การพัฒนาขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

นายสรัญ บินมิตตอร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF SNACK FROM RICE FLOUR ADDED WITH VEGETABLE CHIPS

Mr. Sarun Binmittor

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก
โดย	นายสรัญ บินมิตตอร์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

สรัญ บินมิตตอร์ : การพัฒนาขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก (DEVELOPMENT OF SNACK FROM RICE FLOUR ADDED WITH VEGETABLE CHIPS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. วรภา คงเป็นสุข, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์, 107 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแนวสุขภาพ โดยเสริมชิ้นผักในขนมอบกรอบจากแป้งข้าว เริ่มจากการกำหนดสูตรผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และน้ำ ด้วย Mixture Design ได้สูตรแป้งผสมที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 9, 13, 18, 22 และ 24 เพื่อศึกษาระดับของปริมาณแอมิโลสต่อสมบัติทางกายภาพของขนมขบเคี้ยว โดยศึกษาร่วมกับความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบกรอบ โดยแปรความชื้น 4 ระดับได้แก่ ร้อยละ 15, 20, 25 และ 30 พบว่าปริมาณแอมิโลสและปริมาณความชื้นมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 9 มีการพองตัวมากที่สุด และมีความแข็งต่ำที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างกันในทุกระดับความชื้นที่ศึกษา แต่สูตรที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (ร้อยละ 22 และ 24) ผลิตภัณฑ์จะพองตัวมากขึ้นเมื่อมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น จากนั้นคัดเลือกสูตรแป้งและความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบ ที่ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ต่างกัน 5 ระดับ เพื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าสูตรที่ให้คะแนนทางประสาทสัมผัสดีที่สุดคือ สูตรแอมิโลส ร้อยละ 9 ที่มีความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบร้อยละ 20 นำสูตรดังกล่าวมาพัฒนาต่อโดยเสริมชิ้นผัก (แครอท และถั่วลันเตา) ปริมาณร้อยละ 5 และปรับปรุงกรรมวิธีการผลิต โดยแบ่งการอบกรอบเป็น 2 ขั้นตอน นั่นคืออบโดยเปิดภาชนะในช่วงแรก แล้วอบต่อโดยปิดภาชนะ เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการเสริมผัก โดยแปรเวลาในการอบแบบเปิดภาชนะ 3 ระดับได้แก่ 6, 9 และ 12 นาที และแปรเวลาการอบรวม(อบแบบเปิดและปิดภาชนะ) จนสิ้นสุดการอบ 3 ระดับได้แก่ 35, 45, และ 55 นาที พบว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแบบเปิดภาชนะ 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที มีลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้ง และลักษณะปรากฏที่เหมาะสมที่สุด(จากทั้ง 9 สูตร) แต่ชิ้นผักในผลิตภัณฑ์ยังมีสีเข้มและไหม้ จึงศึกษาเพิ่ม เติมโดยแปรเวลาในการอบแบบเปิดภาชนะเป็น 7.5, 9 และ 10.5 นาที และใช้เวลาในการอบรวมเป็น 40 นาที เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ พบว่าการอบแบบเปิดภาชนะ 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที ให้ผลด้านเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับอบแบบเปิดภาชนะ 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที มากที่สุด แต่จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าทั้ง 2 ภาวะดังกล่าวยังไม่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ เนื่องจากสีชิ้นผักและเนื้อสัมผัสยังไม่เป็นที่ยอมรับ จึงหาแนวทางในการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยเปลี่ยนรูปร่างลดขนาดของชิ้นแป้ง และใช้การอบด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับเตาอบไฟฟ้า ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับจากผู้ทดสอบ

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4672373623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORDS : SNACK/AMYLOSE/RICE FLOUR/VEGETABLE

SARUN BINMITTOR: DEVELOPMENT OF SNACK FROM RICE FLOUR ADDED WITH VEGETABLE CHIPS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. VARAPHA KONGPENSOOK, Ph.D., THESIS COADVISOR: KANITHA TANANUWONG, Ph.D., 107 pp.

The purpose of this research was to develop a healthy snack form rice flour added with vegetable chips. Five formulas with different levels of amylose contents (9, 13, 18, 22 and 24%) were prepared from mixed rice flour, glutinous rice flour and water using the Mixture design. A factorial experiment was conducted to study the effects of formulations together with moisture contents of the pellets (15, 20, 25 and 30%) on the physical properties of the products. The results stated the significant interactions between the two factors ($p<0.05$). The products from the 9% amylose formulas had the highest expansion ratio and the lowest hardness. Physical properties of these products which contained 4 levels of moisture contents were not different. The higher amylose products had higher density and hardness, especially at the lower levels of moisture content. Then, five products represented different hardness levels were selected for sensory evaluation. The results showed that the 9% amylose formula with 20% moisture content of the pellets had the most appropriate textural properties with the highest acceptance scores. For the further development, five percents of vegetables (carrot and pea) were added in that formula. However, the process was modified in order to improve the appearance and the texture qualities of the products. The baking process was split into 2 states, uncovered the baking tray (the uncovered state) at the beginning and then covered the tray with aluminum foil (the covered state). The total baking times were varied at 3 levels (35, 45 and 55 min) with varying times for the uncovered state as 6, 9 and 12 min. Among the 9 treatments, the products baked at 9 min of the uncovered state/ 45 min total had the most appropriated physical properties, but the color of the vegetable chips was too dark. Additional experiment was conducted by varying times for the uncovered state as 7.5, 9 and 10.5 min with 45 min of total baking time. The products baked at 10.5 min of the uncovered state/ 40 min total had the physical properties close to the products baked at 9 min of the uncovered state/ 45 min total. However, both products were not accepted in the sensory evaluation because of the dark color of the vegetable chips. To improve the color of the vegetable chips, the further development was examined. The shape of the pellets was changed and the size was reduced. Both microware oven and electric oven were used. By these processes, the product was accepted in both appearance and texture qualities.

Department…….Food Technology……. Student's signature……...
Field of study……..Food Technology……. Advisor's signature……
Academic year……..…2007……. Co-advisor's signature……...

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภา คงเป็นสุข และ อาจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งได้อบรมสั่งสอนให้มีความรอบคอบ รับผิดชอบต่อหน้าที่ และตั้งใจปฏิบัติงาน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นินนาท ชินประหัษฐ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และอาจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณและขอบคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์และให้การสนับสนุนด้านต่างๆ ของงานวิจัยนี้

- ดร. ปนิดา บรรจงสินศิริ ผู้สนับสนุนให้ทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
- บริษัทโรงเส้นหมี่ชอเฮง ที่อุปการะแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียวที่ใช้ในการทดลอง

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ทั้งในด้านวิชาการ และจริยธรรม

ขอบคุณ พี่ปริญญาเอก พี่น้อง และเพื่อนๆ ปริญญาโทภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจกันมาตลอดการวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณปู่ คุณย่า คุณตา คุณยาย ญาติ พี่ น้อง และเพื่อนๆสมัยมัธยมฯ ที่ได้สนับสนุนด้านการศึกษาและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ตลอดจนให้กำลังใจอันมีค่ายิ่งเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ฎ

บทที่

1. บทนำ..... 1
2. วารสารปริทัศน์..... 2
   - 2.1 แป้งข้าว (Rice flour)..... 2
   - 2.2 สมบัติของแป้งข้าว..... 2
   - 2.3 การใช้ประโยชน์จากแป้งข้าว..... 8
   - 2.4 แครอท (Carrot)..... 9
   - 2.5 ถั่วลันเตา (Pea)..... 11
   - 2.6 ขนมขบเคี้ยว (Snack food)..... 12
   - 2.7 การให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ..... 16
   - 2.8 ปัญหาทางโภชนาการในเด็กและเยาวชน..... 17
3. การดำเนินงานวิจัย..... 18
   - 3.1 เก็บข้อมูลด้านพฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยว และแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์..... 20
   - 3.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว..... 20
   - 3.3 ศึกษาสูตรและกรรมวิธีในการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าว..... 20
   - 3.4 พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมผัก..... 23
   - 3.5 แนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมผัก..... 27

หน้า

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 30
4.1 ข้อมูลด้านพฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยว และแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์..... 30
4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว..... 35
4.3 ผลการศึกษาสูตรและกรรมวิธีในการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าว..... 35
4.4 ผลการพัฒนาขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 45
4.5 ผลของการวางแนวทางปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 58
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 63
รายการอ้างอิง..... 65
ภาคผนวก..... 69
ภาคผนวก ก. 70
ภาคผนวก ข. 73
ภาคผนวก ค. 81
ภาคผนวก ง. 83
ภาคผนวก จ. 86
ภาคผนวก ฉ. 87
ภาคผนวก ช. 88
ภาคผนวก ซ. 91
ภาคผนวก ฌ. 94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 107

