดับต่าง ๆ.....32

4.9 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม DMG ที่ระดับต่าง ๆ.....32

4.10 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม DMG ที่ระดับต่าง ๆ.....33

4.11 ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้น ของขนมปังสูตรควบคุมแบบกับสูตรที่ทดแทน ด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ.....34

4.12 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ.....35

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.13 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังสูตรที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ 35

4.14 ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรต้นแบบกับสูตรทดแทนโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ CMC ที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ และเติมน้ำมันถั่วเหลืองที่ระดับต่าง ๆ 36

4.15 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์ไม่ใช้เนยขาวและเติมน้ำมันถั่วเหลืองที่ระดับต่าง ๆ 37

4.16 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังแซนด์วิชสูตรควบคุมและขนมปังแซนด์วิชโอคารา 38

4.17 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมปังแซนด์วิชโอคาราบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 39

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

3.1 กรรมวิธีการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา 24

4.1 ขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุม จาก 2-4 คือขนมปังโอคาราที่ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ).....27

4.2 ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่มีการเติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุม ใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ จาก 2 ถึง 5 คือขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม HPMC 2 2.5 3 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ).....30

4.3 ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่มีการเติมDMG ที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุม ใช้แป้งสาลี :00 เปอร์เซ็นต์ จาก 2 ถึง 5 คือขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม DMG 6 8 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ).....32

4.4 ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่มีการเติมCMC ที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุม ใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ จาก 2 ถึง5 คือขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม CMC 1 1.5 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ).....34

4.5 ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่มีการเติมน้ำมันถั่วเหลืองที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตร ควบคุมใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ จาก 2 ถึง 5 คือขนมปังที่ใช้โอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ เติมCMC 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่ใช้เนยขาวและเติมน้ำมันถั่วเหลือง 2 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ).....37

ค.1.1 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดค่าความยืดหยุ่นของโด.....58

ค.1.2 ลักษณะการประกอบเครื่องในการวัดค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของ ขนมปังแซนด์วิช.....59

ค.1.3 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดค่าความแข็งของขนมปังแซนด์วิชโอคารา.....60

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อบริโภคมีปริมาณมาก ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับครัวเรือน การผลิตน้ำนมถั่วเหลืองจะได้ส่วนที่ไม่ละลายน้ำจากกระบวนการแยกน้ำนมถั่วเหลือง เรียกว่าโอคารา (Rinaldi, 1998) หากใช้ถั่วเหลือง 1 ปอนด์ จะได้โอคาราประมาณ 1.1 ปอนด์ โดยโอคาราที่ได้จะมีความชื้น 76-80 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 3.5-4.0 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 2.8-3.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเป็นของแห้งจะประกอบด้วย โปรตีน 23.6-24.0 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 8.2-15.2 เปอร์เซ็นต์ (O'Toole, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่าในโอคาราประกอบด้วยเส้นใยอาหารทั้งประเภทละลายน้ำและไม่ละลายน้ำรวมทั้งสารประกอบพฤกษเคมี (phytochemical) เช่นไอโซฟลาโวน ซาโปนิน และโปรตีนที่มีคุณภาพ (Zee *et al*., 1998 ; Wang and Cavin, 1989) ปริมาณของโอคาราที่ได้มีปริมาณสูงทำให้เป็นปัญหาในการกำจัด โรงงานอุตสาหกรรมจึงนิยมอบแห้งโอคาราเพื่อขายเป็นอาหารสัตว์ แต่การผลิตในครัวเรือนจะทิ้งเสียเป็นส่วนใหญ่ มีการนำไปเลี้ยงสัตว์เป็นส่วนน้อย มีงานวิจัยที่นำโอคาราสดมาใช้ประโยชน์โดยตรงเช่นในอุตสาหกรรมการหมักนัตโต (natto) และ เทมเป้ (tempeh) พบว่าการนำโอคารามาใช้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเช่นเดียวกับการหมักที่ใช้ถั่วเหลืองทั้งเมล็ด ในประเทศไทยการใช้ประโยชน์จากโอคาราในผลิตภัณฑ์อาหารยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ยุพร พืชกมุทร (2548) พบว่าสามารถใช้โอคาราสดแทนแป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ ในการผลิตขนมทองม้วน ยุพร พืชกมุทร และกานดา แซ่จิว (2549) พบว่าในการผลิตคุกกี้เนยสามารถใช้โอคาราสดทดแทนแป้งสาลีได้ 80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คุกกี้ที่เติมโอคาราสดมีปริมาณเส้นใยมากกว่าคุกกี้สูตรควบคุมถึง 4.61 เท่า

ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของคนไทยมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะสังคมเมืองที่มีความเร่งรีบ ขนมปังแซนด์วิชเป็นขนมปังที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่คุ้นเคย เนื่องจากขนมปังแซนด์วิชนั้นมีลักษณะเนื้อละเอียดนุ่ม สามารถรับประทานคู่กับ เนย แยม แซนด์วิชสเปรดได้อย่างหลากหลาย ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตเติบโตอย่างรวดเร็วโดยมีมูลค่าในกลุ่มเบเกอรี่มากกว่า 2,000 ล้านบาท (พรวีนัส ปิ้นหยา, 2544) ในท้องตลาดขนมปังแซนด์วิชที่มีคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนและใยอาหารที่มีประโยชน์ยังมีน้อย ส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบหลักเป็นแป้งสาลี แป้งสาลีที่นำมาทำขนมปังได้จากการนำเข้าข้าวสาลีจากต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และแคนาดา แล้วนำมาแปรรูปเป็นแป้ง แม้จะมีการผลิตข้าวสาลีได้ภายในประเทศ แต่ยังมีผลผลิตต่ำและคุณภาพไม่เหมาะกับการนำมาผลิตขนมปัง (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำโอคาราสดมาใช้ประโยชน์ โดยการ

ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช เป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับขนมปัง เพราะโอคาราประกอบด้วยเส้นใยอาหารสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้งของโอคารา (Rujirej, 2001 ; Wachiraphansakul and Devahastin, 2005) ใยอาหารมีผลต่อสุขภาพ คือป้องกันโรคท้องผูก โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคผนังลำไส้ใหญ่โป่งพอง โรคอ้วน โรคเบาหวาน โรคไตเรื้อรัง โรคหัวใจขาดเลือด เป็นต้น และการทำขนมปังมีขั้นการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ผู้ประกอบการรายย่อยที่ผลิตน้ำนมถั่วเหลืองสามารถนำโอคาราที่เหลือทิ้งมาผลิตเป็นขนมปังได้ โดยมีเป้าหมายที่ใช้โอคาราในปริมาณที่มากสุด งานวิจัยนี้นอกจากจะช่วยลดของเสียและเพิ่มมูลค่าให้กับโอคาราแล้วยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ขนมปัง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา
2. ศึกษาปริมาณสารช่วยยึดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา
3. ศึกษาปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา
4. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของขนมปังแซนด์วิชโอคารา
5. ศึกษาอายุการเก็บขนมปังแซนด์วิชโอคารา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา เปรียบเทียบสารช่วยยึดเกาะแต่ละชนิดและปริมาณการใช้ที่เหมาะสมรวมทั้งปริมาณการใช้น้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคาราให้มีคุณภาพดี

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา
2. ทราบปริมาณของสารช่วยยึดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา
3. ทราบถึงปริมาณของน้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา
4. เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากโอคารา เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับโอคารามากขึ้น

บทที่2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โอคารา

โอคารา (okara) คือส่วนของกากถั่วเหลืองที่เหลือจากการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง (soybean milk) และเต้าหู้ (tofu) (Rinaldi, 1998) เนื่องจากโอคาราสดมีความชื้นสูง จึงนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย นิยมนำไปอบแห้งทำเป็นอาหารสัตว์ เป็นการลดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นปัญหาในปัจจุบัน ในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองจะได้ส่วนที่เป็นกากถั่วเหลือง 1.1 ปอนด์หรือ 1.1 กิโลกรัม หากใช้ถั่วเหลือง 1 ปอนด์หรือ 1 กิโลกรัม (Shurtleff and Aoyagi, 1979)

2.1.1 สมบัติของโอคารา

เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ มีความชื้นสูงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักโอคารา ทำให้เสื่อมเสียได้ง่าย โอคารามีคุณค่าทางอาหารสูง เนื่องจากมีปริมาณโปรตีน 29 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 11 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้งของโอคารา (Wachiraphansakul and Devahastin, 2005) แร่ธาตุและวิตามินต่าง ๆ คือแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก โพแทสเซียม ไรโบฟลาวิน ไทอามิน และไนอาซิน (แสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2) มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง ทำให้ดูดซับน้ำและไขมันได้ดี นอกจากนี้ยังมีสารไอโซฟลาโวนในปริมาณ 220 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้งของโอคารา (Jackson *et al.*, 2002) จากการศึกษาวิจัยการบริโภคถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองทั้งน้ำนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ พบว่าสารไอโซฟลาโวนจะช่วยบรรเทาและรักษาอาการต่างๆที่ไม่พึงประสงค์ของอาการหมดประจำเดือนในผู้หญิง ไอโซฟลาโวนที่พบในถั่วเหลืองนั้น เป็นสารกลุ่มที่มีโครงสร้างคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน จึงสามารถไปจับกับตัวรับเอสโตรเจนในร่างกายได้ สารในกลุ่มนี้ที่พบมากคือจีนิสเตอิน (genistein) ไดเซอีน (daidzain) และคิวเมอสเตอรอล (coumestrol) ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยกันมากถึงคุณสมบัติของสารเหล่านี้ต่อร่างกายได้แก่ ผลในการไปเปลี่ยนแปลงการเจริญของมะเร็งบางชนิดที่ต้องอาศัยฮอร์โมน ช่วยป้องกันโรคของระบบหลอดเลือดและหัวใจ ช่วยป้องกันการสูญเสียเนื้อเยื่อกระดูกหรือภาวะกระดูกพรุนเป็นต้น (นฤมล สู่วงศ์บุตร, 2544)

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ต่อน้ำหนักแห้งของโอคารา

โปรตีน	ไขมัน	ใยอาหาร	คาร์โบไฮเดรต	อ้างอิง
25.4-28.4	9.3-10.9	52.8-58.1	3.8-5.3	Van der Reit *et al.* (1989)
26.8±1.0	22.3±1.5	-	-	Guermani *et al.* (1992)
26.8	12.3	-	52.9	Ma *et al.* (1996)

ที่มา : O'Toole. (1999)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของโอคารา

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)
โปรตีน (N× 5.71)	28.00
ไขมัน	9.30
คาร์โบไฮเดรต	50.00
แร่ธาตุ (มิลลิกรัม/100กรัม)	
แคลเซียม	260
แมกนีเซียม	163
เหล็ก	6
โพแทสเซียม	1046
วิตามิน(มิลลิกรัม/100กรัม)	
ไรโบฟลาวิน	0.59
ไทอามิน	0.04
ไนอาซิน	1.01

ที่มา : Khare และคณะ. (1995)

2.1.2 การใช้ประโยชน์จากโอคารา

การใช้ประโยชน์จากโอคารา สามารถนำไปใช้ได้หลายทาง ได้แก่

2.1.2.1 ด้านการหมัก

เนื่องจากโอคารามีความชื้นสูง และยังคงคุณค่าทางอาหารจึงทำให้เน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นจึงมักมีการใส่เชื้อจุลินทรีย์ลงไปในโอคาราสดเพื่อให้เกิดการหมักที่มีประโยชน์ เช่นในงานวิจัยของ Kittikun และ Tani. (1986) ได้นำโอคาราที่เหลือจากการผลิตเต้าหู้มาหมักกับเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการผลิตเอนไซม์ไลเปส (lipase)

Akihiro และคณะ (1993) นำโอคารามาหมักกับเชื้อ *Bacillus subtilis* NB22 เพื่อผลิตอิทยูริน (Iturin) ซึ่งเป็นแอนติฟังกอล เปปไทด์ แอนติไบโอติก (Antifungal Peptide Antibiotic) โดย

ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะผลิตได้มากที่สุด ต่อมา Akihiro และคณะ (1995) ได้นำโอคารามาหมักกับเชื้อ *Bacillus subtilis* RB14 เพื่อให้ผลิตอิทยูริน เอ (Iturin A) และเซอเฟกติน (Surfactin) โดยใช้อุณหภูมิในการเลี้ยงต่างกันได้แก่ 25 30 37 42 และ 48 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิต่ำจะผลิตได้มากที่สุด และ Akihiro และคณะ (1996) ได้นำโอคาราที่เหลือจากการผลิตเต้าหู้มาใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ *Bacillus subtilis* NB2 เนื่องจากโอคารามีสารอาหารที่มีประโยชน์ จึงใช้เป็นซับสเตรท (substrate) สำหรับการหมักของเชื้อได้ดี เพื่อให้เชื้อผลิตอิทยูริน เอ ลิโปเปปไทด์ แอนติฟังกอล แอนติไบโอติก (Iturin A lipopeptide antifungal antibiotics) ซึ่งจะเป็นสารช่วยยับยั้งเชื้อโรคที่ทำให้เกิดโรคกับพืช ในปัจจุบันนิยมใช้กับมะเขือเทศและเมลอน

Khare และคณะ (1995) รายงานว่า สามารถนำโอคารามาใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อของ *Aspergillus niger* เพื่อให้เกิดการหมักและสร้างกรดซิตริกขึ้นมา เมื่อหมักที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส pH 8.3 จะสามารถผลิตกรดได้ 5-10 กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง

Yokata และคณะ (1996) ได้นำโอคารามาหมักกับเชื้อ *Bacillus natto* ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตครูด แอนติ้ออกซิแดนท์ พรีแพเรชั่น เอนทีเอ็กซ์ (crude antioxidant preparation NTX) เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ ช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อที่อักเสบและบวมจากโรคฟูต อีเดอมา (foot edema)

2.1.2.2 การสกัดสารที่มีประโยชน์จากโอคาราสด

เนื่องจากโอคาราสดมีองค์ประกอบของสารต่าง ๆ ที่มีประโยชน์ ดังนั้นจึงมีการสกัดสารที่มีประโยชน์ออกมา เช่น

Khare และคณะ (1994) ได้นำโอคาราที่เหลือจากการผลิตนมถั่วเหลืองมาผลิตเป็นซิงเกิลเซลล์ โปรตีน (single cell protein)

Yamaguchi และคณะ (1996) ได้นำโอคาราที่เหลือจากการผลิตเต้าหู้ 30 กรัม มาสกัดเอาเพคติก โพลีแซคคาไรด์ (pectic polysaccharides) ได้ 6.74 กรัม โดยใช้สารละลายโซเดียม เฮกซะมาทาฟอสเฟต (sodium hexamataphosphate) ในการแยกสารต่าง ๆ ด้วยดีอีเออี เซลลูโลส โครมาโตกราฟฟี (DEAE cellulose chromatography)

2.1.2.3 การสกัดโปรตีนจากโอคาราสด

การผลิตโปรตีนสกัดจากโอคาราจะใช้สารละลายด่าง (pH 7-10) เพื่อสกัดโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำ ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำสามารถแยกออกโดยการเหวี่ยงเพื่อให้ส่วนคาร์โบไฮเดรตนั้นตกตะกอนออกมา จากนั้นจะนำสารละลายที่แยกได้มาตกตะกอนโปรตีนที่ไอโซอิเลคติกพอยน์ (isoelectric point) pH 4.5 และแยกส่วนโปรตีนที่ตกตะกอนโดยใช้เมคานิคอล ดีแคนนิ่ง (mechanical decanting) จากนั้นจะล้างตะกอนและทำให้เป็นกลางโดยมี pH

ประมาณ 6.8 -7.0 และทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูง มีกลิ่นถั่วน้อยมากและหากผลิตโปรตีนโดยไม่มีการปรับให้เป็นกลางภายหลังการตกตะกอนโปรตีนและล้างโปรตีนจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปไอโซอิเลคติก ฟอร์ม (isoelectric from) (ณัชชา สุพิชญางกูล, 2545)

Ma และคณะ (1997) ได้ศึกษากระบวนการเตรียมโปรตีนไอโซเลตจากโอคาราโดยการตกตะกอนที่ไอโซอิเลคติก พอยน์ แล้วนำไปศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไอโซเลต เมื่อทดลองสกัดโปรตีนจากโอคาราที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการสกัดโปรตีนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณโปรตีนที่ได้มากถึง 53.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการสกัดที่ 25 องศาเซลเซียส ได้โปรตีนเพียง 14.1 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าที่ pH 9.0 โปรตีนสามารถละลายออกจากโอคาราได้มากที่สุด

ณัชชา สุพิชญางกูล (2545) ได้ผลิตโปรตีนไอโซเลตจากโอคาราแห้งที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลือง ที่มีความชื้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าเมื่อสกัดโปรตีนที่ pH 9.0 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โปรตีนที่สกัดได้มีน้อยมากจนไม่สามารถตกตะกอนได้ที่ isoeletric point เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของโปรตีนที่ได้จากโอคาราสดในระยะเวลาสกัด 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง

2.1.2.4 การนำโอคารามาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

การประยุกต์ใช้โอคาราในอาหารยังไม่เป็นที่แพร่หลาย โอคาราที่ใช้ในอาหารจะมีประโยชน์ในด้านการเพิ่มเส้นใยให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ดังเช่นในงานวิจัยของ

Rujirej (2001) ได้พัฒนาสูตรขนมอบเสริมใยอาหารจากโอคารา ได้แก่ คุกกี้ บราวนี่ และเค้ก โดยใช้โอคาราอบแห้ง และโอคาราพร่องไขมันอบแห้ง เมื่อทำการวิเคราะห์โอคาราทั้งสองชนิด พบว่ามีประมาณใยอาหารทั้งหมด 38.3 เปอร์เซ็นต์ และ 42.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตามลำดับ โดยใยอาหารส่วนใหญ่คือใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ สำหรับความสามารถในการอุ้มน้ำพบว่าโอคาราทั้งสองชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากันคือ 4.02 กรัมของน้ำต่อกรัมของโอคารา เมื่อนำโอคาราอบแห้งและโอคาราอบแห้งพร่องไขมันมาทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในคุกกี้ บราวนี่ และเค้ก พบว่าสามารถทดแทนได้ 30 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่การเติมใยอาหารจากโอคาราอบแห้งและโอคาราอบแห้งพร่องไขมันมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น