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ปริมาณแอมิโลส และคุณสมบัติของข้าว…….. 8
2.2 คุณค่าทางอาหารของแครอทต่อ 100 กรัม…….. 10
2.3 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดถั่วลันเตาต่อ 100 กรัม…….. 11
3.1 ปริมาณส่วนผสมแป้งทั้ง 5 สูตรที่กำหนดโดย Mixture Design..... 20
4.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 150 คน…….. 30
4.2 พฤติกรรมการบริโภค และทัศนะคติที่มีต่อขนมขบเคี้ยว..... 31
4.3 ทัศนคติของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายต่อการรับประทานผัก และความสนใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนา..... 34
4.4 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ และปริมาณแอมิโลสของวัตถุดิบ…… 35
4.5 ปริมาณแอมิโลสในสูตรผสมแป้งทั้ง 5 สูตร…….. 36
4.6 สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลางของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ…….. 38
4.7 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ..... 38
4.8 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 ของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ..... 39
4.9 ความหนาแน่นของชิ้นแป้งหลังการอบกรอบ…… 40
4.10 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว…….. 41
4.11 ค่าความเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว…… 42
4.12 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว…… 44
4.13 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว..... 44
4.14 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก 46
4.15 ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก…… 47
4.16 สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลางชิ้นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 48
4.17 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 48

ตารางที่ **หน้า**

4.18 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 49

4.19 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 49

4.20 ความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 50

4.21 ความเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 50

4.22 ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 51

4.23 ค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 52

4.24 ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 52

4.25 ผลการวัดสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยการอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10.5 นาที/เวลาอบรวม40 นาที เปรียบเทียบกับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที..... 55

4.26 ผลการวัดสมบัติทางกายภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยการอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที เปรียบเทียบกับการอบแบบเปิด 9 นาที /เวลาอบรวม 45 นาที..... 56

4.27 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ 57

4.28 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ 57

4.29 สาเหตุของการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และข้อเสนอแนะ 58

4.30 ผลการวัดสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงขนาดและกรรมวิธีการอบ..... 60

4.31 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด..... 60

4.32 คะแนนของผลิตภัณฑ์แบบปรับปรุงที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัส. 61

4.33 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) และ พลังงานที่ได้รับจากการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก 100 กรัม..... 62

ค.1 ระยะเวลาการทำแห้งชิ้นแป้งเพื่อควบคุมปริมาณความชื้น..... 82

ฉ.1 ระยะเวลาการอบกรอบผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว ให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4..... 87

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของแอมิโลส..... 3
2.2 โครงสร้างของแอมิโลเพกติน..... 4
2.3 ลักษณะโครงสร้างเกลียวคู่ของแอมิโลเพกติน..... 4
2.4 ลักษณะโครงสร้างแอมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน..... 5
2.5 ระยะการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง..... 6
2.6 การเกิดรีโทรกราเดชัน..... 7
2.7 การจำแนกประเภทของไรซ์แครกเกอร์ โดยใช้วัตถุดิบในการผลิต..... 14
2.8 การจำแนกประเภทของไรซ์แครกเกอร์โดยใช้ความถ่วงของขนม..... 15
2.9 กรรมวิธีการผลิตไรซ์แครกเกอร์..... 16
3.1 กรรมวิธีการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าว..... 22
3.2 กรรมวิธีการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก..... 25
3.3 กรรมวิธีการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักแบบปรับปรุง..... 28
4.1 สูตรและภาวะการผลิตที่คัดเลือกไปทดสอบทางประสาทสัมผัส (ก. - จ.)..... 43
4.2 ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบกรอบแบบเปิดภาชนะ..... 45
4.3 ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบกรอบแบบ 2 ขั้นตอน..... 45
4.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยภาวะต่างๆ และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (ก. - ญ.)..... 53
4.5 ผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยภาวะอบแบบเปิดเปิด 9 นาที /เวลาอบรวม 45 นาที..... 54
4.6 ผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยภาวะอบแบบเปิด10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที..... 54
4.7 ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักแบบปรับปรุง (ก. และ ข.)..... 59
ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส..... 79
ค.1 ระยะเวลาการทำแห้งชิ้นแป้งที่สูตรแป้งแอมิโลสต่างๆ..... 81
ค.2 ระยะเวลาการทำแห้งชิ้นแป้งเสริมชิ้นผัก..... 82
จ.1 Texture profile จาก เครื่อง Instron texture analyzer 5565..... 86

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปัญหาภาวะโภชนาการเกินเพิ่มขึ้น โดยพบมากขึ้นในกลุ่มเด็กและวัยรุ่น ซึ่งอาจเสี่ยงต่อการเป็นโรคอ้วน เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคอาหารประเภท junk food ขนมขบเคี้ยว และน้ำอัดลมที่เพิ่มขึ้น แต่บริโภคผักและผลไม้น้อยลง จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาขนมขบเคี้ยวให้เป็นอาหารที่ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้บริโภค

ขนมขบเคี้ยวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายจากผู้บริโภคทุกเพศทุกวัย เนื่องจากเป็นอาหารรับประทานเล่นระหว่างมื้ออาหารหลัก มีรสชาติหลากหลาย รับประทานง่าย และหาซื้อได้ทั่วไป จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวรูปแบบใหม่ๆขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นเด็กและเยาวชน ซึ่งส่วนใหญ่ยังไม่มีความรู้ทางโภชนาการมากนัก และไม่ใส่ใจต่อปัญหาสุขภาพ การบริโภคขนมขบเคี้ยวมากเกินไปอาจทำให้รับประทานอาหารมื้อหลักได้น้อยลง หรืออาจถึงขั้นปฏิเสธอาหารมื้อหลัก ทำให้เกิดภาวะขาดสารอาหารส่งผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย นอกจากนี้ขนมขบเคี้ยวส่วนใหญ่เป็นอาหารที่มีแป้ง และไขมันสูง เป็นอาหารให้พลังงานสูง การบริโภคเกินความจำเป็นมีความเสี่ยงทำให้เกิดโรคอ้วนและโรคอื่นๆตามมาเช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคหลอดเลือด และโรคความดันโลหิต เป็นต้น ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสำหรับเด็กและเยาวชน ควรจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำ และเสริมคุณค่าทางโภชนาการจากแหล่งอื่น เช่น พืชผัก หรือธัญพืช เพราะปัจจุบันเด็กและเยาวชนไม่ชอบรับประทานผักและผลไม้ การเสริมพืชผักในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้ผู้บริโภคเริ่มคุ้นเคยกับผัก และสนใจที่จะรับประทานผักผลไม้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เด็กและเยาวชนได้รับวิตามิน เกลือแร่ และใยอาหาร การเสริมผักในขนมขบเคี้ยวจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะนอกจากจะให้ประโยชน์ต่อสุขภาพแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าเกษตรกรรมภายในประเทศอีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว โดยเสริมคุณค่าทางโภชนาการจากพืชผักที่มีทั้งวิตามินและใยอาหาร ซึ่งจะทำให้เด็กๆหันมาสนใจการรับประทานผักเพิ่มขึ้น นำมาผลิตด้วยกรรมวิธีการอบแทนการทอดด้วยน้ำมันทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีไขมันต่ำ มีคุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 แป้งข้าว (Rice flour)

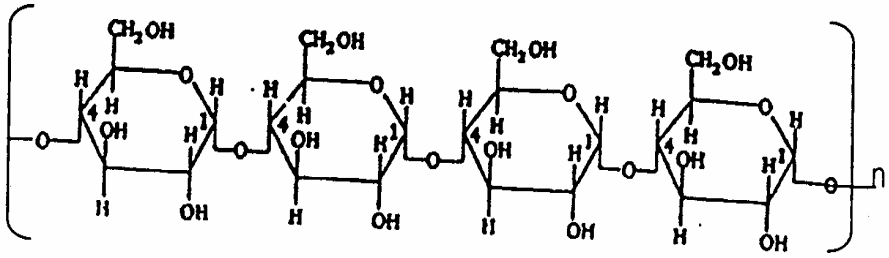
แป้งข้าวได้จากการโม่เมล็ดข้าวให้ละเอียด วัตถุดิบที่ใช้ผลิตคือ ข้าวหัก หรือปลายข้าว กรรมวิธีในการผลิตมี 3 วิธี คือ วิธีการโม่แห้ง โม่น้ำ และวิธีโม่ผสม (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตร, 2544) แป้งที่ได้จากการโม่แห้งเป็นแป้งที่มีลักษณะหยาบ คุณภาพต่ำ มีสิ่งเจือปนมาก แป้งที่ได้มีอายุการเก็บสั้น เพราะเกิดกลิ่นหืนจากไขมันที่เหลืออยู่ในเมล็ดข้าว วิธีการโม่น้ำ(โม่เปียก) เป็นวิธีที่แพร่หลายในปัจจุบัน แป้งที่ผลิตได้มีคุณภาพดี ละเอียด มีสิ่งเจือปนน้อย มีความละเอียดสูง ส่วนวิธีโม่ผสมนั้นจะแช่ข้าวก่อนโม่ แล้วนำไปอบแห้งหรือนึ่งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ข้าวสุก และลดความชื้นเหลือร้อยละ 9-10 จากนั้นจะนำไปโม่ละเอียด แป้งที่ได้จะมีความละเอียดน้อยกว่าแป้งชนิดโม่น้ำ เพราะเมล็ดข้าวสุกแห้งจะมีความแข็งมาก แต่การนึ่งข้าวด้วยความร้อนสูงจะช่วยทำลายเอนไซม์ที่ย่อยไขมัน (lipase) ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระที่เป็นสาเหตุของกลิ่นหืนได้ แป้งที่ได้จึงเป็นแป้งคุณภาพสูงและสามารถนำไปใช้ทำขนมเฉพาะอย่างได้ เช่น ขนมโก๋ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2534)