ยุพร พืชกมุทร (2548) ทดลองใช้โอคาราสดที่ได้จากการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองที่เลียนแบบการผลิตในครัวเรือนในการผลิตขนมทองม้วน พบว่าสามารถใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเป็น 12.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนผสม ขนมทองม้วนที่ผลิตจากกากถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนและเส้นใยสูงกว่าขนมทองม้วนสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลี

ยุพร พืชกมุทร และกานดา แซ่จิว (2548) ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีในการผลิตคุกกี้ พบว่ากรณีของโอคาราสดทดแทนแป้งสาลีได้สูงสุด 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโอคาราแห้งทดแทนแป้งสาลีได้สูงสุด 30 เปอร์เซ็นต์ ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของคุกกี้โดยทดลอง

เติมน้ำพบว่าการเติมน้ำที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คุกกี้มีความแข็งลดลงมีคะแนนการยอมรับสูงขึ้น ส่วนสูตรที่ใช้โอคาราแห้งพบว่า การเติมน้ำ 10 เปอร์เซ็นต์ จะได้คะแนนการยอมรับดีที่สุด อย่างไรก็ตามคุกกี้ที่ผลิตจากโอคาราแห้งจะมีปัญหากลิ่นหืนเมื่อเก็บรักษาไว้

2.2 ขนมปัง

ขนมปังใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากแป้งสาลีมีคุณสมบัติเฉพาะที่แป้งอื่นไม่มี คือ แป้งสาลีจะประกอบไปด้วยโปรตีนที่สำคัญ 2 ชนิด คือ ไกลอะดิน (Gliadin) และ กลูเตนิน (Glutenin) ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อนำแป้งสาลีผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว จะเกิดสารที่มีลักษณะหยุ่น เหนียว ยืดเป็นยาง เรียกว่า กลูเตน (Gluten) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นร่างแห สามารถเก็บกักก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักได้ ทำให้เกิดโครงร่างที่ยืดหยุ่น และผลิตภัณฑ์ที่อบได้จะมีลักษณะเหมือนฟองน้ำ ไกลอะดินเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความยืดมาก แต่มีสภาพยืดหยุ่นน้อย ละลายได้ในแอลกอฮอล์ ส่วนกลูเตนินเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความยืดน้อย แต่มีสภาพยืดหยุ่นมาก ละลายได้ในกรดหรือเบส เมื่อรวมกันเป็นกลูเตนแล้วจะได้ลักษณะที่เหมาะสม มีความยืดหยุ่นพอดี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540)

2.2.1 ประเภทของขนมปัง

โดยทั่วไปแล้วขนมปังสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

2.2.1.1 ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังอิตาเลียน และขนมปังเวียนนา ขนมปังทั้ง 3 ประเภททำจากโดที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า 0-3 เปอร์เซ็นต์ โดของขนมปังประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมเหมือนกัน แป้งที่ใช้ทำขนมปังชนิดนี้จะต้องเป็นแป้งที่มีปริมาณกลูเตนสูง เพื่อที่จะสามารถทนทานต่อการหมักได้นาน ทนต่อการพักตัว และการขึ้นฟูของโดในระยะแรกของการอบ

2.2.1.2 ขนมปังปอนด์หัวกะโหลกและแซนด์วิช เป็นขนมปังที่ชาวอเมริกันนิยมบริโภคกันมาก เพราะมีเนื้อขนมปังขาวนุ่ม ทำจากโดที่มีปริมาณไขมัน 3-6 เปอร์เซ็นต์ ถ้าใช้พิมพ์ขนมปังธรรมดาจะเป็นขนมปังหัวกะโหลก แต่ถ้าใช้พิมพ์ที่มีฝาปิดข้างบนจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ซึ่งนิยมนำมาทำเป็นแซนด์วิชจึงเรียกว่าขนมปังแซนด์วิช มีขั้นตอนการทำอย่างง่ายคือ นำส่วนผสมทั้งหมดนวดผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที นำโดที่ได้ไปพักเป็นเวลา 30-45 นาที หลังจากนั้นนำมาคลึงไล่อากาศออกนำใส่พิมพ์ที่ทาเนยขาวไว้แล้วพักต่ออีก 30 นาที จึงนำไปอบ

2.4.1.3 ขนมปังเนื้อนุ่ม (Soft Rolls หรือ Soft Buns) เป็นขนมปังที่ทำจากโดที่มีน้ำตาลและไขมันสูง ปกติจะทำจากโดที่มีน้ำตาลและไขมันมากกว่า 2 ชนิดแรก คือมีไขมัน 6-12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณไข่อาจเพิ่มขึ้น หรืออาจไม่ใช้ไข่ก็ได้ ใช้แป้งสาลีที่มีความแข็งปานกลาง คือ

กลูเตน ไม่แข็งแรงมาก ขนมปังอบที่ได้จะมีรสหวาน นุ่ม มีเนื้อละเอียด เช่น แฮมเบอร์เกอร์ ฮอทดอก

2.4.1.4 ขนมปังหวาน (Sweet Dough) โดที่ทำขนมปังหวานจะต้องมีสูตรของส่วนผสมที่เข้มข้นกว่าโดที่ทำจากขนมปังจืด โดยมีปริมาณน้ำตาล นม ไขมัน และไข่สูงกว่าขนมปังจืด จะมีไขมัน 12-24 เปอร์เซ็นต์ ขนมปังหวานจากสูตรพื้นฐานเพียงสูตรเดียว สามารถดัดแปลงให้เกิดขนมปังหวานมากมายหลายชนิด โดยการปั้นให้มีรูปร่างและขนาดต่างกัน ใส่ไส้ชนิดต่าง ๆ แป้งที่ใช้อาจใช้แป้งสาลีชนิดแข็ง และแป้งสาลีอเนกประสงค์ เช่นเดียวกับไส้ต่าง ๆ (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541)

2.2.2 ส่วนผสมของขนมปัง

ส่วนผสมของขนมปังประกอบด้วยแป้งสาลีโปรตีนสูง เรียกทั่วไปว่าแป้งสาลีชนิดทำขนมปังผสมกับน้ำ ยีสต์ และเกลือ ทั้ง 4 อย่างนี้ จัดเป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งจำเป็นต้องมีในสูตรขนมปังทั่วไป นอกจากนั้น อาจใส่สารอื่นเพื่อปรับปรุงลักษณะของขนมปังให้แตกต่างออกไปตามความต้องการของผู้บริโภค ได้แก่ ไขมัน แป้งมอลต์ แป้งถั่วเหลือง ธัญชาติอื่น ๆ อาหารยีสต์ สารที่ทำให้น้ำกับน้ำมันเข้ากันได้ (Emusifiers) น้ำนมและผลิตภัณฑ์จากนม ผลไม้ และกลูเตน เป็นต้น

2.2.2.1 แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง เป็นแป้งสาลีจากข้าวสาลีโม่ธรรมดาชนิดแข็งมีโปรตีนสูง 12-24 เปอร์เซ็นต์ ในบางประเทศ อาจใช้แป้งสาลีชนิดดูรัมโปรตีนสูง เพื่อทำเป็นขนมปังชนิดแบนแบบอาหรับ แต่โดยทั่วไปแล้วแป้งที่ใช้จะมีสีขาวนวล มีความชื้นไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์ เป็นแป้งสาลีที่ดูดน้ำได้มาก (60-65 เปอร์เซ็นต์) มีเถ้า 0.40-0.50 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีน 10-16 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมวัดได้จากเครื่องฟาริโนกราฟและเอกซ์เทนซิกราฟ ส่วนปริมาณเอนไซม์ในแป้งวัดได้จากเครื่องอะมิโลกราฟ ทำให้ทราบถึงลักษณะคุณภาพของแป้งที่เหมาะสมในการทำขนมปังแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปบ้าง

หน้าที่ของแป้งสาลีในขนมปังคือเป็นโครงร่างที่สำคัญ มีความยืดหยุ่นในขณะผสม ขึ้นฟูขณะหมัก และเมื่อสุกจะแข็งตัวเป็นโครงร่างของขนมปัง เนื้อนุ่มเหนียวต่อการเคี้ยว โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีในแป้งสาลีที่สำคัญคือ สตาร์ชและกลูเตน รวมทั้งองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ไขมัน เพนโตแซน น้ำตาล และอื่น ๆ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อผสมแป้งกับน้ำ ยีสต์ และเกลือเข้าด้วยกันจนเป็นโด

2.2.2.2 น้ำ เป็นส่วนผสมหลักที่สำคัญและมีผลต่อลักษณะของโดโดยตรง กล่าวคือโดจะมีความนุ่ม ยืดหยุ่น ไม่ติดมือ ถ้าน้ำที่ใช้เป็นน้ำกระด้างปานกลางซึ่งมีแร่ธาตุบางชนิดปนอยู่อย่างเหมาะสมจะช่วยให้โดมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นตัวดี ถ้าน้ำกระด้างมากหรือ

ถาวรจะทำให้โดแข็งเกินไป ส่วนน้ำอ่อนก็มีผลทำให้โดนุ่มเกินไปและอาจติดมือง่าย ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของน้ำก่อนนำไปใช้ทำขนมปังจึงจำเป็น เพื่อการปรับปรุงแก้ไขให้สภาพน้ำเหมาะสมโดยใช้เกลือและอาหารยีสต์ ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ถ้าน้ำอ่อนมากก็ควรเพิ่มเกลือและอาหารยีสต์ในสูตร แต่ถ้าน้ำกระด้างมากก็ลดเกลือลดอาหารยีสต์และเพิ่มปริมาณยีสต์ พร้อมทั้งใช้เวลาในการหมักนานขึ้นเป็นต้น โดยปริมาณน้ำที่เติมในสูตรจะอยู่ในช่วง 55-56 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของขนมปัง

กล่าวได้ว่า น้ำมีผลต่อการทำขนมปังมาก เริ่มจากทำหน้าที่ละลายเกลือ ยีสต์ หรือส่วนผสมอื่น ๆ ให้สามารถผสมเข้าไปในเนื้อโดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากการนวดแป้งกับน้ำจนกลายเป็นโด จะมีกลูเตนเกิดขึ้น ให้มีความยืดหยุ่นดี มีอุณหภูมิของโดที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ ซึ่งทำงานได้เนื่องจากน้ำผสมกับส่วนผสมทำให้เอนไซม์ทำงานจนเกิดก๊าซทำให้โดพองฟูขึ้นขณะหมักเมื่อนำเข้าอบ น้ำจะมีส่วนให้สตาร์ชเกิดเจลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กลูเตนขยายตัว และส่วนอื่นเปลี่ยนสภาพจากดิบเป็นสุก และคงรูปร่างของขนมปัง กล่าวคือ ถ้าเก็บขนมปังในภาชนะบรรจุที่ไม่เหมาะสม จะทำให้ขนมปังแห้งจากการระเหยของน้ำออกจากภายในเนื้อขนมปัง หรือขนมปังแฉะจนขึ้นราเพราะมีความชื้นในเนื้อขนมมากเกินไป ก็จะทำให้ขนมปังนั้นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2.2.2.3 เกลือ เติมลงในส่วนผสมของขนมปัง เพื่อทำให้ขนมปังมีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ช่วยทำให้กลูเตนแข็งแรงและคงทนเพิ่มขึ้น ทำให้โดไม่แฉะ มีส่วนในการควบคุมการทำงานของยีสต์ให้ช้าลง มีการหมักนานขึ้น ทำให้ขนมปังขึ้นฟูสม่ำเสมอและมีโครงร่างดี

2.2.2.4 ยีสต์ เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharomyces cerevisiae* หรือเรียกทั่วไปว่า ยีสต์สำหรับช่างทำขนมอบ (Baker's yeast) ซึ่งมีหน้าที่หลักในส่วนผสมขนมปัง 3 อย่างคือ ช่วยทำให้เกิดก๊าซภายในโด ปรับสภาพโดให้เหมาะสม และให้กลิ่นรสแก่ขนมปัง ยีสต์ที่ผสมอยู่ในโดจะเริ่มเติบโตเนื่องจากมีน้ำและอากาศจากการผสม และมีอาหารคือ น้ำตาล และสารอาหารอื่นจากโด ทำให้ยีสต์เพิ่มจำนวนมากขึ้น พร้อมกันนี้เอนไซม์ต่าง ๆ ในยีสต์จะแปรสภาพจากสารอาหาร โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาลให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอลกอฮอล์ และพลังงาน

โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ จะอยู่ในสภาพที่ไม่มีอากาศ เรียกว่า กระบวนการหมัก ซึ่งเป็นผลให้ภายในโดมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดันให้โดพองตัวขึ้นจากเดิมหลายเท่า ในขณะเดียวกันก็ปรับสภาพให้โดยืดตัว มีก๊าซแทรกอยู่ พร้อมทั้งให้กลิ่นหมักของแอลกอฮอล์ร่วมกับกลิ่นอื่น ๆ เมื่อนำโดเข้าเตาอบ ขณะที่ความร้อนยังไม่แผ่กระจายเข้าสู่โดมากนัก ยีสต์จะยังทำงาน

เป็นเหตุให้โดขึ้นฟูในเตาอบอีกระยะหนึ่ง จนในที่สุด ความร้อนกระจายทั่วก้อนโด ทำให้ยีสต์ตาย และขนมปังยังคงรูปร่างขึ้นฟูพร้อมกับมีกลิ่นหมัก กลิ่นยีสต์ และสารอื่น ๆ เป็นกลิ่นเฉพาะของขนมปังที่ผู้บริโภคพอใจ

2.2.2.5 น้ำตาล เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายน้ำได้ดี น้ำตาลมีหน้าที่ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์ เป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่ได้นาน ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีที่ดี

2.2.2.6 ไขมัน เป็นส่วนผสมที่ช่วยในการหล่อลื่นกลูเตนให้ยืดหยุ่นและเก็บก๊าซได้อย่างเหมาะสม ทำให้เนื้อขนมปังนุ่ม มีเซลล์บาง มีปริมาตรมากขึ้น และให้กลิ่นรสที่ดีของขนมปัง ไขมันที่นิยมใส่ขนมปัง ได้แก่ เนยขาว (Shortening) เนยสด และมาการีน (เนยเทียม) (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541)

2.2.3 กรรมวิธีการผลิตขนมปัง

2.3.3.1 การผสม เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดี และเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นของโด สำหรับวิธีผสมมี 2 แบบ คือ แบบผสมครั้งเดียว และแบบผสมสองครั้ง โดยการผสมครั้งเดียวจะผสมส่วนผสมทั้งหมดรวมกันทีเดียว จนได้ลักษณะโดที่ดี ดังนั้นคำว่า “โด” จึงหมายถึงส่วนผสมแป้งกับน้ำรวมกับส่วนผสมอื่นจนเข้ากันดี มีลักษณะที่ยืดหยุ่นได้นั้นเอง และการผสมสองครั้งจะแบ่งการผสมเป็นสองครั้ง คือ ครั้งแรกจะผสมแป้งส่วนใหญ่กับน้ำและยีสต์ เพื่อให้เข้ากันเท่านั้นแล้วหมักทิ้งไว้เรียกส่วนนี้ว่า ส่วนสปันจ์ ซึ่งใช้เวลาหมักประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วจึงทำการผสมครั้งที่สอง โดยผสมส่วนสปันจ์รวมกับแป้งที่เหลือ และส่วนผสมอื่นจนได้โดที่เรียบเนียนเช่นเดียวกับการผสมครั้งเดียว

2.3.3.2 การหมัก เพื่อให้ก้อนโดเกิดการพองตัวเนื่องจากเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น เพราะยีสต์ในส่วนผสมเกิดการเจริญเติบโต และเปลี่ยนองค์ประกอบของสารอาหารในแป้งบางส่วนข้างในเป็นก๊าซดังกล่าวมีผลให้ก้อนโดขยายตัวขึ้นเป็นสองเท่า จึงจำเป็นต้องไล่ลมหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากโดก่อนที่ก้อนโดจะใหญ่เกินไปจนแตกเอง และการไล่ลมนี้อาจจะทำครั้งเดียวในช่วงการหมัก หรือสองครั้งก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของขนมปัง

2.3.3.3 การตัดแบ่งก้อนโด เพื่อให้ได้ก้อนโดที่มีขนาดเท่ากันตามลักษณะของชนิดขนมปัง เมื่อตัดแล้วต้องปั้นให้เป็นก้อนกลมอีกครั้ง เพื่อให้คลุมก๊าซอยู่ภายในได้

2.3.3.4 การพักโดระยะสั้น ให้โดได้พักคลายตัว หลังจากตัดและปั้นกลม จะได้สามารถปั้นเป็นรูปต่างๆ ได้ง่ายตามความต้องการ เมื่อพักได้ประมาณ 8-12 นาทีแล้ว จึงทำการปั้นก้อนโดเพื่อนำลงพิมพ์

2.3.3.5 การใส่พิมพ์ เพื่อให้ขนมมีรูปร่างและขนาดเท่ากันและสุกอย่างสม่ำเสมอ โดยนำก้อนโดที่ปั้นเป็นรูปร่างแล้วใส่ลงพิมพ์ที่ทาเนยขาว เพื่อไม่ให้ขนมปังติดพิมพ์เมื่อสุก

2.3.3.6 การพักโดก่อนอบ มีจุดประสงค์เพื่อให้ขนมปังได้หมักอีกจนขนมขึ้นเกือบเต็มพิมพ์

2.3.3.7 การอบ เพื่อให้ขนมปังสุก มีกลิ่นรสชวนรับประทาน จะใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง180-220 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของขนมปัง (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล , 2541)

2.2.4. การเสื่อมเสียของขนมปัง

2.2.4.1 การเสื่อมเสียจากเชื้อรา ลักษณะที่เห็นได้ชัดเจนคือ เห็นมีเชื้อราอยู่บนขนมปัง โดยเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ ถ้าหากสุขลักษณะในการผลิตขนมปังและการเก็บรักษาไม่ดีพอ โดยเชื้อราสามารถเจริญได้ในที่ที่มีความชื้นต่ำกว่าที่พวกแบคทีเรียและยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ แต่เชื้อราจะไม่สามารถเจริญได้ในสภาพที่มีความเป็นกรด

ขนมปังมีลักษณะที่เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อใดก็ตามที่ขนมปังสัมผัสกับบรรยากาศและถ้าหากความชื้นภายในบรรยากาศมีสูง เชื้อราก็จะเจริญเติบโตเร็วยิ่งขึ้น แต่ถ้าหากความชื้นภายในบรรยากาศต่ำ เชื้อราก็จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่สปอร์ก็อาจจะเกาะอยู่บนผิวก้อนของขนมปัง ดังนั้นขนมปังที่เก็บรักษาในสภาพที่แห้งและสะอาดก็จะสามารถป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราได้

2.2.4.2 การเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย การเน่าเสียจะเห็นได้ชัดคือภายในเนื้อของขนมปังจะมีลักษณะเหนียว และสีจะเปลี่ยนไปจากเดิม นอกจากนั้นกลิ่นยังมีลักษณะคล้ายกับสับปะรดเน่า การเน่าเสียดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากขนมปังมีเชื้อแบคทีเรียปะปนอยู่ และสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถทนต่อการความร้อนในเตาอบได้ ดังนั้นเชื้อแบคทีเรียจะเจริญเติบโตภายในขนมปังและจะทำลายสารพวกโปรตีนและสตาร์ชภายในขนมปัง ทำให้เนื้อของขนมปังเปลี่ยนสีและมีกลิ่นเน่า ระยะเวลาหลังจากขนมปังออกจากเตาอบจนเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวประมาณ 12-36 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียที่ปะปนอยู่

ลักษณะทางกายภาพ ที่แสดงให้ทราบว่าขนมปังนั้นเกิดการเน่าเสียมีลักษณะดังนี้

-มีกลิ่นและรสผิดปกติคล้ายๆกับสับปะรดที่สุกเกินไป

-เนื้อภายในขนมปังจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หรือสีดำ

-เนื้อภายในขนมปังจะมีลักษณะเหนียว

-สีของเปลือกนอกของขนมปังจะมีสีแดง

2.2.4.3 การแห้งของขนมปัง ขนมปังจะมีคุณภาพที่ดีที่สุดหลังจากที่นำออกจากเตาอบประมาณ 2-3 ชั่วโมง ซึ่งมีลักษณะสดและนิ่ม แต่เป็นไปไม่ได้ที่ทุกคนจะซื้อหาขนมปังใหม่ ๆ ได้นอก จากผู้ที่อยู่ใกล้กับร้านหรือโรงงานผลิตขนมปังเท่านั้น ดังนั้นผู้บริโภคขนมปังส่วนใหญ่จะต้องซื้อขนมปังที่มีอายุมากกว่า 1 วัน ดังนั้นสาเหตุที่ทำให้ขนมปังด้อยคุณภาพลงจึงมาจากการแห้งของขนมปัง

วิธีการทดสอบว่าขนมปังแห้งหรือไม่นั้นทำได้ง่าย โดยการหั่นขนมปังออก แล้วใช้นิ้วหัวแม่มือกดเบา ๆ ถ้าหากขนมปังนิ่มแสดงว่า ขนมปังไม่แห้ง และถ้าหากกดลงไปได้เล็กน้อยแสดงว่าขนมปังแห้ง ส่วนการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ทดสอบการแห้งของขนมปังนั้นไม่ค่อยได้ใช้กัน แต่การค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับการป้องกันการแห้งนั้นมีอยู่มากมาย สำหรับสาเหตุที่ทำให้ขนมปังแห้งมีอยู่ 2 ประการคือ

การสูญเสียความชื้น โดยทั่วไปแล้วขนมปังที่อยู่ในสภาพดีนั้น จะมีความชื้นอย่างต่ำ 30 เปอร์เซ็นต์แต่ขนมปังออกจากโรงงานจะมีความชื้นประมาณ 40-45 เปอร์เซ็นต์ ขนมปังสามารถจะดูดซึมน้ำในบรรยากาศได้ถ้าหากบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เกิน 70 เปอร์เซ็นต์และขนมปังจะสูญเสียความชื้นได้ถ้าหากในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นขนมปังมีโอกาสที่จะสูญเสียความชื้นไปมากกว่า ผิดกับคุกกี้ซึ่งมีความชื้นประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีโอกาสที่จะดูดความชื้นในบรรยากาศได้มาก ขนมปังที่มีความชื้นสูงในตอนแรกโดยเฉพาะในเนื้อขนมปังนั้น สามารถจะเก็บได้หลายวัน แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่าความชื้นในก้อนขนมปังนั้นสูงเพราะถ้าหากเป็นเช่นนี้แล้วจะเกิดการเน่าเสียเร็วขึ้นโดยเฉพาะเกิดจากเชื้อรา

การป้องกันหรือยืดอายุของการแห้งนั้นมีองค์ประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ควรใส่น้ำให้มากที่สุดในขณะทำการผสมแป้ง และควรใช้แป้งชนิดโปรตีนสูง ทั้งนี้เพื่อให้การดูดซับน้ำดำเนินไปด้วยดี แต่การใส่น้ำจะต้องระวังไม่ควรจะให้มากเกินไปเพราะจะทำให้โดเหนียว แต่ถ้าหากโดเหนียวก็สามารถแก้ไขได้เช่น ใช้ลมเป่าที่โดในขั้นการม้วนโดเพื่อให้ผิวนอกของโดแห้งเล็กน้อย ใช้สารเคมีบางอย่างเช่น ฟลูออน โดยใส่สารนี้ลงบนลูกกลิ้ง ซึ่งรีดโดให้เป็นแผ่นบางๆ

การเพิ่มน้ำนับเป็นสิ่งที่จำเป็น โดยเฉพาะการผสมโดยใช้เครื่องผสม ซึ่งการผสมเป็นไปอย่างทั่ว ถึงทำให้คุณภาพของโดดีขึ้น

2) ระยะเวลาในการอบควรจะสั้น ทั้งนี้เพื่อให้แป้งภายในก้อนขนมปังเกิดการสุกและทำให้ได้ผิวของขนมปังบาง ๆ พยายามรักษาความชื้นภายในเตาอบให้สูงเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นภายในขนมปัง โดยปกติแล้วเวลาที่ใช้ในการอบขนมปังประมาณ 24 นาที

3) การทำให้ขนมปังเย็นอย่างถูกต้อง ขนมปังที่ออกจากเตาอบใหม่ ๆ จะมีอุณหภูมิสูง เมื่อกระทบกับอากาศที่เย็นกว่า ไอน้ำในขนมปังจะระเหยออกสู่บรรยากาศ การสูญเสียความชื้นจะมากหรือน้อยนั้นย่อมขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในขณะนั้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงการสูญเสียความชื้นก็จะน้อย แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำการสูญเสียก็จะมาก ดังนั้นเพื่อความสะอาดควรจะมีห้องพิเศษสำหรับทำให้ขนมปังเย็น โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องนั้นให้ดี ควรจะให้อากาศภายในห้องนั้นมีการหมุนเวียนอยู่เสมอ ปกติแล้วห้องที่ทำให้ขนมปังเย็นจะมีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาฟาเรนไฮต์ และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

การแห้งเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี ในปัจจุบันยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด แต่เชื่อกันว่าการแห้งของขนมปังเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภายในขนมปังอย่างช้า ๆ โดยเฉพาะส่วนประกอบของแป้ง โดยในระหว่างการอบ แป้งทั้งหมดจะเกิดเป็นเจลและคุณสมบัติของเจลจะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าหากเก็บรักษาขนมปังที่อุณหภูมิสูงกว่า 131 องศาฟาเรนไฮต์ (55 องศาเซลเซียส) แต่ถ้าหากเก็บขนมปังต่ำกว่าอุณหภูมิดังกล่าว เจลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยจะแข็งขึ้น เมื่อเจลแข็งขึ้นจะขับน้ำออกจากเจล กระบวนการนี้จะเปลี่ยนไปรวดเร็วขึ้นถ้าหากอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิดังกล่าวมาก ๆ นอกเสียจากว่าหลังจากขนมปังออกจากเตาแล้วนำไปทำให้เย็นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 23 องศาฟาเรนไฮต์ (-5 องศาเซลเซียส) การเปลี่ยนแปลงนี้จะมีน้อยมาก หากนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสอีกครั้งหนึ่ง

ในการหมักแป้งหรือผสมโดไม่ถูกต้องและการหมักที่เร็วหรือนานเกินไปก็จะมีผลให้เกิดการแห้งมากขึ้น

การแห้งเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีสามารถป้องกันได้โดยการใช้สารเคมีบางอย่างเพื่อชะลอการแห้งที่จะเกิดขึ้นกับขนมปัง โดยใช้ กลีเซอรีนโมโนสเทียเรต (GMS) หรือสเทียรีลทาเทรตประมาณ 100 กรัมต่อแป้ง 100 กิโลกรัม เป็นต้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541)

2.2.5 การผลิตขนมปังที่ใช้วัตถุดิบอื่นทดแทนแป้งสาลี

Nishita และคณะ (1976) ทดลองผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้สารยึดเกาะ (Binding agent) เข้ามาช่วยให้เกิดโครงร่างของขนมปังและช่วยในการขึ้นฟู สารยึดเกาะที่ใช้ ได้แก่ไฮดรอกซีโพรพิลเมธิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl methyl cellulose, Methocel, HPMC) โลคัส บีน กัม (Locust bean gum) คาราจีแนน (Carrageenan) แซนแทนกัม (Xanthan gum) พบว่า HPMC เท่านั้นที่ให้ผลดี ส่วนสารยึดเกาะตัวอื่นทำให้ปริมาตรขนมปังต่ำ

Nishita และ Bean (1979) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของขนมปัง พบว่าข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีอะไมโลสต่ำและมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำคือมีอะไมโลสน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิแป้งสุกต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส จะให้ข้าวสุกที่เหนียวนุ่ม เมื่อนำมาผลิตขนมปังจะให้เนื้อสัมผัสที่ดี

Ylimaki และคณะ (1998) พบว่า HPMC และ คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (Carboxy methylcellulose, CMC) ร่วมกันได้ในระดับหนึ่ง โดยใช้แป้งข้าวเจ้าเมล็ดยาวปานกลางบดละเอียดที่มีอะไมโลส 22.1 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิแป้งสุก 64.5 องศาเซลเซียส นำมาผลิตขนมปังให้เนื้อสัมผัสที่ดี

สุนทร สหัสโพธิ์ (2533) ได้ทดลองใช้สารยึดเกาะได้แก่ กัม กลูเตนผง และกัมเสริมกลูเตนผงในขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าชนิดโม่แห้ง พบว่ากัมเสริมกลูเตนผงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารยึดเกาะในการผลิตขนมปังจากแป้งข้าวเจ้า พบว่าสามารถเติมได้ในอัตรา 30 กรัม ต่อแป้งข้าวเจ้า 100 กรัม ปริมาณน้ำที่ใช้คือ 80 มิลลิกรัม เมื่อนำไปอบแล้วจะได้ขนมปังที่ปริมาตรสูงเต็มพิมพ์ เปลือกนอกสีน้ำตาลเข้ม ผิวบนเรียบไม่แตก เนื้อในนุ่มเหนียว มีลักษณะคล้ายขนมปังจากแป้งสาลี

Noomhorm และคณะ (1994) ศึกษาผลของการใช้แป้งข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ของไทยทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง โดยใช้ข้าวพันธุ์ กข 21 กข 23 และเหลืองประทิว ทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าพันธุ์และปริมาณของแป้งข้าวมีผลต่อปริมาตรและคะแนนความชอบรวมของขนมปัง สามารถใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์กข 21 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกต่ำทดแทนแป้งสาลีได้ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ผู้บริโภคยอมรับได้

Dervas และคณะ (1999) ทดลองใช้แป้งจากผลลูปิน (*Lupinus albus ssp.* Graecus) ทดแทนในปริมาณ 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าสามารถทดแทนได้ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ผู้บริโภคยังคงให้การยอมรับ

Shfali และ Sudesh (2002) ทดลองใช้แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน และแป้งข้าวบาร์เล่ย์ทดแทนแป้งสาลีในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง พบว่าการใช้แป้งข้าวบาร์เล่ย์ 15 เปอร์เซ็นต์ กับแป้งถั่วเหลือง 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมในการทดแทน

ภานุมาศ รุ่งเรืองอารี (2541) ได้ศึกษาการใช้แป้งข้าวเจ้าโม่เปียกที่มีอะไมโลสร้อยละ 24.6 ร่วมกับแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์ในการผลิตขนมปังแป้งข้าวเจ้า และเสริมโปรตีนโดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร่วมกับโปรตีนจากแป้งข้าวเจ้าในการผลิตขนมปัง พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวพรีเจลาติไนซ์ทดแทนแป้งข้าวเจ้าได้ในสูตร 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม HPMC (Methocel, E4M) 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเสริมโปรตีนในขนมปังแป้งข้าวเจ้า พบว่า การใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองสกัด 5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับโปรตีนข้าวเจ้า 10 เปอร์เซ็นต์แทนที่แป้งข้าวเจ้าเป็นระดับที่เหมาะสม จะได้

ขนมปังที่ได้มีเนื้อนุ่มเหนียว เปลือกแห้งร่วน ไม่มีกลิ่นสาบ ได้ก้อนขนมปังที่สมบูรณ์ไม่มีรอยแตก

พรวีนัส ปั้นหยา (2544) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ โดยสามารถใช้แป้งข้าวแทนที่แป้งสาลีได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใช้ดิสทิลเลทโมโนกลีเซอไรด์ (Distilled Monoglyceride, DMG) 0.94 เปอร์เซ็นต์ เนื้อในขนมปังมีสีขาว มีความชอบในระดับชอบปานกลาง ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ 3 วัน และแป้งผสมสำเร็จรูปจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิสำหรับทำขนมปังสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นาน 6 เดือน

Elmoneim และคณะ (2002) ทดลองใช้แป้งข้าวฟ่างกับแป้งสาลีที่ปราศจากซิสเตอีน ในการผลิตขนมปังและขนมปังกรอบ โดยทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวฟ่าง 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งในขนมปัง และ 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งในขนมปังกรอบ การทำขนมปังใช้วิธีการหมักแบบขั้นตอนเดียว พบว่าการใช้แป้งข้าวฟ่าง 10 เปอร์เซ็นต์ได้ขนมปังมีคุณภาพดี ส่วนการใช้แป้งข้าวฟ่าง 20 เปอร์เซ็นต์จะได้คุณภาพของขนมปังกรอบที่ดี

Jinshui และคณะ (2002) ทดลองใช้เส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน 3 ชนิดในการผลิตขนมปัง ได้แก่ คารอบ ไฟเบอร์ (carob fiber) อินนูลิน (inulin) และ พี ไฟเบอร์ (pea fiber) ในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลีในการผลิตขนมปัง พบว่าผลของการเติมเส้นใยอาหาร carob และ pea fiber ทำให้ปริมาตรของขนมปังลดลงและผิวนอกของขนมปังนุ่ม ส่วนโดที่ผสม carob fiber และ inulin เมื่อปล่อยให้ขึ้นฟูในพิมพ์จะไม่ยุบตัว

Shogren และคณะ (2003) ทดลองประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วเหลือง โดยใช้แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน 0-40 เปอร์เซ็นต์ แป้งรำ (Whole wheat flour) 35-100 เปอร์เซ็นต์ และแป้งขนมปัง 0-35 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้แป้งถั่วเหลืองมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ทำให้มีกลิ่นรสถั่วที่แรงมาก และยีสต์เป็นปัจจัยสำคัญในการลดกลิ่นถั่วในขนมปัง การเติมกรดแอสคอบิกสามารถเพิ่มกลิ่นรสของยีสต์ให้แรงกว่ากลิ่นของถั่ว และเพิ่มกลิ่นหอมหวาน ขนมปังที่ใช้แป้งถั่วเหลือง 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์นั้นสามารถเตรียมได้ง่ายและทำได้เองภายในครัวเรือน

Elin และคณะ (2004) ทดลองใช้แป้งถั่วคาวพี (Cowpea) (*Vigna unguiculata* or *V. sinensis*) ทดแทนแป้งสาลีในระดับ 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการแทนด้วยแป้งถั่ว 20 เปอร์เซ็นต์ให้ลักษณะคล้ายขนมปังสูตรควบคุม และการแทนด้วยแป้งถั่วนั้นทำให้โดมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้นและยากต่อการนวดด้วยมือ

2.3 สารช่วยยึดเกาะ (Binding agent)

การผลิตขนมปังที่ใช้ส่วนผสมอื่นเข้ามาทำให้สัดส่วนของโปรตีนไกลอะดินและกลูเตนนินในการเกิดกลูเตนไม่เหมาะสม ทำให้ได้ขนมปังที่ได้มีโครงสร้างไม่ดี ทั้งนี้เพราะกลูเตนมีคุณสมบัติยืดหยุ่นและมีความสามารถในการยึดรวมกับสารประกอบอื่น ๆ (Binding power) ทำให้สามารถดูดซับน้ำและกักเก็บก๊าซที่เกิดจากการหมักได้ ขนมปังที่ได้มีลักษณะผนังเซลล์อากาศโปร่งบางและมีปริมาตรมาก (Bechwith and Wall, 1969) สารยึดเกาะที่ดีสำหรับขนมปังที่มีกลูเตนน้อย จะต้องทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดแป้งอย่างเพียงพอ สามารถป้องกันการแตกของโดจากการขยายปริมาตรในระหว่างการหมักและการอบได้ ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวนี้ต้องมากพอที่โดจะสามารถขยายปริมาตรได้ ขนมปังที่ได้จึงมีลักษณะนุ่มและยืดหยุ่นดี (Jongh, 1961)

Kim และ Ruiter (1968) แนะนำการใช้สารช่วยยึดเกาะที่เป็นสารช่วยให้เกิดการพองตัวของสตาร์ช เช่น HPMC และ กัวร์กัม คุณสมบัติของสารช่วยยึดเกาะที่ดีต้องมีคุณสมบัติช่วยให้ขนมปังนิ่ม มีความยืดหยุ่นและรสชาติดีขึ้น ไม่ขัดขวางการขยายตัวของโด และไม่ทำให้โดแตกระหว่างการหมักหรือหลังจากอบขนมปัง

2.3.1 กัวร์กัม (Guar gum)