2.2 สมบัติของแป้งข้าว

แป้งข้าวถือเป็นวัตถุดิบมูลฐานของผลิตผลทางการเกษตร มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ไม่จับตัวเป็นก้อน ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 13 เมื่อนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงจะพบเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กประมาณ 2-9 ไมโครเมตร กระจายตัวอยู่ และบางส่วนจับกันเป็นกลุ่ม เม็ดสตาร์ชจะมีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่เกี่ยวกันเป็นสายโซ่ยาว เรียกว่าแอมิโลส (amylose) หากน้ำตาลกลูโคสมาเกาะเกี่ยวกันอยู่ในรูปที่มีกิ่งก้านที่แตกแขนงออกไปคล้ายกิ่งไม้ เรียกพอลิเมอร์นี้ว่า แอมิโลเพกติน (amylopectin) ทั้งสองพอลิเมอร์จะเกาะเกี่ยวกันอย่างหนาแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งสัดส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกตินจะแตกต่างกันตามชนิดของแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.2.1 แอมิโลส (amylose)

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage (รูปที่ 2.1) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงทำให้สามารถจับกับโมเลกุลอื่นได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน เช่น แอมิโลสจับกับแอมิโลเพกตินเป็นเกลียวคู่ (double helices) ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง (Bowers, 1992) นอกจากนี้แอมิโลสยังสามารถจับกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose-lipid complex) ที่มีความคงทน การทำลายพันธะนี้ต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส (Kugimiya, Donovan, and Wong 1980)

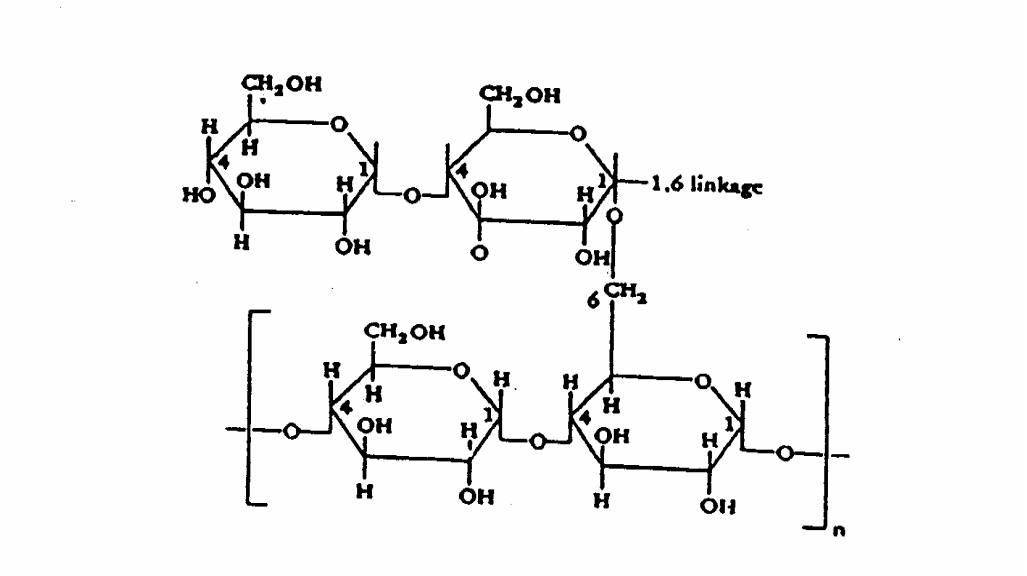


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแอมิโลส
ที่มา: Penfield and Campbell (1990)

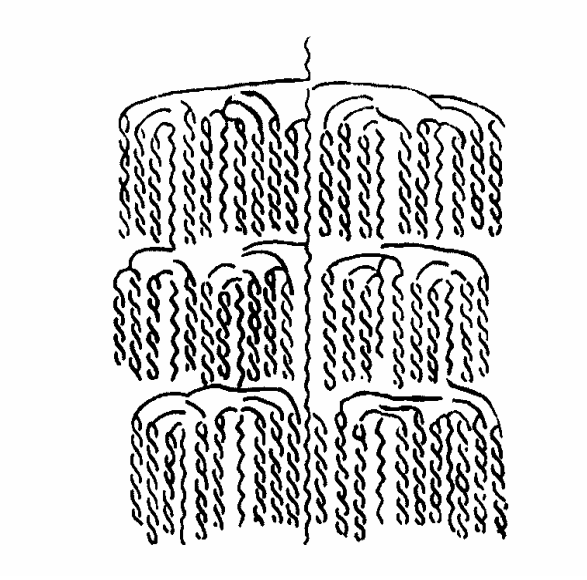
2.2.2 แอมิโลเพกติน (amylopectin)

แอมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมีระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic linkage (รูปที่ 2.2) แอมิโลเพกตินมีน้ำหนักมากกว่าแอมิโลสประมาณ 1,000 เท่า คือ ประมาณ 10^7-10^9 ดาลตัน เนื่องจากขนาดที่ใหญ่กว่าและมีกิ่งสาขาทำให้มีการคืนตัวต่ำ แอมิโลเพกตินสามารถเกิดเกลียวคู่ (รูปที่ 2.3) โดยใช้พันธะไฮโดรเจน และแรงวันเดอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน โซ่กิ่งแอมิโลเพกตินทั้งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่ม (cluster) เดียวกัน หรือระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกันจะมีการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างผลึกภายในเม็ดแป้ง (Hizukuri, 1986) ดังนั้น จึงทำให้แอมิโลเพกตินมีความสำคัญมากกว่าแอมิโลสทั้งด้านโครงสร้างหน้าที่ และการนำไปใช้งาน โดยแอมิโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวกันได้ทำให้เกิด

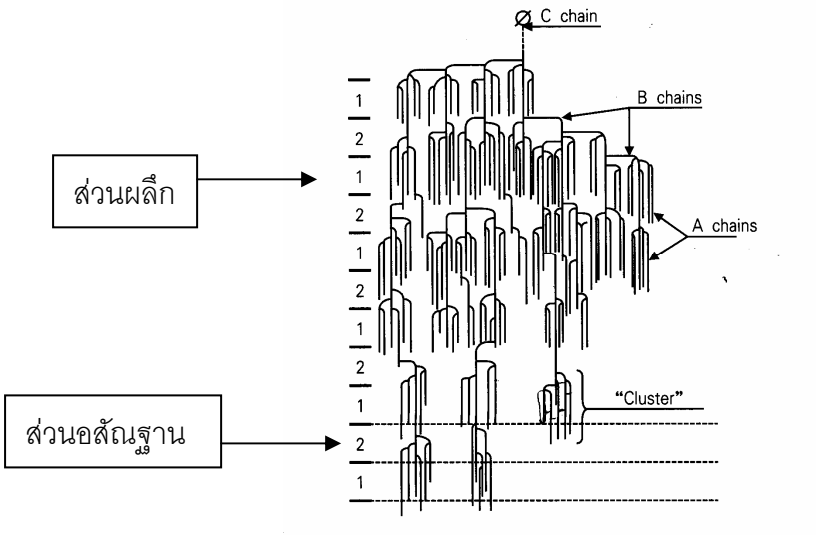
โครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) (รูปที่ 2.4) ซึ่งรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแอมิโลเพกติน
ที่มา: Penfield and Campbell (1990)



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างเกลียวคู่ของแอมิโลเพกติน
ที่มา: Hizukuri (1986)



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างแอมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน
ที่มา: Robin *et al*. (1974)

อัตราส่วนของปริมาณแอมิโลสต่อแอมิโลเพกตินมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง รวมถึงความเหนียวและความใสของแป้งเปียกที่ได้หลังจากการเกิดเจล เนื่องจากสมบัติของ แอมิโลส และแอมิโลเพกตินมีความแตกต่างกันคือ แอมิโลสเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ดี แต่เมื่อต้มในน้ำจะให้ความหนืดน้อยกว่า แต่ให้ความขุ่นมากกว่า และเกิดเจลได้ดีกว่าแอมิโลเพกติน แป้งที่มีแอมิโลสสูงจะมีอุณหภูมิในการพองตัวสูงกว่าปกติเมื่อทำให้เกิดการพองตัวอย่างสมบูรณ์ การคืนตัวของแป้งที่มีแอมิโลสน้ำหนักโมเลกุลต่างกันจะให้ผลที่ต่างกัน (Whistler and Smart, 1953) โดยแอมิโลสที่มีขนาดเล็กเกินไป จะมีการเคลื่อนที่อยู่เสมอ การจัดเรียงตัวใหม่เกิดได้ลำบาก การคืนตัวจึงเกิดได้ยาก แต่ถ้ามีขนาดใหญ่เกินไป การคืนตัวจะเกิดช้าเนื่องจากโมเลกุลเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น