เป็นสารประกอบ กาแลคโตแมนแนน (Galactomannan) มี ดี-แมนโนส (D-manose) และ ดี-กาแลคโตส (D-galactose) ในอัตราส่วน แมนโนส (Mannose) : กาแลคโตส (Galactose) ประมาณ 2:1 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 220,000 - 250,000 ได้จากพืชตระกูลถั่ว ซึ่งมีทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cymopsis tetragonolobus* ปลูกมากในประเทศปากีสถานและอินเดีย

กัวร์กัมมีคุณสมบัติที่ดีกว่ากัมชนิดอื่น คือสามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วในน้ำเย็น ให้สารละ ลายคอลลอยด์ที่หนืด สำหรับความหนืดที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับเวลา อุณหภูมิ ความเข้มข้น ค่า pH และขนาดอนุภาคของกัม สำหรับความหนืดสูงสุดจะวัดได้ภายใน 2 ชั่วโมง ในน้ำเย็นความสามารถในการดูดน้ำและความหนืดจะเพิ่มขึ้น สารละลายที่ได้จะขุ่นเล็กน้อย เนื่องจากมีเส้นใยและเซลลูโลสปนอยู่ สารละลายกัวร์กัม 1 เปอร์เซ็นต์จะให้ความหนืด 2,700 เซนติพอยน์ (cps.) ความเป็นกรดด่าง 5.5-6.1 และถ้าตั้งทิ้งไว้ ค่า pH จะลดลง กัมชนิดนี้ค่อนข้างจะคงตัวในช่วง pH ที่ค่อนข้างกว้าง 4.0-10.5 และมีคุณ สมบัติเป็นบัฟเฟอร์เล็กน้อย

การใช้กัวร์กัมในอุตสาหกรรมอาหารนั้น นิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์เนยแข็ง ไอศกรีม เพื่อเป็นสารให้ความคงตัว และยังใช้เป็นสารให้ความหนืดในน้ำสลัด ซอส และเครื่องดื่มต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง เนื่องจากกัวร์กัมมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำไว้ได้ ทำให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีในระหว่างนวดโด และช่วยปรับปรุงคุณภาพโดให้เป็นเนื้อเดียวกันเพราะเป็นสารยึดเกาะ และยังลดการสูญเสียน้ำในระหว่างการอบอีกด้วย (จิราภรณ์ สอดจิตร์ และคณะ, 2546)

2.3.2 ไฮดรอกซีโพรพิลเมธิลเซลลูโลส (HPMC)

ไฮดรอกซีเมธิลเซลลูโลส หรือ 2-ไฮดรอกซิโพรพิล (2-Hydroxypropyl) อีเทอร์ของ เมธิลเซลลูโลส (Methylcellulose) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 13,000-200,000 ลักษณะเป็นผงหรือเป็นเม็ดเล็ก ๆ สีขาว มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ สารให้ความคงตัว สารช่วยให้เกิดฟิล์ม และสารให้ความข้นหนืด มีความสามารถในการละลายหรือสมบัติการพองตัวเมื่อเติมน้ำ จะเป็นสารละลายคอลลอยด์ข้นหนืด และละลายในแอลกอฮอล์ มีการผลิตทางการค้าหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะต่างกันที่ปริมาณ เมทอกซิล ไฮดรอกซีโพรพรอกซิล (Methoxyl hydroxypropoxyl) และไฮดรอกซิลบูทอกซิล (Hydroxylbutoxyl) และยังมีค่าความหนืดหลายค่าตั้งแต่ 15 -75,000 เซนติพอยน์ (สุนทร สหัสโพธิ์, 2533)

2.3.3 ดิสทิลเลท โมโนกลีเซอไรด์ (Distilled monoglyceride , DMG)

DMG เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ตัวหนึ่ง ประกอบด้วย โมโนกลีเซอไรด์อย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ ได้มาจากไขมันที่กินได้และกลีเซอรีน เป็นสารโมโนกลีเซอร์ไรด์ที่ว่องไว ผลิตโดยการกลั่นให้ได้ส่วนโมโนกลีเซอไรด์ ทางการค้าเรียกว่าโมโนกลีเซอไรด์ ใช้ในเนยเทียม เนยถั่ว เนยขาว และผลิตภัณฑ์ เบเกอรี่เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัส (กล้าณรงค์ ศรีรอต และจุนธนี จิตต์รำพึง, 2539)

อิมัลซิไฟเออร์เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่สำคัญ มีการใช้มากในผลิตภัณฑ์ธัญพืช วัตถุประสงค์ส่วนใหญ่ของการใช้อิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ขนมปัง เพื่อช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังดีขึ้น ปริมาตรเพิ่มขึ้น กรรมวิธีในการแปรรูปง่ายขึ้น (ศิวาพร ศิวเวช, 2535)

2.3.4 คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose , CMC)

CMC หรือ เบต้า- (1-4) ดี- กลูโคไพราโนส (β-(1-4)-D-glucopyranose) โพลิเมอร์ของเซลลูโลสไม่ละลายในน้ำเย็นใช้เป็นสารควบคุมความหนืด (stabilizer) และเป็นสารช่วยปรับปรุงปริมาตรจำ เพาะในขนมปัง ระหว่างการบ่มจะช่วยกักเก็บก๊าซ CMC มีคุณสมบัติช่วยอุ้มน้ำจึงช่วยชะลอการเกิดสเตลิ่งในขนมปัง (Cato และคณะ, 2004)

2.3.5 การผลิตขนมปังที่ใช้สารช่วยปรับปรุงคุณภาพขนมปังชนิดต่างๆ

Sorensen (1970) ได้ทดลองใช้ HPMC (Dow Chemical Methocel, 4000 cps. HG65) นำมาเติมแทนที่กลูเตนในการผลิตขนมปังที่ทำจากแป้งสาลีปราศจากโปรตีน HPMC มีลักษณะเป็นผงปุยสีขาวกระจายตัวได้ดีในน้ำเดือด และเมื่อเย็นตัวลงจะเกิดเป็นคอลลอยด์ พบว่าขนมปังที่ได้มีโครงร่างเป็นฟองน้ำ มีปริมาตรประมาณ 3 เท่าของโดเริ่มต้น เปลือกขนมปังกรอบและมีสีเหลืองน้ำตาล เนื้อในมีรูพรุนสม่ำเสมอ ขนมปังชนิดนี้เหมาะสำหรับคนที่แพ้โปรตีนในแป้งสาลี

ปิยวรรณ สุกุมลนันทน์ (2537) ได้ทดลองใช้ HPMC เป็นสารช่วยยึดเกาะในการผลิตขนมปัง โดยผสมแป้งคัพภะข้าวโพดที่สกัดน้ำมันออกแล้วกับแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลังให้มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับแป้งสาลีแล้วใช้ทดแทนแป้งสาลี พบว่าปริมาณแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลังในการเตรียมแป้งผสม คือ 48.51 34.38 และ 33.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นำไปแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ และใช้ HPMC 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าขนมปังที่ใช้แป้งผสมจากแป้งคัพภะข้าวโพดกับแป้งข้าวเจ้านั้น มีลักษณะปรากฏของเปลือก เนื้อใน ลักษณะเซลล์อากาศ ปริมาตรจำเพาะ ปริมาณการสูญเสียน้ำระหว่างการอบใกล้เคียงกับขนมปังจากแป้งสาลีมากที่สุด และเมื่อแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งผสมที่ระดับ 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ และใช้ HPMC ที่ระดับ 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 พบว่าการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งผสมที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ และใช้ HPMC 2 เปอร์เซ็นต์ นั้นเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม

Rosell และคณะ (2001) ศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแป้งสาลี โดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ 4 ชนิดคือ โซเดียมแอลจีเนท (Sodium alginate) เคปป้า-คาร์ราจีแนน (K-carragenan) แซนแทนกัม และ HPMC เติมในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้แซนแทนกัมและโซเดียม แอลจีเนททำให้ลักษณะของโดมีความยืดหยุ่นดี สามารถเพิ่มระยะเวลาการหมักโดได้นานขึ้น และโดทนต่อการผสม ขนมปังที่ได้มีลักษณะแน่นเนื้อมาก ส่วนคุณภาพของขนมปังที่เติมเคปป้า-คาร์ราจีแนน และใช้ HPMC เป็นสารช่วยยึดเกาะนั้น จะได้ขนมปังที่มีปริมาตรจำเพาะดี ขนมปังนุ่ม และทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้ชิมมากกว่าการใช้แซนแทนกัมและโซเดียมแอลจีเนท

Cato และคณะ (2004) ได้ทดลองผลิตขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันฝรั่งร่วมกับไฮโดรคอลลอยด์ สองชนิดคือ CMC (Cellogen HP-4H CON Visc 1600-2000) และ HPMC โดยใช้ปริมาณแป้งสาลี : แป้งข้าวเจ้า สองสูตรคือ 70:30 และ 60:40 และแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันฝรั่ง 80:20 ใช้ปริมาณ CMC : HPMC คือ 0:2.9 0:0.8 และ 0.8:2.9 พบว่าขนมปังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้า 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาตรของขนมปังที่ดี รสชาติ และเนื้อสัมผัสดี รองลงมาคือขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันฝรั่งและใช้ปริมาณสารช่วยยึดเกาะ CMC : HPMC 0.8 : 2.9

Guarda และคณะ (2004) ได้ศึกษาการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพขนมปังแป้งสาลีและเป็นสารยับยั้งการเกิดสเตลิ่ง โดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่าง ๆ คือ โซเดียมแอลจีเนท แซนแทนกัม และเคปป้า-คาราจีแนน และ HPMC สองระดับคือ 0.1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าการใช้ HPMC และแอลจีเนทที่ระดับ 0.1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ขนมปังมีความแข็งน้อยกว่าการใช้แซนแทนกัมและเคปป้า-คาราจีแนน ส่วนลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส ความนุ่ม และการยอมรับโดยรวมนั้น การใช้ HPMC ทั้งสองระดับให้ค่าต่าง ๆ ดีกว่าการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น และศึกษาการเป็นสารยับยั้งการเกิดสเตลิ่ง โดยเก็บขนม

ปังไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าขนมปังต้นแบบมีการสูญเสียความชื้นมากที่สุด รองลงมาคือเคปป้า-คาราจีแนน HPMC แซนแทนกัม และแอลจีเนท ตามลำดับ หลังจากนั้นนำมาทดสอบความแข็ง พบว่าการใช้แซนแทนกัมทั้งสองระดับเพิ่มค่าความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือ เคปป้า-คาราจีแนน แอลจีเนทที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วน HPMC ที่ใช้ทั้งสองระดับทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงสรุปว่า HPMC จึงเป็นสารช่วยยึดเกาะที่ปรับปรุงคุณภาพขนมปังให้ดีขึ้นและยังเป็นสารยับยั้งการเกิดสเตลิ่งได้อีกด้วย

Barcenas และ Rosell (2005) ได้ศึกษาการใช้ HPMC ในการผลิตขนมปังแป้งสาลี และการเป็นสารแอนติสเตลิ่ง (antistaling) โดยใช้ HPMC 0.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าเมื่อเติม HPMC สามารถช่วยปรับปรุงโดให้มีลักษณะที่ดี ขนมปังที่ได้มีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าขนมปังต้นแบบ เนื่องจาก HPMC สามารถดูดซึบน้ำมากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะคงสภาพโครงร่างหลังผ่านการอบ ทำให้ปริมาณความชื้น เนื้อสัมผัส และคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างกับขนมปังสด หลังจากนั้นนำขนมปังที่เติม HPMC ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 4 และ 7 วันเปรียบเทียบกับขนมปังต้นแบบ พบว่า HPMC เป็นสารยับยั้งการเกิดสเตลิ่งได้ดี เนื่องจากสามารถลดการคืนตัวของอะไมโลสได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 โอคาราสด ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทกรีนสปอร์ต (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2 แป้งสาลีอเนกประสงค์ตราว่าว

3.1.3 น้ำตาลทรายขาวตราวังขนาย

3.1.4 เกลือตราปรุงทิพย์

3.1.5 ยีสต์ตราเฟอมิแพน

3.1.6 นมผงพร่องมันเนย

3.1.7 เนยขาวตรามรกต

3.1.8 น้ำมันถั่วเหลืองตราองุ่น

3.1.9 แคลเซียมโปรปีโอเนต (Calcium Propionate)

3.1.10 HPMC ; Methocel E4M ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท รามา เคม.

3.1.11 DMG ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท แคลเทค จำกัด

3.1.12 CMC ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ฟู้ดแอนด์ดริ๊งค์ จำกัด

3.2 อุปกรณ์การผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา

3.2.1 กะละมัง

3.2.2 ตะแกรงพักขนม

3.2.3 ถาดอบ

3.2.4 พิมพ์ขนมปังขนาด 6×4×4 1/2 นิ้ว

3.2.5 ตะแกรงร่อนแป้ง

3.2.6 เตาอบ

3.2.7 เครื่องชั่งชนิดหยาบ

3.2.8 เครื่องผสม Kitchen Aid

3.3 อุปกรณ์การวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังแซนด์วิชโอคารา

3.3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด Mettler AJ 100

3.3.2 เครื่องวัดสี Minolta CR-300, Japan

3.3.3 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Texture Measuring System, TA-XT2i

3.4 อุปกรณ์การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.4.1 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate Analysis)

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.5.1 อุปกรณ์ทดสอบ

3.5.2 แบบทดสอบ

3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.6.2 โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS 11.0

3.7 วิธีการดำเนินงาน

3.7.1 การเตรียมโอคาราสด

โอคาราที่ได้จากบริษัทกรีนสปอร์ต (ประเทศไทย) จำกัด มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำโอคาราไปใช้ในผลิตภัณฑ์จะนำไปบีบอัดน้ำออกด้วยเครื่องไฮดรอลิกเพรสเชอร์ จนได้ความชื้นประมาณ 61-65 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยวิธี AOAC (2000) นำมาบรรจุใส่ถุงโพลีเอทธิลีนในปริมาณ 5 กรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำโอคาราไปใช้ในการผลิตขนมปังตามวิธีการดังภาพที่ 3.1 นำมาละลายน้ำแข็ง

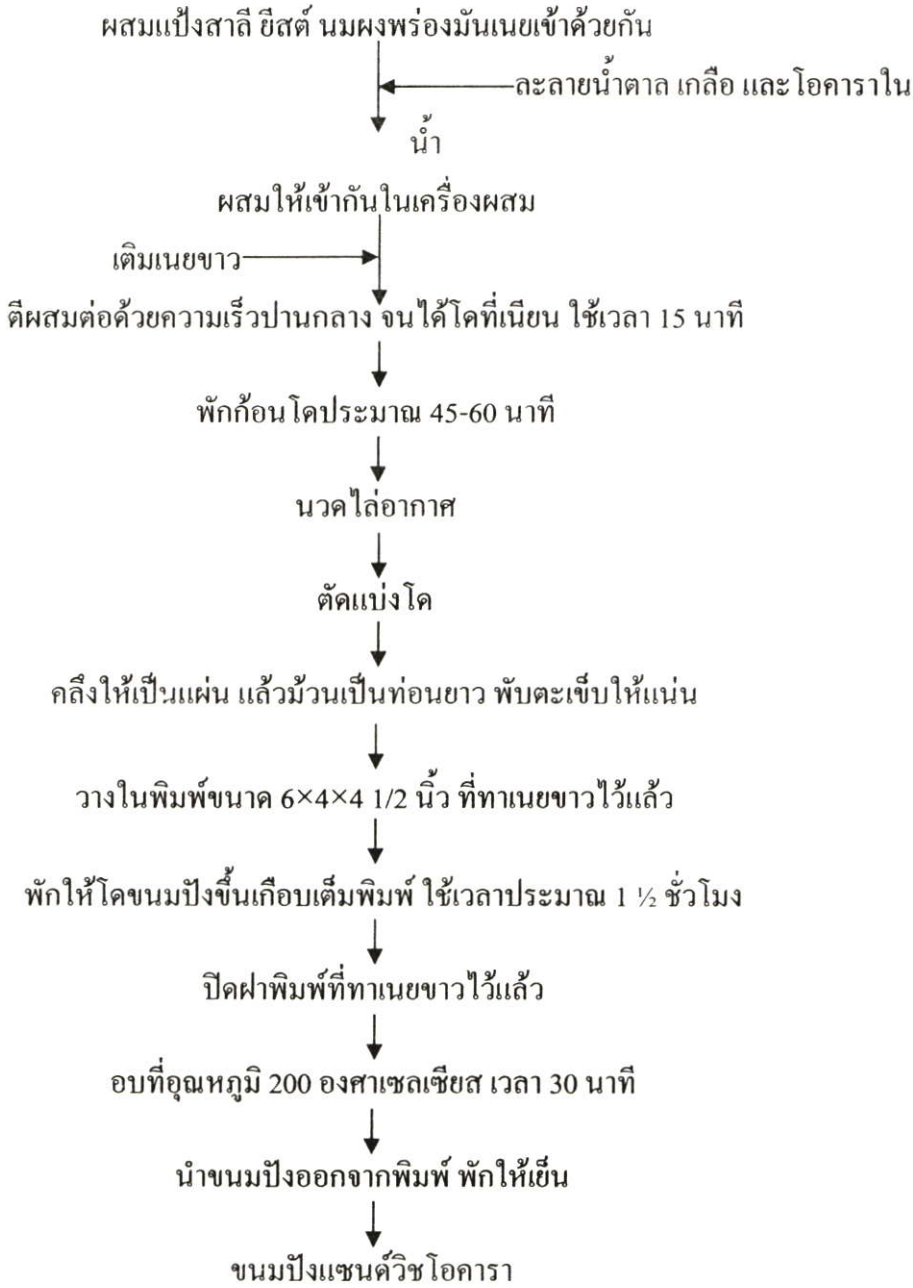
3.7.2 ศึกษาปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา

ในการทดลองผลิตขนมปังแซนด์วิช ได้เลือกใช้สูตรขนมปังแซนด์วิชดังตารางที่ 3.1 เป็นสูตรควบคุม วิเคราะห์ผลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) ศึกษาปริมาณของโอคาราที่ทดแทนแป้งสาลี 3 ระดับ คือ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง และปรับปริมาณน้ำที่ใช้ตามเปอร์เซ็นต์ความชื้นของโอคาราเพื่อให้ปริมาณน้ำสุดท้ายเท่ากันกับสูตรควบคุม ทำการผลิตขนมปังแซนด์วิชตามวิธีการดังภาพที่ 1 ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัส เพื่อหาปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมโดยการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของขนมปังแซนด์วิชโอคาราตามวิธีข้อ 3.7.2.1 ถึง 3.7.2.6

ตารางที่ 3.1 สูตรควบคุมขนมปังแซนด์วิช

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (กรัม)
แป้งสาลี	100.0
น้ำตาล	10.0
เกลือ	1.75
ยีสต์	1.0
นมผงพร่องมันเนย	4.0
เนยขาว	6.0
น้ำ	60.0

ที่มา : จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2541)



ภาพที่ 3.1 กรรมวิธีการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา

ที่มา : ดัดแปลงจาก จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2541)

3.7.2.1 วัดค่าความยืดหยุ่นของโดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-XT2 Application study) Stable Micro Systems (SMS, England) ดัดแปลงจากวิธีของ Van และคณะ. (1992)

3.7.2.2 วัดปริมาตรจำเพาะของขนมปังโดยวิธีการแทนที่งาในภาชนะที่แน่นอน (มอก. 374- 2524) (ภาคผนวก ข)

3.7.2.3 วิเคราะห์ความชื้นของขนมปัง (AOAC, 2000) (ภาคผนวก ก)

3.7.2.4 วัดเนื้อสัมผัสของขนมปังด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-XT2 Application study) ตามวิธีของ Rouille และคณะ. (2005)

3.7.2.5 ตรวจวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minalta CR300 (ภาคผนวก ก) ซึ่งแสดงผลในรูปของค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b)

และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย DMRT (Duncan's New Multiple RangeTest) โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

3.7.2.6 ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (คะแนน 1 ไม่ชอบมากที่สุด – 9 ชอบมากที่สุด) (ภาคผนวก ง) กับผู้ทดสอบชิมจำนวน 25 คน โดยผู้ทดสอบที่ใช้ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน คุณลักษณะที่ทดสอบ คือ สี กลิ่นรส รสชาติ ความนุ่มเหนียว และความชอบโดยรวม วิเคราะห์ผลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version

3.7.3 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารช่วยยึดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา

จากปริมาณการทดแทนด้วยโอคาราในข้อ 3.7.2 ได้ปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมนำมาศึกษาสารช่วยยึดเกาะ วิเคราะห์ผลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD (Complete Randomized Design) สารช่วยยึดเกาะที่ใช้มี 3 ชนิดคือ

3.7.3.1 HPMC เติมที่ระดับ 2 2.5 3 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี

3.7.3.2 DMG เติมที่ระดับ 6 8 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี

3.7.3.3 CMC เติมระดับ 1 1.5 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี

ทำการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคาราตามภาพที่ 3.1 และวิเคราะห์ผลด้านสมบัติทางกายภาพตามวิธีข้อ 3.7.2.2 3.7.2.3 และ 3.7.2.5 ทดสอบทางประสาทสัมผัสตามวิธีข้อ 3.7.2.6 พิจารณาเลือกชนิดและปริมาณสารช่วยยึดเกาะที่เหมาะสม

3.7.4 ศึกษาปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา

นำสูตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.7.3 นำมาทดลองโดยเอาเนยขาวออกจากสูตรและทดลองเติมน้ำมันถั่วเหลือง 4 ระดับ คือ 2 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี วิเคราะห์ผลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ CRD ทำการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคาราตามภาพที่ 3.1 ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพตามวิธีการข้อ 3.7.2.2 3.7.2.3 และ 3.7.2.5 และทดสอบทางประสาทสัมผัสตามวิธีการข้อ 3.7.2.6

3.7.5 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังแซนด์วิชโอคารา

นำผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากข้อ 3.7.4 ที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมาตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เถ้า เส้นใยอาหาร เปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุม ตามวิธีของ (AOAC, 2000)

3.7.6 ศึกษาอายุการเก็บของขนมปังแซนด์วิชโอคารา

ศึกษาอายุการเก็บของขนมปังแซนด์วิชโอคารา โดยเติมแคลเซียมโปรปิโอเนตในปริมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี (AACC, 2000) เป็นวัตถุกันเสีย บรรจุในใช้ถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีน (PE) และบรรจุขนมปังแซนด์วิชประมาณ 50 กรัม เก็บที่อุณหภูมิห้อง ตรวจสอบทุกวันเป็นเวลา 7 วัน ทดสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์

3.7.7.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000)

3.7.7.2 ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2000)

บทที่4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาปริมาณโอคาราสดที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา

โอคาราสดจากโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลือง นำมากดอัดน้ำออกด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรสเซอร์มีความชื้นปริมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ นำมาทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง โดยมีการปรับปริมาณน้ำให้ได้เท่ากับสูตรควบคุม ผลการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นของโดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความยืดหยุ่นของโดที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีมีค่าแตกต่างจากสูตรควบคุมที่ผลิตจากแป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยโอคารามากขึ้นจะทำให้ความยืดหยุ่นของโดลดลง โดที่มีปริมาณกลูเตนสูงมีความยืดหยุ่นมากกว่าโดที่มีปริมาณกลูเตนต่ำ (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541) ตารางที่ 4.2 แสดงถึงปริมาตรจำเพาะ ความชื้น และค่าความแข็งของขนมปังแซนด์วิชโอคาราสูตรต่าง ๆ พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดต่ำลงเมื่อมีการใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี (ภาพที่ 4.1) ค่าความยืดหยุ่นของโดจะมีผลต่อปริมาตรจำเพาะของขนมปังแซนด์วิชโอคารา โดที่มีความยืดหยุ่นต่ำปริมาตรของขนมปังจะลดต่ำลงไปด้วย (ปริศนา สุวรรณาภรณ์ และคณะ, 2544)

ตารางที่ 4.1 ค่าความยืดหยุ่นของโดที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง

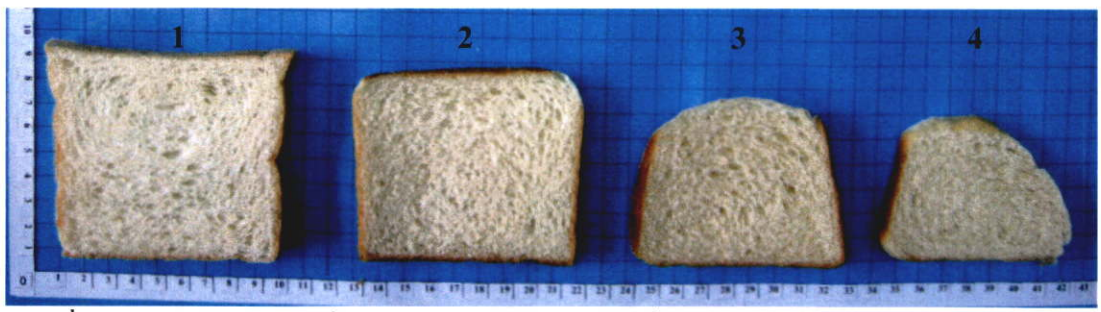
ปริมาณโอคารา (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ค่าความยืดหยุ่น (กรัม · แรง)
สูตรควบคุม	$99.09^{d} \pm 1.30$
15	$79.88^{c} \pm 1.63$
20	$57.66^{b} \pm 3.31$
25	$51.45^{a} \pm 3.64$

^{abc} : อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.2 ปริมาตรจำเพาะ ความชื้น ค่าความแข็งของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง

ปริมาณโอคารา (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ปริมาตรจำเพาะ (ซม.^{3}/กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ค่าความแข็ง (กรัม·แรง)
สูตรควบคุม	$4.23^{d} \pm 0.04$	$39.28^{b} \pm 1.32$	$108.54^{a} \pm 9.16$
15	$3.97^{c} \pm 0.04$	$36.58^{a} \pm 1.04$	$155.15^{b} \pm 8.41$
20	$2.89^{b} \pm 0.09$	$36.72^{a} \pm 1.37$	$358.89^{c} \pm 8.00$
25	$2.37^{a} \pm 0.09$	$38.50^{b} \pm 0.94$	$509.84^{d} \pm 19.55$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.1 ขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุม จาก 2 ถึง 4 คือขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ)

นอกจากนี้ค่าความชื้นของขนมปังลดต่ำลงเมื่อมีการใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี การที่เป็นเช่นนี้เกิดจากโดที่ใช้โอคารามีปริมาณกลูเตนลดลง และความยืดหยุ่นของโดลดลง จึงทำให้ความสามารถในการเก็บกักก๊าซและความชื้นลดลง (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541) ค่าความแข็งของขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่วิเคราะห์จากเครื่องวัดเนื้อสัมผัสมีค่ามากกว่าขนมปังสูตรควบคุม (ตารางที่ 4.2) เมื่อปริมาณโอคาราที่ใช้เพิ่มขึ้นจาก 15 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจาก 155.15 กรัม (แรง) เป็น 509.84 กรัม (แรง) ค่าความแข็งของขนมปังสอดคล้องกับปริมาตรจำเพาะของขนมปัง ขนมปังที่มีขนาดเล็ก มีรูพรุนน้อย มีความแข็งมากกว่าขนมปังที่ขึ้นฟู

ค่าสีของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราสดในการทดแทนแป้งสาลีที่ระดับต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของขนมปังโอคารามีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะค่าสีเหลืองของขนมปังแซนด์วิชโอคารามีค่าสูงมากกว่าสีของขนมปังแซนด์วิชสูตรควบคุมและเมื่อเพิ่มปริมาณโอคาราสูงขึ้นค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเนื่องจากโอคารามีสีคล้ำกว่าแป้งสาลีและโอคาราประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 25 – 28 เปอร์เซ็นต์ (O' Toole, 1999) ในขณะที่แป้งสาลีประกอบด้วยโปรตีน 14

เปอร์เซ็นต์ (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541) มากกว่าจึงทำให้มีโอกาสเกิดสีน้ำตาลในเนื้อและเปลือกของขนมปังโอคารามากกว่า เมื่อทดแทนในระดับเพิ่มขึ้นค่าสีเหลืองจึงเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ขนมปังแซนด์วิชโอคารามีสีเข้มขึ้น (ภาพที่ 4.1)

ตารางที่ 4.3 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง

ปริมาณโอคารา (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ค่าความสว่าง	ค่าสีแดง	ค่าสีเหลือง
สูตรควบคุม	$78.48^{b} \pm 0.53$	$-0.79^{a} \pm 0.04$	$7.98^{a} \pm 0.51$
15	$77.91^{b} \pm 0.85$	$-0.27^{a} \pm 0.07$	$11.40^{b} \pm 0.30$
20	$74.12^{a} \pm 1.12$	$-0.07^{b} \pm 0.04$	$13.45^{c} \pm 0.02$
25	$76.27^{a} \pm 0.59$	$-0.13^{b} \pm 0.11$	$15.06^{d} \pm 0.30$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 คะแนนผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังแซนด์วิชที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง

ปริมาณโอคารา (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
15	$7.6^{c} \pm 1.08$	$7.0^{b} \pm 1.51$	$7.2^{b} \pm 0.83$	$7.3^{c} \pm 1.20$	$7.4^{c} \pm 0.82$
20	$6.7^{b} \pm 1.14$	$5.8^{a} \pm 1.58$	$6.7^{b} \pm 1.30$	$6.2^{b} \pm 1.50$	$6.4^{b} \pm 1.29$
25	$5.9^{a} \pm 1.36$	$5.2^{a} \pm 1.90$	$5.7^{a} \pm 1.78$	$4.9^{a} \pm 1.78$	$5.24^{a} \pm 1.79$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังแซนด์วิชโอคารา แสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อทดสอบความชอบโดยใช้แบบการทดสอบให้คะแนน 9- point hedonic scale พบว่าปริมาณการทดแทนทั้ง 3 ระดับ ทำให้คะแนนค่าสีมีค่าต่ำลงเป็นเพราะขนมปังที่เติมโอคารามากขึ้นมีสีเข้มขึ้น คะแนนด้านกลิ่นรสและคะแนนด้านรสชาติมีแนวโน้มต่ำลงตามปริมาณการเติมโอคาราที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับคะแนนด้านเนื้อสัมผัสมีแนวโน้มต่ำลงตามปริมาณการเติมโอคาราที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากขนมปังที่เติมปริมาณโอคาราสูงขึ้นมีปริมาตรจำเพาะต่ำ มีเนื้อสัมผัสแข็ง (ตารางที่ 4.3) จึงทำให้คะแนนความชอบโดยรวมของขนมปังมีแนวโน้มต่ำลงเมื่อปริมาณโอคาราเพิ่มขึ้นจาก 15 ไปเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระดับทดแทน 25 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบในทุกด้านต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ในขณะที่ตัวอย่างขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ มี

คะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยและขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ใช้โอคาราทดแทน 25 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบปานกลาง สำหรับการคัดเลือกสูตรของขนมปังแซนด์วิชโอคาราเพื่อนำไปพัฒนาสูตรต่อ จะพิจารณาจากความเป็นไปได้ของโอคาราที่สามารถทดแทนแป้งสาลีได้มากที่สุด พบว่าระดับที่ 15 เปอร์เซ็นต์ คะแนนความชอบในทุกด้านต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการใช้โอคาราทดแทน 25 เปอร์เซ็นต์ทำให้ขนมปังมีปริมาตรต่ำมาก เนื้อสัมผัสแข็ง โดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วงเฉยๆ (คะแนน 5) ประกอบกับความยืดหยุ่นของโดต่ำมาก ดังนั้นจึงเลือกระดับที่ 20 เปอร์เซ็นต์นำไปปรับปรุง โดยปัญหาของขนมปังแซนด์วิชโอคาราคือมีปริมาตรจำเพาะต่ำ เนื้อสัมผัสแข็ง จึงนำไปปรับปรุงโดยการเติมสารช่วยยึดเกาะชนิดต่างๆ เพื่อปรับปรุงให้ขนมปังแซนด์วิชโอคาราสูตรที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี 20 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความยอมรับสูงขึ้น

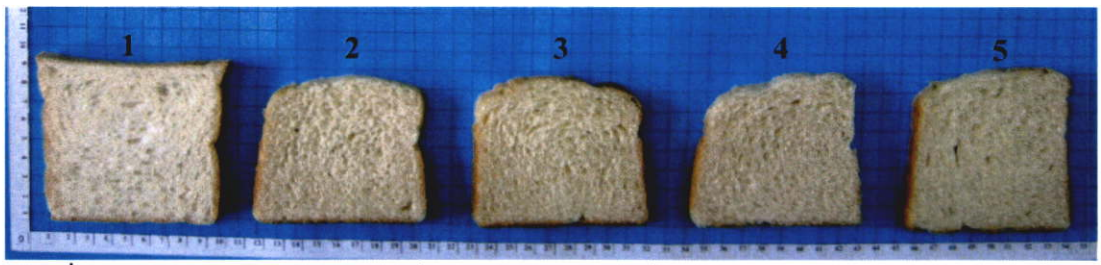
4.2 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสารช่วยยึดเกาะที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา

สารช่วยยึดเกาะ 3 ชนิด คือ HPMC DMG และ CMC เมื่อนำมาทดลองเติมในระดับต่าง ๆ กัน ในกรณีของ HPMC เมื่อปริมาณของ HPMC ที่ใช้เพิ่มขึ้นจาก 2 ไปเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง ทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังแซนด์วิชโอคาราเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 4.5) แต่ถ้าเติม HPMC มากกว่า 3.5 เปอร์เซ็นต์ทำให้โดแฉะติดเครื่องผสม อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม HPMC มีปริมาตรน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.2) ความชื้นของขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม HPMC มีค่าสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรควบคุมมีความชื้นประมาณ 39 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ใช้ HPMC 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีความชื้น 46.8 เปอร์เซ็นต์ การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก HPMC มีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดี (Barcenas และ Rosell, 2005) ถ้าขนมปังแซนด์วิชมีความชื้นมากเกินไปทำให้อายุการเก็บสั้นลง เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ทำให้ขนมปังเน่าเสียเจริญได้ดีขึ้น

ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมกับสูตรที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ HPMC (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ปริมาตรจำเพาะ ($ซม.^3$/กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
สูตรควบคุม	$4.34^{d} \pm 0.07$	$39.41^{a} \pm 1.33$
2	$2.42^{a} \pm 0.03$	$42.26^{b} \pm 0.31$
2.5	$2.69^{b} \pm 0.01$	$42.57^{b} \pm 0.45$
3	$2.61^{b} \pm 0.04$	$44.76^{c} \pm 0.18$
3.5	$2.87^{c} \pm 0.10$	$45.84^{c} \pm 0.92$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.2 ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่มีการเติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุมใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ จาก 2 ถึง 5 คือขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์และเติม HPMC 2 2.5 3 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ)

ผลของ HPMC ต่อค่าสีของขนมปังแซนด์วิชโอคาราแสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่าขนมปังแซนด์วิชโอคารายังคงมีสีเข้มกว่าขนมปังสูตรควบคุมเช่นเดิม เนื่องจากขนมปังที่ได้มีปริมาตรจำเพาะต่ำ ค่าสีเหลืองที่ได้จึงมีค่าสูงและค่าความสว่างที่ได้มีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุม ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อปริมาณ HPMC เพิ่มขึ้นคะแนนความชอบด้าน กลิ่นรส เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบในทุกด้านอยู่ในช่วงเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม HPMC ถึง 3.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณสูงสุดที่ใช้ในการทดลองก็ยังมีปริมาตรต่ำกว่าสูตรควบคุม (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.2) เป็นผลให้เนื้อสัมผัสแข็ง ดังนั้น HPMC ไม่เหมาะที่จะเป็นสารช่วยยึดเกาะที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแซนด์วิชโอคารา