2.2.3 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

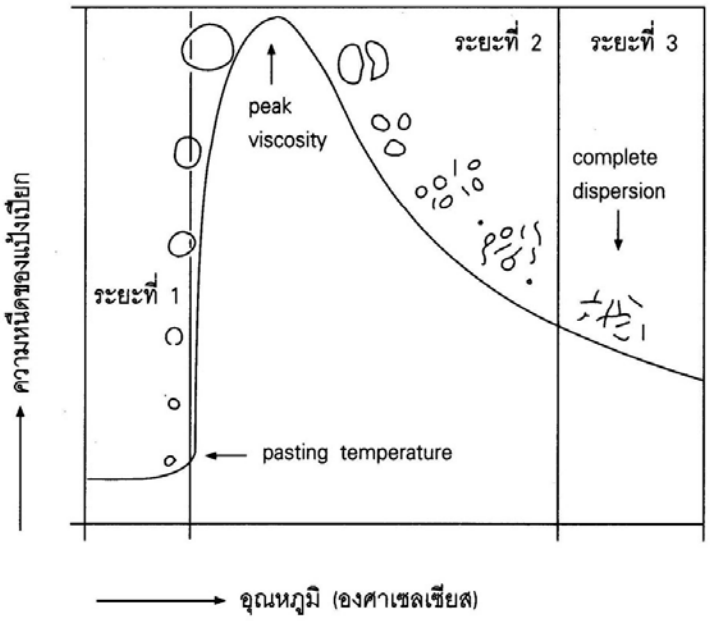
เนื่องจากเม็ดแป้งมีโครงสร้างกึ่งผลึก (semi-crystalline structure) ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach, McCowen and Schoch, 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง อิทธิพลร่วมของน้ำและความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว น้ำแป้งจะมีความหนืดและใสมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งที่พองตัว

และมีขนาดใหญ่จะเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ระยะ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ระยะแรก เม็ดแป้งจะดูดน้ำเย็นได้จำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ (reversible) ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้

ระยะที่สอง ผลของการให้ความร้อนในระบบที่มีน้ำเกินพอจะทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำและพองตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เกิดการทำลายโครงสร้างผลึกในเม็ดแป้งจึงทำให้ birefringence ถูกทำลาย ความหนืดของสารแขวนลอยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แอมิโลสจะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น

ระยะที่สาม เมื่อให้ความร้อนต่อไป รูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล



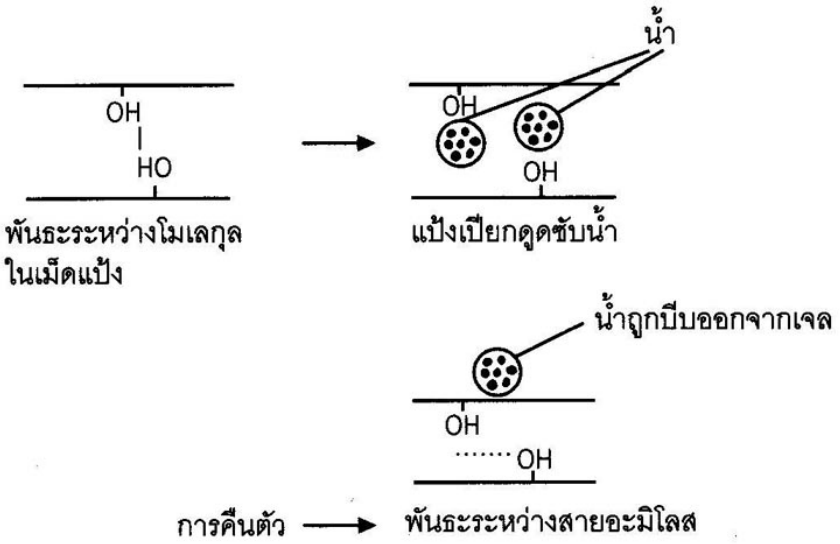
รูปที่ 2.5 ระยะการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

เจลาติไนเซชันจัดเป็นกระบวนการดูดความร้อน (endothermic process) ซึ่งในระหว่างเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ และแอมิโลสจะไหลออกจากเม็ดแป้ง เมื่อเม็ดแป้งเกิดการพองตัวแป้งจะมีความหนืดเกิดเป็นลักษณะ

ของเพสต์ (paste) ซึ่งโครงสร้างและสมบัติของเพสต์หรือ เจล เป็นปัจจัยเบื้องต้นที่จะส่งผลกระทบถึงคุณภาพเนื้อสัมผัสของอาหารได้

2.2.4 การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation)

เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาติไนเซชันแล้วยังให้ความร้อนต่อไปอีกจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่และแตกออก ทำให้ความหนืดลดลง โมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กจะละลายอยู่ในน้ำแป้ง เมื่อปล่อยให้ระบบเย็นตัวลง โมเลกุลแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำได้ดีและเกิดเป็นเจลขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกการเรียงตัวของโมเลกุลภายในโครงสร้างเจลจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในเจลจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่น และมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเกิดรีโทรกราเดชัน

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

การเกิดรีโทรกราเดชันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บ ความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของแอมิโลส แอมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆในแป้ง

ปริมาณและขนาดของแอมิโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัว โดยแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิโลเพกตินสูง อัตราการคืนตัวจะสูงสุดเมื่อขนาดโมเลกุล (degree of polymerization) ของแอมิโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของแอมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ แอมิโลเพกตินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ,2546) Fan และ Marks (1998) พบว่า แป้งจากข้าวที่มีสายพันธุ์แตกต่างกันจะให้อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันที่แตกต่างกัน และยังขึ้นกับปริมาณแอมิโลสในแป้งแต่ละชนิดด้วย โดยแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดรีโทรกราเดชันได้เร็วกว่า

2.3 การใช้ประโยชน์จากแป้งข้าว

แป้งข้าวที่ผลิตขึ้นเพื่อการบริโภค หรือใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นๆในปัจจุบันนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ตามชนิดของพันธุ์ข้าวที่นำมาทำเป็นแป้ง และปริมาณแอมิโลสของข้าวพันธุ์ต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มข้าวตามปริมาณแอมิโลส ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแอมิโลส และคุณสมบัติของข้าว

ชนิดข้าว	ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ลักษณะข้าวสุก	การใช้ประโยชน์
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก	บริโภค ทำขนมหรืออาหารว่าง
ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ	10-19	เหนียวนุ่ม	บริโภคเป็นข้าวสุก
ข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วน	บริโภค แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์
ข้าวเจ้าแอมิโลสสูง	26-34	ร่วนแข็ง	แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ที่มา: งามชื่น คงเสรี, 2538

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวหรือแป้งข้าว มักใช้ข้าวที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป ตามปริมาณแอมิโลส เช่น ข้าวเหนียวที่มีปริมาณแอมิโลสน้อยมากมักใช้เป็นส่วนผสมของของหวาน ขนมพุดดิ้ง และซอสต่างๆ หรือใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารประเภทพองกรอบ (expanded product) เช่น อาราเร (arare)

ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำนิยมนำไปผลิต breakfast cereal และอาหารสำหรับเด็กอ่อน เนื่องจากปริมาณแอมิโลสต่ำทำให้เจลแข็งตัวช้าในระหว่างการเก็บรักษา ในการผลิตข้าวพองจากข้าวนึ่งก่อนสีและข้าวตอกจากข้าวสาร นิยมใช้ข้าวเหนียว หรือข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ เนื่องจากมีความสามารถในการพองตัวได้ดีมาก หรือใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารประเภทพองกรอบ เช่น เซมเบ้ (senbei)

ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลางนิยมนำไปใช้เป็นส่วนผสมในซุปกระป๋อง ซุปแห้ง และในประเทศฟิลิปปินส์มีการผลิตเค้กข้าวหมักจากข้าวที่มีแอมิโลสปานกลาง ซึ่งจะให้เจลที่อ่อนนุ่มและคงตัวได้ดี เพราะแป้งดังกล่าวมีคุณสมบัติในการขยายตัวทางปริมาตรที่พอเหมาะระหว่างนึ่งด้วยไอน้ำ

ข้าวแอมิโลสสูงให้เจลที่แข็งจึงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากให้เจลที่ทนทานต่อการสลายตัวในระหว่างหุงต้ม (งามชื่น คงเสรี, 2538)

2.4 แครอท (Carrot)

แครอท มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Daucus carota var sativa อยู่ในตระกูล Umbelliferae เช่นเดียวกับ คื่นฉ่าย (celery) และผักชีฝรั่ง (parsley) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในยุโรป เอเชีย และอเมริกาเหนือ เป็นพืชสองฤดู (biennial) เป็นพืชหัวที่มีราก ปลูกเพื่อนำส่วนรากมาใช้ประโยชน์ (Douglas and Considine, 1982) เป็นแหล่งสำคัญของวิตามินเอ บีหนึ่ง บีสอง และซี (Ware and McCollum, 1980) และยังเป็นแหล่งที่ดีของ dietary fiber ด้วย (Brunsgaard *et al.,* 1994) มีหลายสี ตั้งแต่สีส้ม สีส้มแดงไปจนถึงสีเหลือง เนื่องจากมีรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่ให้สีในแครอท โดยเฉพาะเบต้าแคโรทีน (β-carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ มีปริมาณร้อยละ 45-80 ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และยังมีแอลฟาแคโรทีน (α-carotene) ประมาณร้อยละ 15-40 ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ในขณะที่ β-zeacarotene , แกมมาแคโรทีน (γ-carotene) และไลโคปีน (lycopene) มีปริมาณร้อยละ 3-6 ปริมาณเบตาแคโรทีนในแครอทขึ้นอยู่กับพันธุ์ ขนาด ความแก่อ่อน อุณหภูมิ และฤดูในการปลูก โดยพบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนในแครอทมีปริมาณประมาณ 0.85-8.5 มิลลิกรัม/100กรัม น้ำหนักสด (Heinonen, 1990) สำหรับทางด้านคุณค่าทางอาหารของแครอทนั้น กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุขได้แสดงคุณค่าทางอาหารของแครอทไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางอาหารของแครอทต่อ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	85.1
พลังงาน (ยูนิต)	55
ไขมัน (กรัม)	0.4
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	12.4
เส้นใย (กรัม)	0.9
โปรตีน (กรัม)	1.3
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	60
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	28
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.7
วิตามินเอ (IU)	18520
วิตามินบี1 (มิลลิกรัม)	0.04
วิตามินบี2 (มิลลิกรัม)	0.04
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	9
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	0.6