ตารางที่ 4.6 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์และเติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ HPMC (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ค่าความสว่าง	ค่าสีแดง	ค่าสีเหลือง
สูตรควบคุม	$77.36^{d} \pm 0.62$	$-0.91^{a} \pm 0.10$	$8.13^{a} \pm 0.70$
2	$76.72^{c} \pm 0.40$	$-0.04^{b} \pm 0.01$	$15.13^{c} \pm 0.49$
2.5	$75.97^{bc} \pm 0.16$	$-0.09^{b} \pm 0.10$	$13.52^{b} \pm 0.67$
3	$75.27^{ab} \pm 0.57$	$-0.11^{b} \pm 0.19$	$14.02^{b} \pm 0.21$
3.5	$74.47^{a} \pm 0.96$	$-0.14^{b} \pm 0.07$	$13.64^{b} \pm 0.19$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังสูตรที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม HPMC ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ HPMC (เปอร์เซ็นต์/ น้ำหนักแป้ง)	สี^{ns}	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
2	5.79 ± 0.83	$5.58^{ab} \pm 0.78$	$4.33^{a} \pm 0.92$	$5.50^{a} \pm 0.98$	$5.46^{a} \pm 0.72$
2.5	6.00 ± 0.72	$5.79^{a} \pm 0.66$	$4.67^{a} \pm 0.92$	$5.67^{a} \pm 0.92$	$5.71^{a} \pm 0.81$
3	5.71 ± 0.91	$6.00^{b} \pm 0.83$	$5.25^{b} \pm 0.94$	$6.21^{b} \pm 0.83$	$6.10^{b} \pm 0.82$
3.5	5.58 ± 0.71	$6.17^{ab} \pm 0.82$	$5.54^{b} \pm 0.83$	$6.30^{b} \pm 0.83$	$6.19^{b} \pm 0.72$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ในกรณีของ DMG เมื่อปริมาณ DMG เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 12 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง ปริมาตรจำเพาะของขนมปังแซนด์วิชโอคาราเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่4.8) โดยเฉพาะที่ระดับ 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ความชื้นของขนมปังแซนด์วิชโอคาราหลังจากเติม DMG มีปริมาณสูงขึ้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรควบคุม DMG มีองค์ประกอบของโมโนกลีเซอไรด์สามารถทำหน้าที่เป็นอีมัลซิไฟเออร์ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เพิ่มปริมาตรจำเพาะของขนมปัง (ศิวาพร ศิวเวช, 2535)

ตารางที่ 4.8 ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมกับสูตรที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม DMG ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ DMG ที่เติม (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ปริมาตรจำเพาะ (ซม.^{3}/กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)^{ns}
สูตรควบคุม	$4.43^{c} \pm 0.09$	40.31 ± 1.44
6	$2.98^{a} \pm 0.06$	40.82 ± 2.78
8	$3.25^{b} \pm 0.20$	39.90 ± 0.32
10	$3.40^{b} \pm 0.07$	38.46 ± 0.89
12	$3.38^{b} \pm 0.17$	38.52 ± 0.40

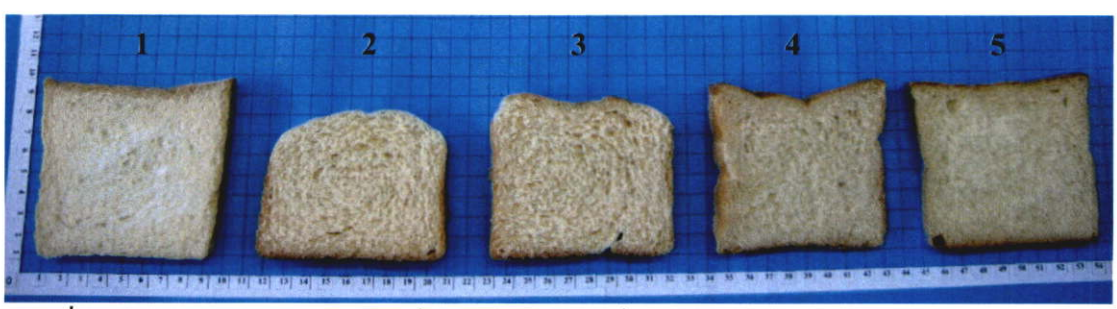
^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์และเติม DMG ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณDMG (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ค่าความสว่าง	ค่าสีแดง	ค่าสีเหลือง
สูตรควบคุม	$78.50^{c} \pm 0.60$	$-0.80^{a} \pm 0.50$	$8.10^{a} \pm 0.52$
6	$75.36^{ab} \pm 0.08$	$-0.27^{c} \pm 0.16$	$13.40^{c} \pm 0.68$
8	$76.79^{b} \pm 0.78$	$-0.41^{ab} \pm 0.10$	$13.08^{c} \pm 0.49$
10	$74.79^{a} \pm 1.60$	$-0.46^{b} \pm 0.08$	$12.10^{b} \pm 0.39$
12	$79.39^{c} \pm 0.34$	$-0.27^{c} \pm 0.06$	$12.64^{bc} \pm 0.05$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่มีการเติม DMG ที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุมใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ จาก 2 ถึง 5 คือขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม DMG 6 8 10 และ 12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ)

ตารางที่ 4.10 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม DMG ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ DMG (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	สี	กลิ่นรส	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
6	$7.17^{ab} \pm 0.70$	$6.08^{a} \pm 0.97$	6.25 ± 1.26	$6.17^{a} \pm 1.17$	$6.25^{a} \pm 1.11$
8	$6.83^{a} \pm 0.92$	$6.21^{ab} \pm 1.10$	6.63 ± 1.41	$5.96^{a} \pm 1.23$	$6.33^{ab} \pm 1.17$
10	$7.38^{b} \pm 0.97$	$6.79^{b} \pm 1.02$	6.92 ± 1.14	$6.50^{ab} \pm 1.14$	$6.96^{bc} \pm 1.12$
12	$7.50^{b} \pm 0.88$	$6.90^{b} \pm 1.14$	7.00 ± 1.22	$7.04^{b} \pm 1.16$	$7.38^{c} \pm 0.97$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลของ DMG ต่อค่าสีของขนมปังแซนด์วิชโอคาราแสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่าค่าสีเหลืองของขนมปังแซนด์วิชโอคาราเมื่อเติม DMG ลดลง และค่าความสว่างเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 4.3) เนื่องจากขนมปังที่เติม DMG มีให้ปริมาตรจำเพาะเพิ่มสูงขึ้น ขนาดของ air cell ใหญ่ขึ้นเป็นผลทำให้ขนมปังมีสีอ่อนลง เมื่อนำขนมปังโอคาราที่เติม DMG ที่ระดับต่างๆไปทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 4.10 พบว่า คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเติม DMG ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่ระดับ 12 เปอร์เซ็นต์ การที่ขนมปังแซนด์วิชโอคารามีขนาดปริมาตรเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.8) ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังแซนด์วิชโอคารานุ่มขึ้น คะแนนความชอบโดยรวมจึงสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถึงแม้การเติม DMG 12 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้งช่วยปรับปรุงปริมาตรจำเพาะ เนื้อสัมผัส ความชอบของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี 20 เปอร์เซ็นต์ แต่การเติมสารช่วยยึดเกาะ DMG 12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งในแง่ของต้นทุนถือว่าสูงไม่เหมาะสม เนื่องจาก DMG เป็นสารที่นำเข้าจากต่างประเทศจึงทำให้ต้นทุนของขนมปังเพิ่มสูงขึ้น สรุปการใช้ DMG เป็นสารยึดเกาะเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแซนด์วิชโอคาราไม่เหมาะสม

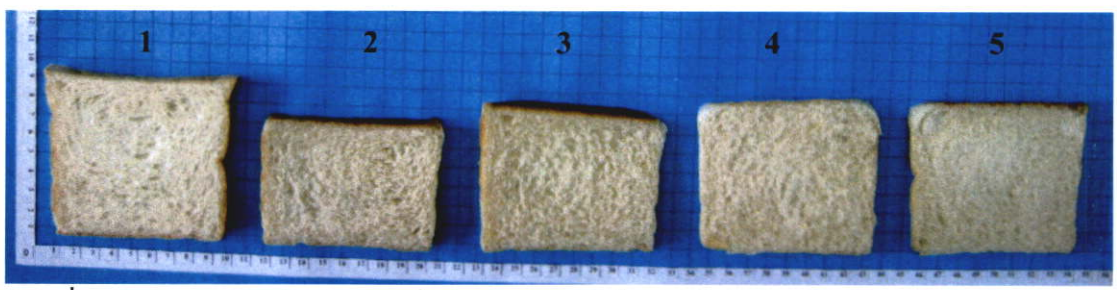
ในกรณีของ CMC เมื่อมีการเติม CMC ลงในขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังเพิ่มขึ้น ขนมปังมีขนาดใหญ่ขึ้น (ตารางที่ 4.11) โดยเฉพาะเมื่อปริมาตร CMC ที่เติมอยู่ในช่วง 1.5-2.5 เปอร์เซ็นต์ ขนมปังโอคาราขึ้นฟูมีปริมาตรใกล้เคียงกับขนมปังสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.4) อย่างไรก็ตามถ้าเติม CMC มากกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้โดมีความหนืดสูงไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ นอกจากนี้ความชื้นของขนมปังโอคาราหลังจากเติม CMC 1.5 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาตรสูงขึ้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรควบคุม CMC เป็นสารเพิ่มความคงตัวและเพิ่มความ

หนืด ช่วยกักเก็บก๊าซในระหว่างการบ่ม จึงช่วยปรับปรุงปริมาตรจำเพาะของขนมปัง มีคุณสมบัติช่วยอุ้มน้ำ (Cato และคณะ, 2004)

ตารางที่ 4.11 ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมกับสูตรที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ CMC (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ปริมาตรจำเพาะ (ซม.^{3}/กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
สูตรควบคุม	$4.24^{b} \pm 0.41$	$39.30^{a} \pm 1.34$
1	$3.93^{a} \pm 0.30$	$38.63^{a} \pm 0.71$
1.5	$4.18^{b} \pm 0.16$	$41.28^{b} \pm 0.08$
2	$4.17^{b} \pm 0.18$	$39.59^{a} \pm 0.58$
2.5	$4.14^{b} \pm 0.01$	$39.58^{a} \pm 0.18$

^{abc} : อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.4 ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่มีการเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุมใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ จาก 2 ถึง 5 คือขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม CMC 1 1.5 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ)

ผลของ CMC ต่อค่าสีของขนมปังแซนด์วิชโอคาราแสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าค่าสีเหลืองของขนมปังแซนด์วิชโอคาราเมื่อเติม CMC ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม CMC มีสีอ่อนลงกว่าขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ไม่เติม CMC การที่ CMC ช่วยทำให้ขนมปังแซนด์วิชโอคาราขึ้นฟูมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ขนาดของ air cell ใหญ่ขึ้น ขนมปังแซนด์วิชโอคาราจึงมีสีอ่อนลง เมื่อนำขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม CMC ที่ระดับต่างๆไปทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 4.13 พบว่าการเพิ่มปริมาณของ CMC จาก 1 เปอร์เซ็นต์ไปเป็น 2 เปอร์เซ็นต์ทำให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเติม CMC มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความชื้นใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังนุ่มขึ้น มีลักษณะปรากฏและสีดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

ของขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์มีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่นโดยเฉพาะด้านความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบ 7.65 อยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังนั้นจึงเลือกขนมปังสูตรที่ใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี 20 เปอร์เซ็นต์ และเติมสารช่วยยึดเกาะ CMC 2 เปอร์เซ็นต์ไปปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการโดยการใช้น้ำมันถั่วเหลืองทดแทนเนยขาวในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.12 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ CMC ที่เติม (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ค่าความสว่าง	ค่าสีแดง	ค่าสีเหลือง
สูตรควบคุม	$78.54^{c} \pm 0.55$	$-0.80^{b} \pm 0.41$	$8.11^{ab} \pm 0.55$
1	$71.38^{a} \pm 0.56$	$-1.07^{a} \pm 0.57$	$6.75^{a} \pm 0.09$
1.5	$71.27^{a} \pm 0.38$	$-0.81^{b} \pm 0.55$	$9.57^{bc} \pm 1.05$
2	$72.19^{a} \pm 0.47$	$-0.82^{b} \pm 0.13$	$9.67^{bc} \pm 1.73$
2.5	$76.22^{b} \pm 0.98$	$-0.79^{b} \pm 0.07$	$10.16^{c} \pm 0.18$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังสูตรที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์ และเติม CMC ที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณ CMC (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	7.15 ± 0.78	6.92 ± 1.13	$6.54^{a} \pm 0.90$	$6.35^{a} \pm 0.89$	$6.65^{a} \pm 0.85$
1.5	7.15 ± 0.92	7.35 ± 0.85	$6.81^{a} \pm 0.94$	$6.69^{ab} \pm 1.26$	$6.85^{ab} \pm 0.97$
2	7.54 ± 0.95	7.35 ± 0.94	$7.50^{b} \pm 0.95$	$7.65^{c} \pm 1.02$	$7.65^{c} \pm 0.85$
2.5	7.15 ± 0.92	7.19 ± 1.02	$7.00^{ab} \pm 0.94$	$7.12^{bc} \pm 1.07$	$7.23^{bc} \pm 0.95$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

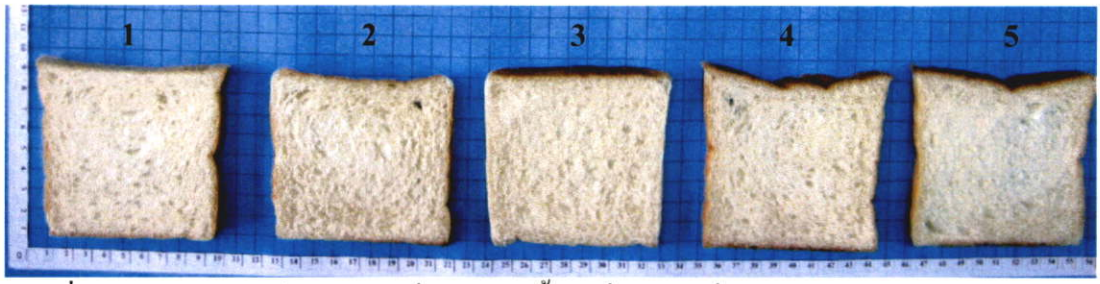
4.3 ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันพืชที่มีคุณภาพประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกาย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ถูกนำมาใช้แทนเนยขาวในสูตรการผลิตขนมปังแซนด์วิชโอคารา นอกจากเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร ยังมีราคาถูกกว่าเนยขาว ในการทดลองผลิตขนมปังโดยใช้โอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ทดแทนแป้งสาลี เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่ใช้เนยขาว แต่ทดลองเติมน้ำมันถั่วเหลือง 4 ระดับคือ 2 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง นำมาวิเคราะห์ปริมาตรจำเพาะและค่าความชื้นของขนมปังโอคาราได้ผลดังตารางที่ 4.14 พบว่าในสูตรที่ไม่ใช้เนยขาว การเพิ่มปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองจาก 2 เป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาตรจำเพาะของขนมปังแซนด์วิชโอคาราสูงขึ้น (ภาพที่ 4.5) และทำให้มีความชื้นภายในขนมปัง ซึ่งไขมันในส่วนผสมมีหน้าที่ช่วยในการหล่อลื่นกลูเตนทำให้ยืดหยุ่นเก็บกักก๊าซได้ ทำให้ปริมาตรของขนมปังเพิ่มขึ้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2541)

ตารางที่ 4.14 ค่าปริมาตรจำเพาะและปริมาณความชื้นของขนมปังสูตรควบคุมกับสูตรทดแทนโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์ และเติมน้ำมันถั่วเหลืองที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	ปริมาตรจำเพาะ (ซม.^{3}/กรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
สูตรควบคุม	$4.20^{d} \pm 0.21$	$39.43^{a} \pm 0.63$
2	$3.07^{a} \pm 0.17$	$42.26^{b} \pm 1.25$
3	$3.48^{b} \pm 0.01$	$41.08^{b} \pm 0.82$
4	$3.57^{bc} \pm 0.03$	$42.32^{b} \pm 0.73$
5	$3.68^{c} \pm 0.02$	$41.99^{b} \pm 0.41$

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.5 ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่มีการเติมน้ำมันถั่วเหลืองที่ระดับต่าง ๆ (1 คือขนมปังสูตรควบคุมใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ จาก 2 ถึง 5 คือขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่ทดแทนด้วยโอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่ใช้เนยขาวและเติมน้ำมันถั่วเหลือง 2 3 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)

เมื่อนำขนมปังแซนด์วิชโอคาราทั้ง 4 สูตรมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.15 พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนด้านกลิ่นรส รสชาติความชอบโดยรวมทั้ง 4 ตัวอย่างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่คะแนนในด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติมน้ำมันถั่วเหลือง 4 เปอร์เซ็นต์สูงกว่าตัวอย่างที่ใช้น้ำมันถั่วเหลือง 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประกอบกับคะแนนในทุกด้านที่ทำการทดสอบอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก สรุปว่าพิจารณาเลือกสูตรที่มีการเติมน้ำมันถั่วเหลือง 4 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อไป

ตารางที่ 4.15 คะแนนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้โอคาราทดแทน 20 เปอร์เซ็นต์เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์ไม่ใช้เนยขาวและเติมน้ำมันถั่วเหลืองที่ระดับต่าง ๆ

ปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์/น้ำหนักแป้ง)	สี	กลิ่นรส^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม^{ns}
2	$7.60^{b} \pm 0.76$	6.84 ± 1.21	6.96 ± 1.10	$6.88^{a} \pm 1.01$	6.88 ± 0.78
3	$7.16^{ab} \pm 0.85$	6.84 ± 0.74	6.92 ± 0.95	$6.80^{a} \pm 0.96$	7.24 ± 0.97
4	$7.12^{ab} \pm 0.97$	7.24 ± 0.97	7.52 ± 1.12	$7.52^{b} \pm 1.05$	7.32 ± 0.99
5	$6.80^{a} \pm 1.00$	6.84 ± 1.21	7.36 ± 0.95	$7.20^{ab} \pm 1.04$	7.12 ± 0.73

^{abc}: อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns}: ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังแซนด์วิชโอคารา

ขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เตรียมจากการใช้โอคาราสด 20 เปอร์เซ็นต์ทดแทนแป้งสาลี เติม CMC 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่ใช้เนยขาวและเติมน้ำมันถั่วเหลือง 4 เปอร์เซ็นต์ ถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหาร และเถ้า เปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุมที่ใช้แป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ได้ผลดังตารางที่ 4.16 พบว่าการใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลี 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของขนมปังเพิ่มขึ้นหลายด้าน อาทิเช่นปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 8.67 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 14.23 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มจาก 0 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 4.84 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณแร่ธาตุ วิตามิน เพิ่มขึ้นจาก 1.51 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 3.02 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไขมันลดลงจาก 8.80 เปอร์เซ็นต์ ไปเป็น 6.21 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากโอคารามีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งสาลี กล่าวคือโอคาราประกอบด้วยโปรตีน 26 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยอาหาร 53 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง และประกอบด้วยวิตามินแร่ธาตุหลายชนิด (Khare และคณะ,1995 และ O'Toole, 1999) ในขณะที่แป้งสาลีมีองค์ประกอบหลักคือแป้ง และประกอบด้วยโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540) จึงทำให้ขนมปังที่ใส่โอคารามีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหาร และเถ้าสูงกว่าขนมปังที่เตรียมจากแป้งสาลีล้วน ๆ ดังนั้นการใช้โอคาราทดแทนแป้งสาลีนอกจากช่วยลดต้นทุนการผลิตขนมปัง เนื่องจากเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับขนมปังแซนด์วิช

ตารางที่ 4.16 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังแซนด์วิชสูตรควบคุมและขนมปังแซนด์วิชโอคารา

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)	สูตรควบคุม	ขนมปังแซนด์วิชโอคารา
โปรตีน	8.67	14.23
คาร์โบไฮเดรต	41.96	32.9
ไขมัน	8.80	6.21
เถ้า	1.51	3.02
เส้นใยอาหาร	0	4.84
ความชื้น	40.06	42.19

4.5 ผลการศึกษาอายุการเก็บของขนมปังแซนด์วิชโอคารา

ผลการประเมินคุณภาพทางจุลินทรีย์แสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน พบการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราระหว่างการเก็บรักษาวันที่ 5 ถึง 7 ในปริมาณที่น้อยกว่า 30 CFU/g นอกจากนี้ไม่พบการเจริญของราที่ผิวของขนมปังเมื่อมองด้วยตาเปล่า แสดงว่าขนมปังแซนด์วิชโอคาราที่เติมแคลเซียมโปรปีโอเนตในปริมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งตามมาตรฐานของ AACC. (2000) สามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 7 วัน ขนมปังแซนด์วิชที่ทำจากแป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ ที่วางขายในท้องตลาดส่วนใหญ่ระบุอายุการเก็บรักษาอยู่ที่ 7 วัน

ตารางที่ 4.17 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมปังแซนด์วิชโอคาราบรรจุในถุงโพลีเอทธิลีนเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	จุลินทรีย์ (CFU/g)	
	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	จำนวนยีสต์และรา
0	ND	ND
1	ND	ND
2	ND	ND
3	ND	ND
4	ND	ND
5	< 30	< 30
6	< 30	< 30
7	< 30	< 30
8	สิ้นสุดการตรวจ	สิ้นสุดการตรวจ

ND ไม่พบจุลินทรีย์ที่ระดับเจือจางต่ำที่สุด 0.1 กรัม

บทที่5
สรุป

1. ผลการศึกษาการใช้โอคาราสดจากโรงงานทดแทนแป้งสาลีในการผลิตขนมปังแซนด์วิชที่ระดับ 15 20 และ 25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้โอคาราทำให้ก้อนโดมีความยืดหยุ่นน้อยลง ปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง เนื้อสัมผัสของขนมปังแข็งขึ้นและค่าสีเหลืองของขนมปังแซนด์วิชโอคารามีค่าเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังแซนด์วิชโอคารา พบว่าความน่าจะเป็นที่สามารถทด แทนโอคาราได้อยู่ที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์

2. ผลการศึกษาการใช้สารช่วยยึดเกาะ 3 ชนิด การเติม HPMC พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังแซนด์วิชโอคาราเพิ่มขึ้นเล็กน้อยไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพของขนมปังแซนด์วิชโอคาราได้ กรณีของ DMG พบว่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังแซนด์วิชโอคาราเพิ่มสูงขึ้น แต่ปริมาณ DMG ที่ใช้ต้องสูงถึง 10-12 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น และกรณีของ CMC พบว่าปริมาตรจำเพาะและความชื้นของขนมปังแซนด์วิชโอคารามีค่าใกล้เคียงกับขนมปังสูตรควบคุม และเมื่อใช้ CMC 2 เปอร์เซ็นต์ทำให้ได้ขนมปังแซนด์วิชที่เตรียมจากการใช้โอคารา 20 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนการยอมรับสูงสุด ดังนั้นจึงพิจารณาเลือก CMC เป็นสารช่วยยึดเกาะ

3. ผลการศึกษาการใช้น้ำมันถั่วเหลืองแทนเนยขาว พบว่าการเติมน้ำมันถั่วเหลืองที่ระดับ 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งสาลี ปริมาตรของขนมปังเพิ่มขึ้น ความชื้นใกล้เคียงกับสูตรควบคุม และเป็นระดับที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับ

4. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าขนมปังแซนด์วิชโอคาราให้คุณค่าทางโภชนาการ โดยมีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหาร และเถ้า สูงกว่าขนมปังสูตรควบคุม

5. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมปังแซนด์วิชโอคารา พบว่าการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วันอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ จุนธนี จิตต์รำพึง. 2539. พจนานุกรม Food additive สำหรับนักอุตสาหกรรมอาหารและเกษตร. จาร์พา 25 : 54.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2541. เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิราภรณ์ สอดจิตร, ธีรพร กงบังเกิด และกนกกานต์ วีระกุล. 2546. "การพัฒนาสูตรแป้งข้าวเจ้าสำเร็จรูปเพื่อผลิตขนมปังโดยใช้กัวร์กัมเป็นสารยึดเกาะ." อาหาร. 33 : 222-232.

ณัชชา สุพิชญางกูล. 2545. "การศึกษาคุณลักษณะโปรตีนจากโอคารา." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นฤมล สู่วงศ์บุตร.2544. "ถั่วเหลือง อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ." องค์การเภสัชกรรม. 27 : 32-34.

นิธิยา รัตนาปนนท์.2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

ปริศนา สุวรรณาภรณ์ เนื้อทอง วนานุวัธ ธงชัย สุวรรณสิชณน์ วาณี ชนเห็นชอบ และ วราภา มหากาญจนกุล. 2544. "การพัฒนาคุณภาพและการเก็บรักษาขนมปังแป้งข้าว." รายงานการวิจัย ชุดโครงการวิจัยการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร.สถาบันคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยวรรณ สุกุมลนันท์. 2537. "การใช้แป้งคัพภะข้าวโพดและแป้งชนิดอื่นทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในการทำขนมปัง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรวีนัส ปั้นหยา. 2544. "การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวเจ้าหอมมะลิ." วิทยานิพนธ์วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร.ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

สุนทร สหัสโพธิ์. 2533. "ความสำคัญของอะมัยโลสและสารยึดเกาะในการผลิตขนมปังโดยใช้แป้งข้าวเจ้า." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2524. มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งสาลีชนิดทำขนมปัง. เอกสารมอก. ที่ 374-2524. *สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม*.กรุงเทพฯ.

ภานุมาศ รุ่งเรืองอารี. 2541. "ผลของแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์และการเสริมโปรตีนต่อคุณภาพของขนมปังจากแป้งข้าวเจ้า." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยุพร พืชกมุทร. 2548. การผลิตขนมทองม้วนจากกากถั่วเหลืองที่ได้จากการผลิตน้ำนมถั่วเหลือง. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7 เทคโนโลยีอาหารก้าวไกล นำไทยสู่ครัวโลก ศูนย์นิทรรศการและการประชุม ไบเทคบางนา, กรุงเทพฯ.

ยุพร พืชกมุทร และกานดา แซ่จิว. 2549. "การใช้ประโยชน์จากโอคาราเพื่อทดแทนแป้งสาลีในคุกกี้เนย." วารสารพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,กรุงเทพฯ.(กำลังตีพิมพ์)

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. ข้าวสาลี : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

AACC. 2000. American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the AACC. 10th ed. St. Paul, MN., U.S.A.

Akihiro.O., Takashi, A. and Makoto, S. 1993. Production of the antifungal peptide antibiotic, Iturin by *Bacillus subtilis* NB22 in solid state fermentation. *J. Ferment. Bioeng.* 75 : 23-27.

Akihiro.O., Takashi, A. and Makoto, S. 1995. Effect of temperature on production of lipopeptide antibiotics, iturin A and surfactin by a dual producer, *Bacillus subtilis* RB14, in solid-stage fermentation. *J. Ferment. Bioeng.* 80 : 517-519.

Akihiro.O., Takashi, A. and Makoto, S. 1996. Use of soybean curd residue, okara, for the solid-state substate in the production of lipopeptide antibiotic, iturin A, by *Bacillus subtilis* NB22. *Process biochemistry*. 31 : 801-806.

AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. Washinton D.C., U.S.A.

Barcenas, M.E. and Rosell, C.M. 2005. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food hydrocolloids.* 19 : 1037-1043.

Bechwith, A.C. and Wall, U.S. 1969. Relationship between structure and rheological properties of gluten. *Cereal Sci. Today.* 14 : 16-20.

Cato,L., Gan, J.J., Rafael, L.G.B. and Small, D.M. 2004. Gluten free breads using rice flour and hydrocolloid gums. *Food Australia.* 56 : 75-78.

Dervas, G., Doxastakis. G., Hadjisavva-Zinoviadi, S. and Triantafillakos, N. 1999. Lupin flour addition to wheat flour doughs and effect on rheological properties. *Food Chem.* 66 : 67-63.

Dow Chemical Company. 1992. U.S.A. From No. 194-00001-692 AMS.

Elin, H., Senol, I. and Paul, A. 2004. Effect of fermented/ germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. *J. Food Eng.* 63 : 177-184.

Elmoneim, A., Elkhalifa, O. and Abdullahi, H. T-EL. 2002. Effect of cysteine on bakery products from wheat–sorghum blends. *Food Chem.*77 : 133-137.

Guermani, L., Villaume, C., Bau, H. W., Chandrasiri, V., Nicolas, J. P. and Mejean, L. 1992. Composition and nutritional value of okara fermented by *Rhizopus oligosporus*. *Sci. Aliment.*12 : 441-451.

Guarda. A., Rosell, C.M., Benedito, C. and Galotto, M.J. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food hydrocolloids.* 18 : 241-247.

Jackson, C. J. C., Dini, J. P., Lavandier, C., Rupasinghe, H. P. V., Faulkner, H., Poysa, V., Buzzell, D. and DeGrandis, S. 2002. Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu. *Process Biochemistry*. 37 : 1117–1123.

Jinshui, W., Cristina, M.R. and Carmen, B.B. 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality . *Food Chem.* 79 : 221–226.

Jongh, G. 1961. The formation of dough of dough and bread structures I. the ability of starch to form structure and the improving effect of glyceryl monostearate. *Cereal Chem.* 38 : 140-145.

Khare ,S.K., Jha, K. and Gandhi, A.P. 1994. Single cell production by solid state fermentation of okara (soy-residue). *Poll. Res.* 13 : 417-420.

Khare ,S.K., Jha, K. and Gandhi, A.P. 1995. Citric acid production from okara (soy residue) by solid-state fermentation. *Bioresource Technol.* 54 : 323-325.

Kim, J.C. and Ruiter de,D. 1968. Bread from non-wheat flours. *Food Technol.* 22 : 867-870.

Kittikun, A. and Tani, Y. 1986 . Preliminary study on microbial production of lipase using soybean residue from tofu making process. *Ann. Rep. ICBiotech.* 9 : 275-276.

Ma, C. Y., Liu, W.S., Kwok, K.C. and Kwok, F. 1996. "Isolation and characterization of proteins from soymilk residuce (okara)." *Food Res. Int.* 29 : 799-805.

Mandola, I.G. 2005. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids. *J. Food Eng.* 66 : 291-300.

Nishita, K.D., Roberts, R.L. and Bean, M.M. 1976. Development of yeast-leavened rice-bread formula. *Cereal Chem.* 53 : 626-635.

Nishita, K.D. and Bean, M.M. 1979. Physicochemical properties of rice in relation to rice bread. *Cereal Chem.* 56 : 185-189.

Noomhorm, A., Bandola, D.C. and Kongseree, N. 1994. Effect of variety, rice flour concentration and enzyme levels on composite bread quality. *J. Sci. Food Agric.* 64 : 433-440.

O' Toole, D.K. 1999. Characteristics and use of okara, the soybean residue from soymilk production-A Review. *J. Agric. Food Chem.* 47 : 363-371.

Rinaldi, V.E.A. 1998. Utilization of okara to produce extruded cereal products. *Agri. Food Sci. And Technol.* 37 : 98.

Rosell, C.M., Rojas, J.A. and Barber, C.B. 2001 Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food hydrocolloids.* 15 : 75-81.

Rouille, J., Della, V.G., Lefebvre, J. Sliwinski, E. and Van, V.T. 2005. Shear and extensional properties of bread doughs effected by their minor components. *J. Cereal Sci.* 42 : 45-57.

Rujirej, N. 2001. *Formulation of diatar fiber enriched bakery products contain in dried okara and defatted dried okara.* M.S. Thesis, Mahidol University. Bangkok.

Shfali, D. and Sudesh, J. 2002. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley flour. *Food Chem.* 77 : 479-488.

Shogren, R.L., Mohamed, A.A. and Carriere, C.J. 2003. Sensory analysis of whole wheat/soy flour breads. *J. Food Sci.* 68 : 2141-2145.

Shurtleff, W. and Aoyagi, A. 1979. *Tofu and soymilk production.* New Age Food Study Center, Lafayette, CA, USA.

Sorensen, M.K. 1970. A yeast-leavened, low protein, gluten free bread. *J. Amer. Diet. Ass.* 60 : 50-53.

Van der Riet, W.B., Wight A.W., Cilliers, J.J.L. and Datel, J.M. 1989. Food chemical investigation of tofu and its byproduct okara. *Food Chemistry. 34: 193-202.*

Van, V.T., Janssen, A.M., Bloksma, A.H. and Walstra, P. 1992. Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. *J. Texture Studies.* 23 : 439–460.

Wachiraphansakul, S. and Devahastin, D. 2005. Drying kinetics and quality of okara dried in a jet spouted bed of sorbent particles. Lebensm-Wiss u.-Technol. 38 : 259-587.

Wang, H.L. and Cavins, J.F. 1989. Yield and amino acid composition of fractions obtained during tofu production. *Cereal Chem.* 66 : 359-361.

Yamaguchi, F., Ota, Y. and Hatanaka, C. 1996. Extraction and purification of pectin polysaccharide from soybean okara and enzymatic analysis of their structures. *Carbohydrate polymer.* 30 : 265-573.

Yokata, T., Hottori, T., Ohishi H., Ohami, H. and Watanabe, K. 1996. Effect of oral administration of crude Antioxidant preparation from fermentation inflammation. Lebensm-Wiss u.-Technol. 29 : 304-309.

Ylimaki, G., Hawrysh, Z.J., Hardin R.T. and Thomson, A.B.R. 1988. Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads : Objective measurements. *J. Food Sci* 53 : 1800-1805.

Zee, J. A., Boudreau, A., Bourgeois, M. and Breton, R. 1998. Chemical composition and nutritional quality of faba bean (Vicia – faba L. Minor) based tofu. *J. Food Sci* 53 : 1772-1774.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ทางเคมี

ก.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1.ตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

2.โถดูดความชื้น

3.เครื่องชั่งไฟฟ้า

วิธีวิเคราะห์

1. นำ aluminium can อบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 120 ± 3 องศาเซลเซียส น้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่าง 3-5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ใส่ใน aluminium can
3. นำไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 120 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. ชั่งน้ำหนักนำไปอบซ้ำจนได้น้ำหนักคงที่หรือ ± 0.01 กรัม

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(W_1-W_2)\times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างและภาชนะหาความชื้นก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างและภาชนะหาความชื้นหลังอบ (กรัม)

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1.อุปกรณ์สกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) ประกอบด้วยบีกเกอร์สำหรับใส่ตัวทำละลาย เครื่องควบแน่น(condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)

2.หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)

3.สำลี

4.ตู้อบไฟฟ้า

5.เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด

6.โถดูดความชื้น

วิธีการ

2.1.อบบีกเกอร์สำหรับหาไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 150 มิลลิลิตรในตู้อบไฟฟ้า ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2.2.ชั่งน้ำหนักตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก ประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีให้สารละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

2.3.นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในซอคเลต

2.4.เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ ลงในบีกเกอร์หาไขมันปริมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางลงบนเตาให้ความร้อน

2.5.ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 45 นาที โดยปรับความร้อนให้หยดของสารละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

2.6.ระเหยจนเหลือสารละลายในบีกเกอร์เพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลาย

2.7.นำบีกเกอร์ไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสจนแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความ ชื้น

2.8.ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนใช้วิธีเจลห์ดาล (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1.ขวดย่อยโปรตีน (Kjeldahl flask) ขนาด 250-300 มิลลิลิตร

2.ชุดกลั่นโปรตีน (semi-microdistillation apparatus)

3.ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (volumetric flask)

4.ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร (Erlenmeyer flask)

5.ปิเปต ขนาด 5 , 10 มิลลิลิตร (volumetric pipette)

6.บิวเรต ขนาด 25 มิลลิลิตร (burett)

7.ลูกแก้ว

8.กระดาษกรอง

สารเคมี

1.กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

2.สารเร่งปฏิกิริยา ใช้คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 1 ส่วนต่อโปแตสเซียมซัลเฟต (K_4SO_4) 9 ส่วน

3.สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์กรัม

4.สารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.02 นอร์มัล

5.อินดิเคเตอร์ fashiro indicator เตรียมเป็น stock solution ชั่งเมธิลลีนบลู (methelene blue) 0.2 กรัม ละลายในเอธานอล 200 มิลลิลิตร และชั่ง เมมิลเรด (methyl red) 0.05 กรัม ละลายในเอธานอล 50 มิลลิลิตร นำมาผสมในอัตราส่วน stock solution 1 ส่วน : น้ำกลั่น 2 ส่วน

วิธีการ

3.1.ชั่งน้ำหนักตัวอย่างบนกระดาษกรอง ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงไปในขวดย่อยโปรตีน (ขวด Kjeldahl)

3.2.เติมสารเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร

3.3.นำไปย่อยบนเตาไฟในตู้ควันจนกระทั่งได้สารละลายใส ปล่อยทิ้งให้เย็น

3.4.น้ำไปกลั่นโดยเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์กรัม ปริมาตร 80 มิลลิลิตร

3.5.รองรับสิ่งที่กลั่นได้ด้วยขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ที่บรรจุกรดบอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์

3.6.เติมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด

3.7.กลั่นจนได้สารละลายในขวดจับก๊าซประมาณ 250 มิลลิลิตร

3.8.กลั่นประมาณ 10 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ

3.9.ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้กับสารละลายกรดเกลือ ที่มีความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จะได้จุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน.3.10.ทำ blank ด้วยวิธีการเดียวกับข้อ 3.2. -3.10.