ที่มา: กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2530

จะเห็นได้ว่าแครอทเป็นแหล่งสำคัญของวิตามินเอ ซี บี1 และบี2 โดยเฉพาะเบต้าแคโรทีนที่พบมากในแครอท ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Provitamin A) และเป็นสารยับยั้งอนุมูลอิสระ ทำให้เบต้าแคโรทีนมีส่วนเกี่ยวข้องกับการลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคต้อกระจก รวมทั้งยังกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันภายในร่างกาย และเมื่ออยู่ในรูปของวิตามินเอก็มีบทบาทที่สำคัญคือ ช่วยการมองเห็นในที่สลัว การเจริญเติบโต บำรุงรักษาเซลบุผิว การทำงานของระบบสืบพันธุ์ และระบบภูมิคุ้มกัน (เอกภพ ศุภกรชูวงศ์, 2539) ดังนั้น การนำแครอทมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ นอกจากช่วยในการส่งเสริมผลผลิตทางการเกษตรแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมด้านสุขภาพอีกด้วย

2.5 ถั่วลันเตา (Pea)

ถั่วลันเตาเป็นพืชตระกูลถั่ว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Pisum sativum L. มีชื่อสามัญเรียกต่างๆกันเช่น pea, sweet pea, sugar pea, garden pea, green pea จัดเป็นพืชล้มลุกที่รับประทานได้ทั้งยอดอ่อน ฝักอ่อน และเมล็ด ในแบบเมล็ดสด และเมล็ดแห้ง

ถั่วลันเตาปลูกกันทั่วโลกในฤดูกาลที่มีอากาศเย็น นิยมนำมาบริโภค หรือนำมาปรุงอาหารเหมือนกับผักชนิดหนึ่ง สามารถแปรรูปไว้เป็นอาหารสำรองนอกฤดูกาล ได้ด้วยการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วลันเตากระป๋อง แช่แข็ง และทำแห้ง ถั่วลันเตาเป็นพืชผักที่มีสารอาหารที่ร่างกายต้องการอยู่มาก เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เส้นใยอาหาร คาร์โบไฮเดรต และวิตามิน อีกทั้งยังมีโปรตีนสูง โดยทั่วไปเมล็ดจะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 20-30 ของน้ำหนักแห้ง และประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักสด (คณะทำงานโครงการหนูรักผักสีเขียว, 2540) ข้อมูลทางโภชนาการของถั่วลันเตา(เมล็ด) จากกองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดถั่วลันเตาต่อ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	75.6
พลังงาน (ยูนิต)	94
ไขมัน (กรัม)	0.4
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	16.9
เส้นใย (กรัม)	2.4
โปรตีน (กรัม)	6.2
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	32
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	102
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.2
วิตามินเอ (IU)	675
วิตามินบี1 (มิลลิกรัม)	0.28
วิตามินบี2 (มิลลิกรัม)	0.11
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	27
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	2.8

ที่มา: กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2530)

นอกจากจะนำถั่วลันเตามาใช้ประกอบอาหารในลักษณะของพืชผักแล้ว ยังมีการนำถั่วลันเตามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่าง ทั้งในรูปเม็ดถั่วลันเตาปรุงรสอบกรอบ หรือผลิตเป็นขนมถั่วลันเตาทอดกรอบ อีกด้วย

2.6 ขนมขบเคี้ยว (snack food)

ขนมขบเคี้ยวคือ อาหารที่รับประทานเล่นระหว่างมื้ออาหารหลัก ลักษณะเด่นของขนมขบเคี้ยวคือ น้ำหนักน้อย เก็บรักษาง่าย นำติดตัวไปในที่ต่างๆได้สะดวก แต่จัดได้ว่าเป็นอาหารให้พลังงานสูง เนื่องจากมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่จึงสามารถช่วยให้อิ่มท้องได้ (Gordon,1990) ขนมขบเคี้ยวเป็นอาหารที่ผ่านการแปรรูปมาแล้วพร้อมบริโภคได้ทันที หรือมีการเตรียมเพียงเล็กน้อยก็สามารถบริโภคได้ และสามารถเก็บรักษาได้นาน ขนมขบเคี้ยวอาจเป็นของหวาน หรือของคาวก็ได้มีรสชาติตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภค ไม่มีวัตถุประสงค์เป็นอาหารหลัก อาจใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ หรือเป็นอาหารว่างในงานสังสรรค์ (สัมพันธ์ รอดศรี, 2547)

2.6.1 ขนมขบเคี้ยวประเภทพองกรอบจากข้าว

ผลิตภัณฑ์อาหารพองกรอบหลายชนิดสามารถใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบ และมีเทคโนโลยีการผลิตที่แตกต่างกัน (งามชื่น คงเสรี, 2538) เช่น

การพองด้วยการย่างบนความร้อน (baking) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อาราเรที่ทำจากแป้งข้าวเหนียว และเซมเบ้ที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า เทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดนี้ นำมาจากชาวญี่ปุ่น ในการทำผลิตภัณฑ์อาราเรจะใช้ข้าวเหนียว ซึ่งพันธุ์ที่นิยมใช้ คือ กข6 สำหรับผลิตภัณฑ์เซมเบ้ข้าวที่เหมาะสม คือข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ หลักการผลิตคือ การใช้พลังงานความร้อนทำให้น้ำที่อยู่ในชิ้นแป้งระเหยกลายเป็นไอน้ำ ดันเนื้อแป้งออกมา จึงทำให้ได้ชิ้นอาหารที่กรอบพองขึ้นมา

การพองที่เกิดจากแรงอัดที่อุณหภูมิสูง (extrusion) ในปัจจุบันมีการนำ extrusion technology มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย การพองตัวของแป้งเกิดจากการที่แป้งได้รับความร้อนจากภายในบาร์เรล (barrel) ที่หุ้มด้วยแจ็กเก็ตไอน้ำ และความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียว ทำให้แป้งและองค์ประกอบอาหารเกิดการหลอมตัว เมื่อแป้งเหลวนี้เคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศ ความดันจะลดลงกระทันหัน ไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวจะกระจายระเหยออกทันทีและดันก้อนแป้งเกิดรูพรุนกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ เครื่อง extrusion นี้มีทั้งชนิด single screw และ twin screws เทคโนโลยีนี้สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบและยังเอื้ออำนวยต่อการเติมสารอาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย

การพองตัวที่เกิดจากแผ่นความร้อน (puffing machine) หลักการของเทคโนโลยีนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับ extrusion แต่ความดันที่ได้รับเกิดจากแรงกดและการเคลื่อนกลับของแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่นประกบกัน ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้แก่ rice cake

การพองที่เกิดจากการอบ หรือทอดในน้ำมันร้อน (oven or deep fry puffing) เช่น ข้าวตอกซึ่งทำจากข้าวเหนียว ข้าวตังทอด ขนมนางเล็ด จากการศึกษาการพองของข้าวที่ทอดในน้ำมันพบว่า ข้าวที่เหมาะสมควรเป็นข้าวสุกอบแห้ง ข้าวแอมิโลสต่ำ และข้าวเหนียวจะมีการพองตัวได้ดีกว่าข้าวชนิดอื่น ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้หากได้รับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จะช่วยให้มีมูลค่าสูงขึ้น

2.6.2 การพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

การพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก เพราะเป็นปัจจัยคุณภาพอย่างหนึ่งของการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค การพองตัวของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่างคือ ความดัน และความต้านทาน ความดันเกิดจากน้ำที่แทรกอยู่ในเนื้อขนมเกิดการขยายตัว และเกิดแรงดันให้เนื้อขนมเป็นโพรงหรือรูพรุนเพื่อให้ความชื้นออกจากเนื้อขนมได้ในขณะเดียวกันก็จะเกิดแรงต้าน หรือแรงยึดเพื่อมิให้น้ำหลุดออกไป ซึ่งแรงต้านทานนี้จะมีมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง หรือปริมาณแอมิโลส ถ้าใช้พลังงานที่พอเหมาะจะทำให้ความดันเท่ากับความต้านทาน และเกิดการพองตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นอาหาร มีความชื้นคงเหลือพอเหมาะที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบพอดี และมีโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่ดีด้วย แต่ถ้าความดันน้อยกว่าความต้านทาน ลักษณะเนื้อสัมผัสจะไม่ดี มีรูพรุนไม่สม่ำเสมอ ส่วนที่ไม่เป็นรูพรุนก็จะแห้ง (Charles, 1969)

นอกจากนี้สัดส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกตินในแป้งมีผลต่อคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยแอมิโลเพกตินจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์พองตัวได้ดี มีลักษณะโปร่งเบา ความหนาแน่นต่ำ แต่จะเปราะบางและแตกหักได้ง่าย ส่วนแอมิโลสจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งกว่า แต่มีข้อจำกัดด้านการพองตัว (Matz, 1976) เนื่องจากโมเลกุลแอมิโลสที่เกิด รีโทรกราเดชันได้ดีกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งแรง และต้านทานการแตกหักได้มากกว่า จึงนิยมใช้แป้งแอมิโลสสูงมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ประเภท crunch snack ดังนั้นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแต่ละชนิดจะต้องมีปริมาณแอมิโลส และแอมิโลเพกตินในอัตราส่วนที่เหมาะสม แป้งที่มีแอมิโลสร้อยละ 5 ถึง 20 จะให้คุณสมบัติที่พองตัวได้ดี ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดี และมีความกรอบพอเหมาะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Charles, 1969)

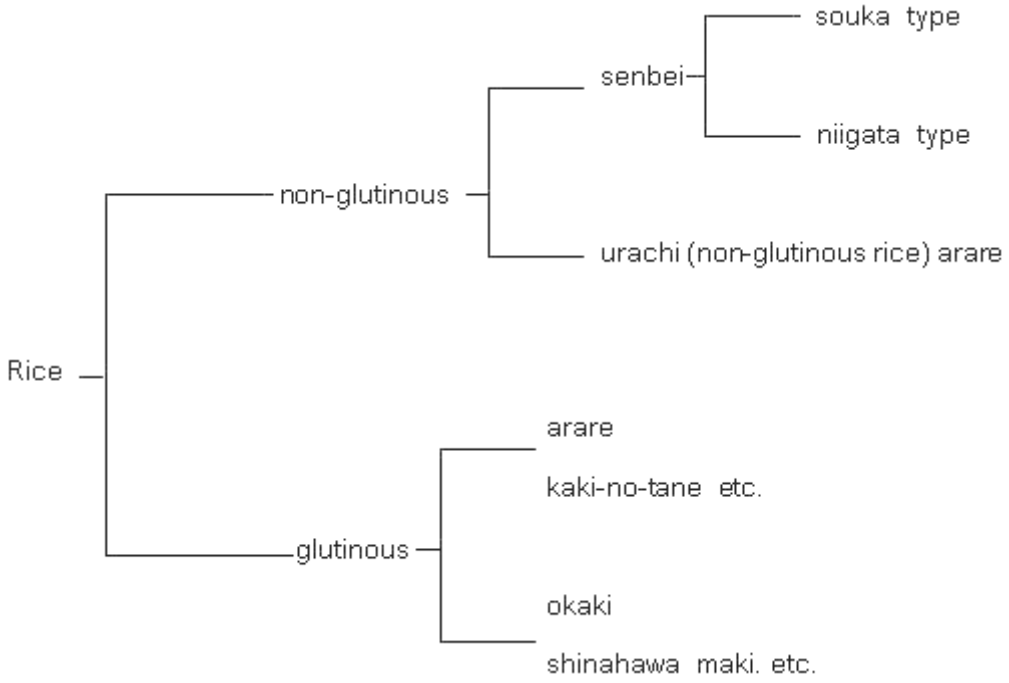
Chen และ Yeh (2001) ศึกษาผลของปริมาณแอมิโลสต่อการพองตัวของชิ้นแป้งข้าว (rice pellet) ที่ได้จากการเอกซ์ทรูชัน แล้วนำไปอบกรอบ พบว่าที่ปริมาณแอมิโลสร้อยละ 9.03 ผลิตภัณฑ์จะการพองตัวสูงที่สุด และปริมาณแอมิโลสร้อยละ 22.50 มีการพองตัวต่ำที่สุด

คำรบ สมะวรรธนะ (2546) ศึกษาคุณสมบัติด้านเจลาติไนเซชัน และรีโทรกราเดชันต่อการพองตัวของขนมขบเคี้ยวจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียว กข 6 พบว่าขนมขบเคี้ยวจากข้าวเหนียวมีการพองตัวมากกว่าขนมขบเคี้ยวจากข้าวเจ้า เนื่องจากขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวหลังการแช่ และการบดมีขนาดเล็กกว่า และแป้งมีปริมาณแอมิโลเพกตินสูงกว่าทำให้การเจลาติไนเซชันเกิดขึ้นได้เร็วและสมบูรณ์มากกว่ารวมทั้งอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวเหนียวก็มีค่าต่ำกว่าข้าวเจ้า

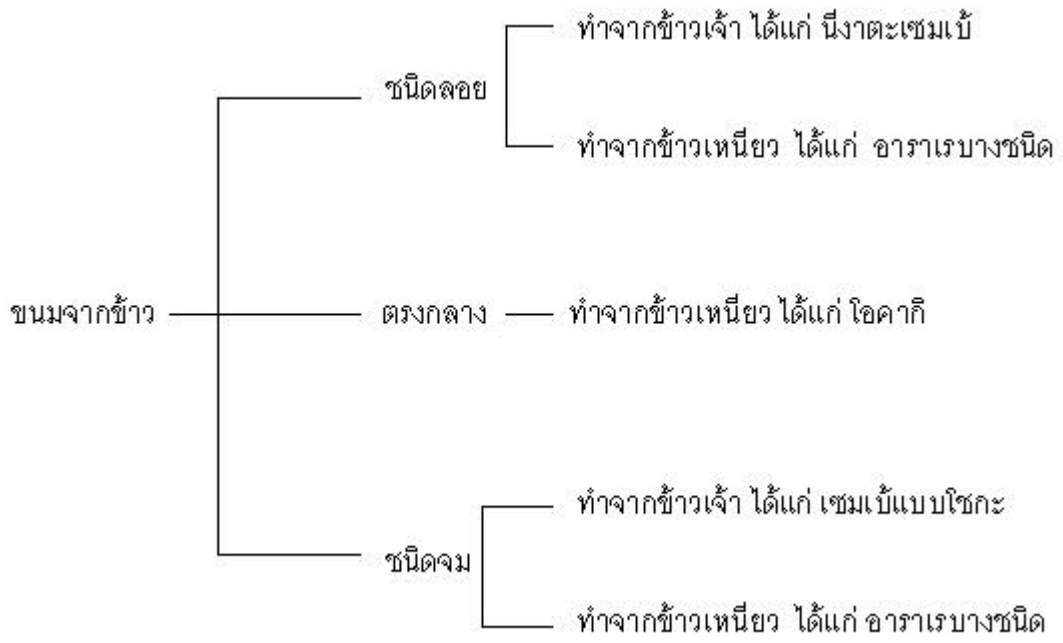
2.6.3 ผลิตภัณฑ์ไรซ์แครกเกอร์ (rice cracker) (คำรบ สมะวรรธนะ, 2546)

ไรซ์แครกเกอร์ เป็นขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งมีชื่อเรียกตามวัตถุดิบหลักที่ใช้ทำ คือข้าวเหนียว เรียกว่า อาราเร และทำจากข้าวเจ้า เรียกว่าเซมเบ้ ไรซ์แครก-เกอร์ ถือเป็นขนมขบเคี้ยวของประเทศญี่ปุ่น กลิ่นรส และรสชาติของผลิตภัณฑ์จะแตกต่างจากขนมขบเคี้ยวจากทางตะวันตก ไรซ์แครกเกอร์แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้นำมาทำการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.7

นอกจากนี้ยังแบ่งแยกชนิดได้ตามความถ่วงของขนม ได้ 2 ประเภทคือ ชนิดลอย และชนิดจม ชนิดลอยจะเป็นขนมที่มีปริมาตรมาก มีลักษณะฟูและมีรอยตะปุ่มตะป่ำสม่ำเสมอ ชนิดจมจะมีลักษณะภายนอกที่ไม่พองมาก บางครั้งไส้ยังแข็งอยู่ ผิวที่ต้องการคือให้รอยตะปุ่มตะป่ำสม่ำเสมอ การจำแนกชนิดของไรซ์แครกเกอร์ตามความถ่วงของขนมแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 การจำแนกประเภทของไรซ์แครกเกอร์ โดยใช้วัตถุดิบในการผลิต
ที่มา: Luh (1991)



รูปที่ 2.8 การจำแนกประเภทของไรซ์แครกเกอร์โดยใช้ความถ่วงของขนม
ที่มา: อรรณพ วงศ์ธิติโรจน์ (2537)

คุณภาพด้านการพองตัวของผลิตภัณฑ์จะแสดงถึงคุณภาพของไรซ์แครกเกอร์ โดยขึ้นกับพันธุ์ของข้าวที่ใช้ในการผลิต อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต วิธีการนวดแป้ง ความชื้นของแป้งข้าว อัตราการดูดซึมน้ำ และความร้อนที่ใช้ในการนึ่งแป้ง (Luh, 1991; Noomhorm, Kongseree and Apintanapong, 1997) และกรรมวิธีการผลิตไรซ์แครกเกอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 กรรมวิธีการผลิตไรซ์แครกเกอร์
ที่มา: Noomhorm *et al*. (1997)