การคำนวณ

ปริมาณโปรตีน(เปอร์เซ็นต์) = $\frac{(a-b) \times N \times 14 \times factor}{W}$

โดยที่ a = ปริมาณสารละลายกรดเกลือที่ใช้เป็นมิลลิลิตร

b = ปริมาณสารละลายกรดเกลือที่ใช้เป็น blank เป็นมิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือเป็นนอร์มัล

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

Factor = 6.25

(น้ำหนักกรัมสมมูลย์ของไนโตรเจน = 14.007)

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1.เตาเผา

2.ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (muffle furnace)

3.โถดูดความชื้น

4.เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด

วิธีการ

4.1.เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิตซ์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงก่อนแล้วนำออกจากเตาเผาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก

4.2.เผาซ้ำอีก ครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดียวกับข้อ 4.2.1. จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้ง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

4.3.ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปเผาในตู้ดูดควันจนหมดควัน แล้วจึงเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และกระทำเช่นเดียวกับข้อ 4.2.1-4.2.2.

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณครูดไฟเบอร์ (Crude fiber) (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.บีกเกอร์สำหรับย่อย 600 มิลลิลิตร

3.เครื่องย่อยที่มีคอนเดนเซอร์สำหรับควบคุมปริมาตรให้คงที่ตลอดระยะเวลาการย่อย

4.กรวยกรองแผ่นโลหะ

5.ถ้วยกระเบื้อง (crucible)

6.เตาเผาไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (furnace muffle)

7.ตู้อบไฟฟ้า(hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้

8.โถดูดความชื้น (desiccator)

9.ที่คีบ (tong)

สารเคมี

1.กรดซัลฟูริก 1.25 เปอร์เซ็นต์

2.โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 เปอร์เซ็นต์

3.ไฮโดรคลอริก 1 เปอร์เซ็นต์

4.เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์

วิธีการ

5.1.ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม (ในกรณีตัวอย่างมีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว) ใส่ในบีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร

5.2.เติมสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร

5.3.นำไปต่อเข้ากับเครื่องย่อยต้มให้เดือดนาน 30 นาที (ในระหว่างการต้มให้เปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องย่อยด้วย)

5.4.นำตัวอย่างที่ผ่านการต้มด้วยกรด มากรองด้วยกรวยกรองแผ่นโลหะของชุดอุปกรณ์ crude fiber

5.5.ล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน จนน้ำที่กรองได้หมดกรด (ทดสอบด้วยลิตมัส)

5.6.ถ่ายตัวอย่างที่เหลือใส่บีกเกอร์ใบเดิม และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มต่อในเครื่องย่อยนาน 30 นาที

5.7.กรองตัวอย่างด้วยกรวยกรองโลหะอันเดิม ล้างด้วยน้ำร้อนเล็กน้อย

5.8.ล้างตัวอย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 10 มิลลิลิตร จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อนต่อจนกระทั่งหมดกรด

5.9.ล้างตัวอย่างครั้งสุดท้ายด้วย เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 10 มิลลิลิตร

5.10.ถ่ายตัวอย่างใส่ crucible (ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว) จากนั้นนำตัวอย่างไประเหยเอธานอลออกบน water bath

5.11.นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ข้ามคืน(หรือที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง)

5.12.นำตัวอย่างไปทำให้เย็นใน desiccatorและชั่งน้ำหนัก (W_1)

5.13.นำตัวอย่างที่เหลือไปเผาหาเถ้าอีกครั้งหนึ่งที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง

5.14.ทำให้เย็นใน desiccator และชั่งน้ำหนัก (W_2)

5.15.คำนวณหา เปอร์เซ็นต์ crude fiber จากสูตร

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละcrude fiber} = \frac{W_1 - W_2 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ก6.การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้จากการคำนวณ ดังสูตร

เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต = 100 – (เปอร์เซ็นต์ความชื้น + เปอร์เซ็นต์โปรตีน + เปอร์เซ็นต์ ไขมัน + เปอร์เซ็นต์เถ้า + เปอร์เซ็นต์เส้นใยอาหาร)

ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber) (AOAC, 2000)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.ครูซิเบิลแก้ว (porosity no.2)

2. vacuum source

3. เตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

4. เตาเผา

5. water baths

6. บีกเกอร์ขนาด 400 และ 600 มิลลิลิตร

7. เครื่องชั่งสองตำแหน่ง

สารเคมี

1.เอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

2. เอทานอล ความเข้มข้น 78 เปอร์เซ็นต์

3. อะซีโตน

4. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์

5. เอนไซม์อัลฟลาอะไมเลส

6. เอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส

7. เอนไซม์โปรติเอส

8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.275 เปอร์เซ็นต์

9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.325 เปอร์เซ็นต์

10. ซีไลท์

วิธีทำ

7.1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 400มิลลิลิตร

7.2. เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร

7.3. เติมเอนไซม์อะไมเลส 0.1 มิลลิลิตร ปิดฝาบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์วางใน water baths ที่ 100 องศาเซลเซียส 15 นาที เขย่าทุก 5 นาที

7.4. ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.275 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

7.5. เติมเอนไซม์โปรตีเอส 5 มิลลิลิตร ปิดฝาบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์วางใน water baths ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 30 นาที เขย่าทุก 5 นาที

7.6. ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องเติมไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.325 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

7.7. เติมเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส 0.3 มิลลิลิตร ปิดฝาบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ วางใน water baths ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 30 นาที เขย่าทุก 5 นาที

7.8. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ร้อน ปริมาณ 280 มิลลิลิตร วางให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

7.9. นำไปตั้งในเครื่อง Vacuum Source ล้างครูซิเบิลแก้วด้วยเอทานอลความเข้มข้น 78 เปอร์เซ็นต์

7.10. ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลแก้วที่อบไล่ความชื้นแล้วให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน เติมซีไลท์ 0.1 มิลลิกรัม

7.11. นำบีกเกอร์ตัวอย่างที่ตกตะกอนแล้ว 1 ชั่วโมง ถ่ายใส่ครูซิเบิลแก้วปล่อยให้กรองทิ้งส่วนเหลว ล้างตัวอย่างที่เหลือด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง

7.12. ล้างต่อด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ล้างด้วยอะซีโตน 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

7.13. นำไปอบในเตาอบที่ 105 องศาเซลเซียส 1 คืน ชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือโดยลบน้ำหนักครูซิเบิลและซีไลท์ออก บันทึกค่า weight residue

7.14. แบ่งตัวอย่างไปวิเคราะห์หาโปรตีนและเถ้า

7.15. ทำ Blank โดยทำเหมือนตามขั้นตอนตั้งแต่ข้อ 1.

การคำนวณ

คำนวณตามสูตร

B = blank, mg = weight residue – Pb – Ab

โดยที่ weight residue คือน้ำหนักของ Blank ที่เหลือ (มิลลิกรัม)

Pb คือ ปริมาณโปรตีนของ Blank (มิลลิกรัม)

Ab คือ ปริมาณเถ้าของ Blank (มิลลิกรัม)

ปริมาณใยอาหาร (เปอร์เซ็นต์) = [(weight residue – P – A – B) weight test portion] x 100

โดยที่ weight residue คือน้ำหนักของ Blank ที่เหลือ (มิลลิกรัม)

P คือ ปริมาณโปรตีนของ Blank (มิลลิกรัม)

A คือ ปริมาณเถ้าของ Blank (มิลลิกรัม)

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ข.1 การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Minalta CR300

วิธีวิเคราะห์

1. ต่อปลั๊กไฟเข้าด้านหลังเครื่องตามช่อง DC
2. เปิด power ไปที่ ON กดที่ CALIBRATE รอประมาณ 5 วินาทีหน้าจอจะแสดงข้อความ

CAL Choo	Y...
x...	y...

3. วางปลายหัววัดให้แนบกับผิวหน้าของ calibrate plate (แผ่นกระเบื้องสีขาว)
4. กดที่ปุ่ม measuring head อย่ายกหัวออกจนกว่าการวัดจะเสร็จสิ้น โดยหน้าจอจะแสดง "END"
5. วางปลายหัววัดให้แนบชิดกับผิวตัวอย่างขนมปัง และทำการวัดเช่นเดียวกับข้อ 4

ข.2 ปริมาตรจำเพาะของขนมปังโดยวิธีแทนที่ด้วยงา (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม,2524)

1. ชั่งน้ำหนักขนมปังที่จะตรวจสอบหลังจากขนมปังเย็นแล้ว
2. ใส่ขนมปังลงในภาชนะที่มีความสูงและความกว้างมากกว่าขนาดของขนมปัง
3. เติมเมล็ดงาให้เต็มภาชนะ
4. วัดปริมาตรเมล็ดงาที่เติมลงไปทั้งหมดด้วยกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
5. วัดปริมาตรภาชนะเช่นเดียวกับข้อ 4

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (ซม.}^3\text{/กรัม)} = \frac{\text{ปริมาตรของภาชนะ - ปริมาตรของภาชนะที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักของขนมปัง}}$$

ภาคผนวก ค
การวัดเนื้อสัมผัส

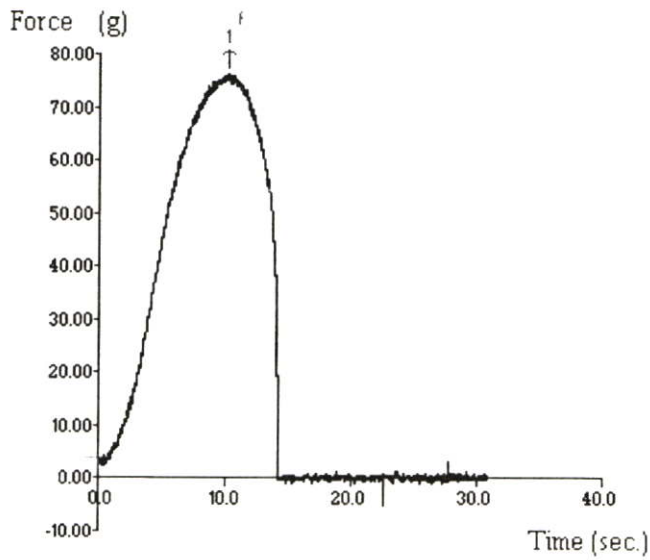
ค.1 การวัดความยืดหยุ่นของโด (Van และคณะ, 1992)

วิธีทำ

1. โดที่ผสมเรียบร้อยแล้ว ชั่งน้ำหนักประมาณ 15 กรัม
2. วางบนแผ่นทับโดเป็นเวลา 40 นาทีโดยมีแผ่นพลาสติกเล็กๆรองตามช่อง
3. ดึงแผ่นพลาสติกขึ้นพร้อมกันสองด้านอย่างระมัดระวังวางโดที่เป็นเส้นบนฐานวัด
4. ใช้หัววัด Kieffer dough (A/KIE) ประกอบเข้ากับเครื่อง
5. ทำการ calibrate เครื่องโดยใช้ตุ่มน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัม
6. ตั้งสภาวะการวัดดังนี้

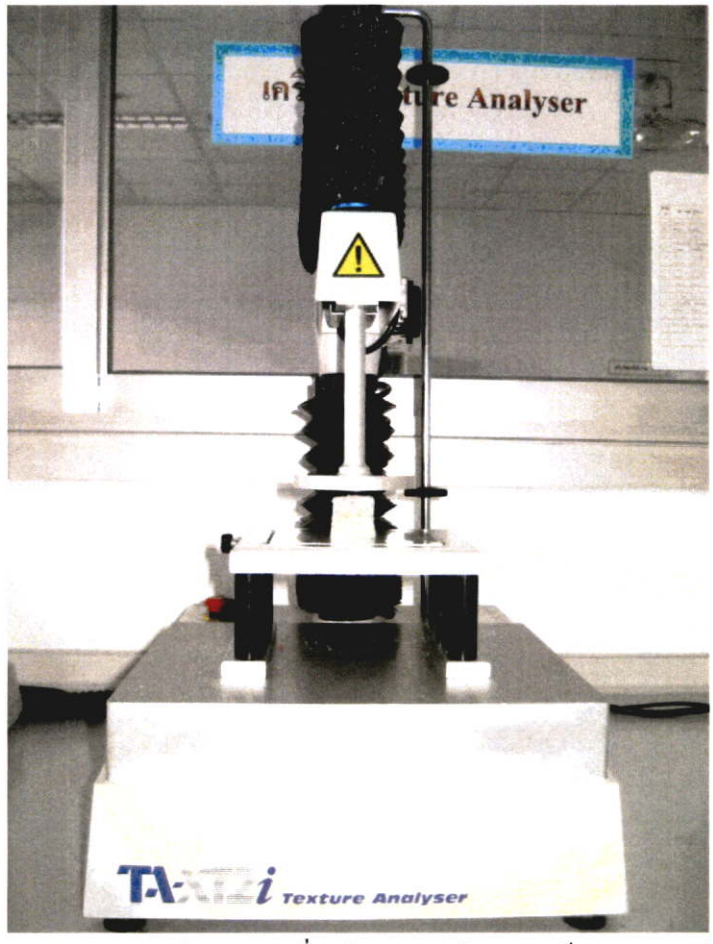
TA-XT2 Settings	Mode :	Measure Force in Tension
	Pre-test speed:	2.0 mm/s
	Test Speed :	3.3 mm/s
	Post-Test Speed :	10.0 mm/s
	Distance :	75 mm
	Trigger Type :	Auto – 5 g
	Data Acquisition Rate :	100 pps

7. ทำการวิเคราะห์หา Max force จากกราฟที่ได้โดยคำสั่งสำเร็จรูป Dough Stickiness



ภาพที่ ค.1.1 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดค่าความยืดหยุ่นของโด

ค.2 การวัดเนื้อสัมผัสของขนมปัง (Rouille และคณะ, 2005)



ภาพที่ ค.1.2 ลักษณะการประกอบเครื่องในการวัดค่าความแข็งของขนมปังแซนด์วิช

การเตรียมตัวอย่าง

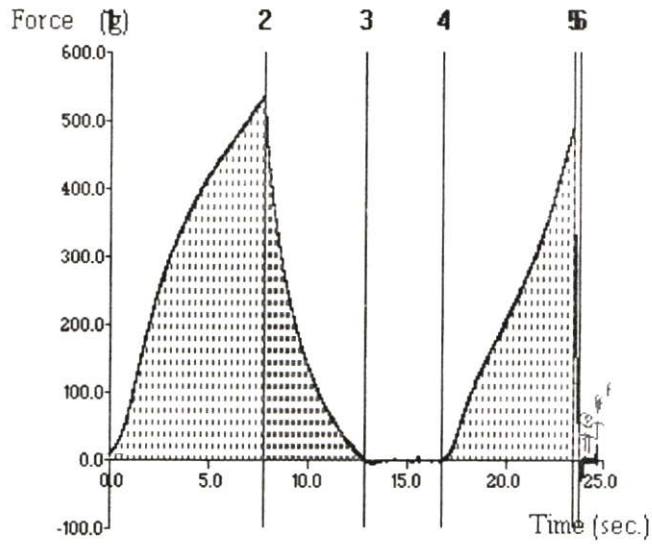
1. นำขนมปังหั่นให้มีขนาด 2×2×2 นิ้ว ที่บริเวณกึ่งกลางของขนมปัง
2. ใช้หัววัด SMS P/75 ประกอบเข้ากับเครื่องดังภาพที่ ค.1.1
3. ทำการ calibrate เครื่องโดยใช้ตุ่มน้ำหนักมาตรฐาน 5 กิโลกรัม
4. ตั้งสภาวะการวัดดังนี้

TA-XT2 Settings	Mode :	TPA
	Break :	off
	Pre-Test Speed :	1.0 mm/s
	Test Speed :	1.0 mm/s
	Post-Test Speed :	0 mm/s
	Deformation :	30 %
	Trigger Type :	Auto – 5 g

Data Acquisition Rate : 400 pps

5. นำตัวอย่างขนมปังแซนด์วิชวางลงบนแท่น และทำการวัด

6. วิเคราะห์ผลโดยคำสั่งสำเร็จรูป Facture TPA ในตำแหน่ง peakที่ 2



ภาพที่ ค.1.3 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดค่าความแข็งของขนมปังแซนด์วิชโอคารา

ภาคผนวก ง

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 9-point hedonic scale test

ผลิตภัณฑ์ ขนมปังถั่วเหลือง

ชื่อ..... วันที่.....

คำแนะนำ

ท่านจะได้รับตัวอย่างที่มีรหัสกำกับ กรุณาชิมตัวอย่างและประเมินผลโดยพิจารณาถึง สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม แล้วให้คะแนนตามระดับความชอบดังนี้

ระดับสเกลความชอบ 9 คะแนน

ชอบมากที่สุด	ให้คะแนนเท่ากับ	9
ชอบมาก	ให้คะแนนเท่ากับ	8
ชอบปานกลาง	ให้คะแนนเท่ากับ	7
ชอบเล็กน้อย	ให้คะแนนเท่ากับ	6
เฉยๆ	ให้คะแนนเท่ากับ	5
ไม่ชอบเล็กน้อย	ให้คะแนนเท่ากับ	4
ไม่ชอบปานกลาง	ให้คะแนนเท่ากับ	3
ไม่ชอบมาก	ให้คะแนนเท่ากับ	2
ไม่ชอบที่สุด	ให้คะแนนเท่ากับ	1

รหัสตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ประวัติผู้เขียน

นางสาววิญญ์ ผิวนิ่ม เกิดวันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วทบ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะเกษตรศาสตร์บางพระ เมื่อปี พ.ศ. 2547 และศึกษาต่อระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วทม.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2550