2.7 การให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ

ไมโครเวฟคือพลังงานที่เกิดจากการแผ่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ความถี่ของช่วงคลื่นไมโครเวฟจะมีความยาวคลื่น (λ) อยู่ในช่วงระหว่าง 3 มิลลิเมตร ถึง 75 เซนติเมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นระหว่าง 300 เมกกะเฮิรตซ์ (MHz) ถึง 300 จิกะเฮิรตซ์ (GHz) แต่คลื่นไมโครเวฟที่ใช้สำหรับให้พลังงานความร้อนในระดับอุตสาหกรรมและการใช้ในบ้านเรือนจะมีความถี่ของไมโครเวฟ 915 และ 2450 เมกกะเฮิรตซ์ (สายสนม ประดิษฐดวง, 2543) คลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนในอาหารได้โดยการสั่นสะเทือนของอนุภาคที่มีประจุและ/หรือการหมุนตัวของโมเลกุลที่มีขั้ว ทำให้ชนกับอนุภาคหรือโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง ส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธีการให้ความร้อนโดยวิธีอื่น ดังนั้นในการอุ่นอาหาร ปรุงอาหาร หรือการ

แปรรูปอาหารด้วยเตาไมโครเวฟจึงเป็นที่นิยมกันมากในปัจจุบัน เนื่องจากทำให้เกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็วและมีการสูญเสียคุณภาพทางด้านต่างๆ เช่น กลิ่นรส สี และคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (ธีรพร กงบังเกิด, 2546)

ในการให้ความร้อนแก่อาหารด้วยคลื่นไมโครเวฟ รูปร่างลักษณะของชิ้นอาหารก็มีความสำคัญต่อการกระจายความร้อนภายในอาหาร Vilayannur, Puri และ Anantheswaran (1997) พบว่าขนาดและรูปร่างของอาหาร มีผลต่ออุณหภูมิ และการกระจายความชื้นของชิ้นอาหาร เมื่อให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ โดยแต่ละจุดภายในชิ้นอาหารจะเกิดความร้อนไม่เท่ากัน เช่น ในตัวอย่างอาหารทีเป็นทรงกระบอกจุดที่เกิดความร้อนสูงจะอยู่ตรงกลางชิ้น แต่ถ้าเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจะเกิดความร้อนสูงที่มุมชิ้น เป็นต้น และในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนชิ้นแป้งข้าวเหนียว (amylopectin pellets) ที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชัน แล้วนำมาให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ ของ Boischot, Morau และ Kokini (2003) นั้นก็พบว่าชิ้นแป้งเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟแล้วจะเกิดความร้อนสูงที่สุดที่กึ่งกลางชิ้น และมีความร้อนต่ำที่สุดที่จุดริมชิ้น ทำให้ชิ้นแป้งพองตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่ออบด้วยเตาไมโครเวฟ

2.8 ปัญหาทางโภชนาการในเด็กและเยาวชน (เนตรนภิส วัฒนสุชาติ, 2549)

ปัญหาทางโภชนาการโดยทั่วไป สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ภาวะทุพโภชนาการ (Undernutrition) และภาวะโภชนาการเกิน (Overnutrition) ซึ่งเป็นสองด้านที่ไม่อิงอยู่บนพื้นฐานของความพอดี ส่งผลให้เกิดอาการเจ็บป่วยและโรคต่างๆตามมา ไม่ว่าจะเป็นการบริโภคอาหารที่ร่างกายไม่ได้รับสารอาหารสำคัญอย่างเพียงพอ ทำให้การเจริญเติบโตของร่างกายโดยเฉพาะในวัยเด็กไม่เป็นไปตามเกณฑ์ กระทบต่อการพัฒนาสมอง การบริโภคอาหารไม่ถูกส่วนเกินความต้องการของร่างกาย เป็นสาเหตุให้เกิดโรคอ้วน ซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคภัยอื่นๆเช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิต โรคหัวใจ โรคทางเดินหายใจอุดกั้น โรคกระดูกและไข้ข้อเสื่อม

โรคอ้วนนับเป็นผลลัพธ์ของปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างพลังงานที่ร่างกายได้รับกับการใช้พลังงาน และอีกเหตุผลที่สำคัญก็คือวิถีชีวิตของคนเราที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดร็ว และมีชีวิตที่เร่งรีบแข่งกับเวลามากขึ้น กระตุ้นให้พันธุกรรมที่ผิดปกติอยู่แล้วกลายเป็นโรคชัดเจนมากขึ้น ซึ่งมีผลในเด็กอายุน้อยลงด้วย

ปัจจุบันพบว่าเด็กที่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครที่มีอายุ 2 ปีอ้วนแล้วถึงร้อยละ 12 และจากผลสำรวจโรงเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาจำนวน 268 โรง ประมาณ 47,000 คน โดยเครือข่ายวิจัยสุขภาพ มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติในปี พ.ศ. 2548 พบว่าเด็กนักเรียนในเมืองไทยอ้วนร้อยละ 12 ท้วมร้อยละ 5 โดยเฉพาะเด็กนัดเรียนในกรุงเทพมหานครที่อ้วนถึงร้อยละ 15.5 และท้วมร้อยละ 7

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี

วัตถุดิบ

- แป้งข้าวเจ้า (ตรา ช้างสามเศียร บริษัทโรงเส้นหมี่ชอเฮง)
- แป้งข้าวเหนียว (ตรา ช้างสามเศียร บริษัทโรงเส้นหมี่ชอเฮง)
- Shortening (ตรา โอลิมปิคครีม บริษัทเกตุวานิชอุตสาหกรรม จำกัด)
- แครอท
- ถั่วลันเตา

สารเคมี

- กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R. grade)
- ปิโตรเลียมอีเทอร์ (A.R. grade)
- สารละลายกรดบอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 4 % (w/v)
- สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 35 % (w/v)
- สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริค (A.R. grade)
- สารละลายไอโอดีน
- เอทิลแอลกอฮอล์ 95 %
- Selenium reagent mixture (A.R. grade)

อุปกรณ์การผลิตผลิตภัณฑ์

- เครื่องนวดแป้ง (Kenwood Major รุ่น A907D , Great Britain)
- เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น O8D1006, Switzerland)
- เครื่องรีดพาสต้า
- ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Microtemp รุ่น TFC-900, Thailand)
- ตู้เย็น (Sharp รุ่น SJ-D55H-BL , Thailand)
- เตาอบขนม (eka รุ่น 648 VE multif., Italy)

- หม้อนึ่งไอน้ำ หม้ออลูมิเนียม
- ไม้นวดแป้ง แผ่นรองนวดแป้ง มีดตัดขนม ถาดอลูมิเนียม

อุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมี

- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Spectronic รุ่น Genesys-20,USA)
- เครื่องระเหย (Eyela รุ่น SB-651 , Japan)
- เครื่องสกัดไขมัน (Gerhardt รุ่น S-226, Germany)
- ชุดวิเคราะห์โปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, Switzerland, distillation unit รุ่น B-324, Switzerland, scrubber รุ่น B-414, Switzerland)
- โถดูดความชื้น
- ถ้วยอะลูมิเนียม
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น W350, Germany)
- เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert รุ่น E 350, Germany)

อุปกรณ์วิเคราะห์ทางกายภาพ

- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น A200S, Switzerland)
- เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR 300 series, Japan)
- เครื่องวัดค่า Water activity (Aqua Lab รุ่น series 3TE, USA)
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Instron texture analyzer (รุ่น 5565, USA)
- เวอร์เนียคาลิปเปอร์

อุปกรณ์บรรจุ และภาชนะบรรจุ

- เครื่องปิดผนึก Impulse sealer (Glory-Pack รุ่น PHS 450 10D, Korea)
- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ ชนิด oriented polypropylene/aluminum/liner low density polyethylene (OPP/Al/LLDPE) ความหนา 100 micron (บริษัทเจนจรัสเคมซัฟพลายส์ จำกัด)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เก็บข้อมูลด้านพฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยว และแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์

สำรวจข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยว โดยออกแบบและจัดทำแบบสอบถาม (ภาคผนวก ก.) รวบรวมข้อมูลจากตัวแทนผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่เด็กและวัยรุ่นช่วงอายุ 7 – 18 ปี จำนวน 150 คน วิเคราะห์ข้อมูลและแปรผล เพื่อวางแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และทดสอบทัศนะคติเบื้องต้นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

3.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995) และปริมาณแอมิโลส (Juliano, 1971) ซึ่งแสดงรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ใน ภาคผนวก ข. นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปกำหนดสูตรแป้งผสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีทุกชนิดทำ 3 ซ้ำ

3.3 ศึกษาสูตรและกรรมวิธีในการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

3.3.1 กำหนดสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และน้ำในสูตรผสมแป้ง

กำหนดสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และน้ำ ในสูตรผสมแป้ง โดยใช้การวางแผนแบบ Mixture Design โดยมีช่วงของส่วนประกอบดังนี้ แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0 - 35 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 15 - 50 และน้ำร้อยละ 40 - 50 เพื่อกำหนดสูตรการผสมแป้งให้มีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกัน 5 ระดับ ปริมาณที่ใช้ศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.1 และเติม shortening ปริมาณร้อยละ 5 ในทุกสูตร

ตารางที่ 3.1 ปริมาณส่วนผสมแป้งทั้ง 5 สูตรที่กำหนดโดย Mixture Design

สูตรที่	แป้งข้าวเหนียว (ร้อยละ)	แป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	น้ำ (ร้อยละ)
1	50	-	50
2	50	10	40
3	37	18	45
4	25	25	50
5	25	35	40

3.3.2 ศึกษาผลของปริมาณแอมิโลส และปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบกรอบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

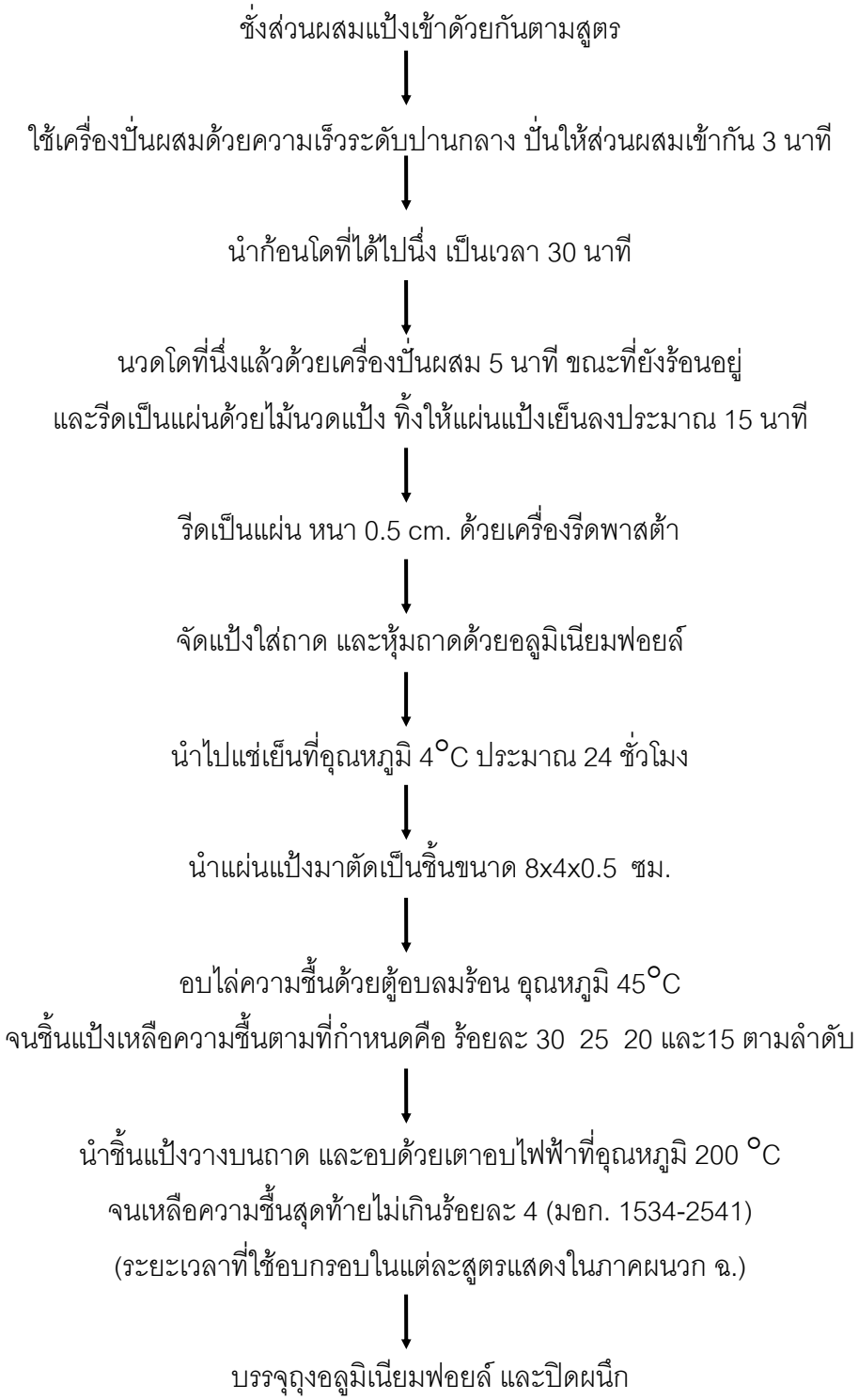
นำสูตรแป้งผสมทั้ง 5 สูตรที่มีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกัน 5 ระดับ(จากข้อ 3.3.1) มาผลิตเป็นขนมอบกรอบจากแป้งข้าว โดยแปรปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบกรอบเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 30 25 20 และ 15 (แสดงระยะเวลาการทำแห้งในภาคผนวก ค.) เพื่อศึกษาผลของทั้ง 2 ปัจจัยที่มีต่อคุณภาพของขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

วางแผนการทดลองแบบ 5x4 Factorial Design ใช้สูตร และภาวะการผลิตที่ระดับต่างๆ ผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวด้วยกรรมวิธีการผลิต (ดัดแปลงจากวิธีของ Noomhorm *et al*., 1997) ซึ่งแสดงกรรมวิธีการผลิตได้ดังรูปที่ 3.1

3.3.2.1 ตรวจวัดสมบัติทางกายภาพ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากสูตร และภาวะที่แตกต่างกัน โดยตรวจวัดค่าต่างๆ (แสดงวิธีตรวจวัดในภาคผนวก ง.) ได้แก่

- สัดส่วนการพองตัว (Expansion ratio) (ดัดแปลงจากวิธีของ Noomhorm *et al*., 1997) ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- ความหนาแน่น (Bulk density) (ดัดแปลงจากวิธีของ Park *et al*., 1993) ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- เนื้อสัมผัส ด้านความแข็ง (Hardness) และความเปราะ (Fracturability) โดยเครื่อง Instron texture analyzer (Noomhorm *et al*., 1997) ทดลองทั้งหมด 9 ซ้ำ โดยวัดทั้งชิ้น ที่จุดกึ่งกลางของชิ้นขนม (แสดง texture profile ในภาคผนวก จ.)

เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่าง โดยวางแผนการทดลองแบบ 5x4 Factorial Design with Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อคัดเลือกสูตรและภาวะการผลิต 5 สูตร โดยพิจารณาจากค่าเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง 5 ระดับ จากสูตรที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน 5 สูตร เพื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส



รูปที่ 3.1 กรรมวิธีการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

3.3.2.2 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของสูตรทั้ง 5 จากข้อ 2.3.2.1 โดยทดสอบความชอบ (Affective test) ด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสด้วย 7-point hedonic scale วัดระดับความรู้สึก (Intensity rating) ด้านความแข็ง และความกรอบ ด้วย 5-point intensity scale (Meilgaard, Civille and Carr,1987) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (แสดงแบบทดสอบในภาคผนวก ช.) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อคัดเลือกสูตรการผลิตที่ให้ผลทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสเหมาะสมที่สุด 1 สูตร สำหรับการทดลองขั้นต่อไป

3.4 **พัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมผัก**

นำสูตรการผลิตที่ผ่านการคัดเลือกในข้อที่ 3.3 มาเพื่อพัฒนาเป็นขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมผัก โดยเติมผัก 2 ชนิด ได้แก่ แครอท และถั่วลันเตา เพื่อให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่

3.4.1 การเตรียมชิ้นผัก

- แครอท ตัดหัวท้ายปอกเปลือก แล้วล้างน้ำให้สะอาด ตัดเป็นชิ้นรูปลูกบาศก์ ขนาดโดยประมาณ 0.5 ซม.
- ถั่วลันเตา ลอกเปลือกหุ้มเมล็ดออก ล้างน้ำให้สะอาด แล้วผ่าออกเป็น 4 ส่วน

สำหรับขั้นตอนการเตรียมชิ้นผักนี้จะไม่ลวกชิ้นก่อนผสมลงในสูตรแป้ง เนื่องจากการลวกชิ้นผักนั้นทำให้ชิ้นผักได้รับความร้อนโครงสร้างเซลบางส่วนของชิ้นผักถูกทำลาย เมื่อนำผักที่ลวกแล้วไปผสมกับแป้งจะทำให้ชิ้นผักเละดูไม่น่ารับประทาน และเมื่อผ่านการแช่เย็นและอบแห้ง ผักจะหดตัวเล็กลงมาก จนชิ้นผักหลุดออกจากชิ้นแป้งเกิดเป็นรูโหว่ขึ้นบนชิ้นแป้ง เมื่อนำชิ้นแป้งนี้ไปอบกรอบจะมีการพองตัวไม่สม่ำเสมอ ด้วยเหตุนี้ผู้ทดลองจึงไม่ลวกชิ้นผักก่อนผสมลงในสูตร

3.4.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมผัก

ในการเสริมชิ้นผักลงในผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบต้องมีการปรับปรุงสูตรและกรรมวิธีการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของสีชิ้นผักและเนื้อสัมผัสของแป้งที่เหมาะสมโดย

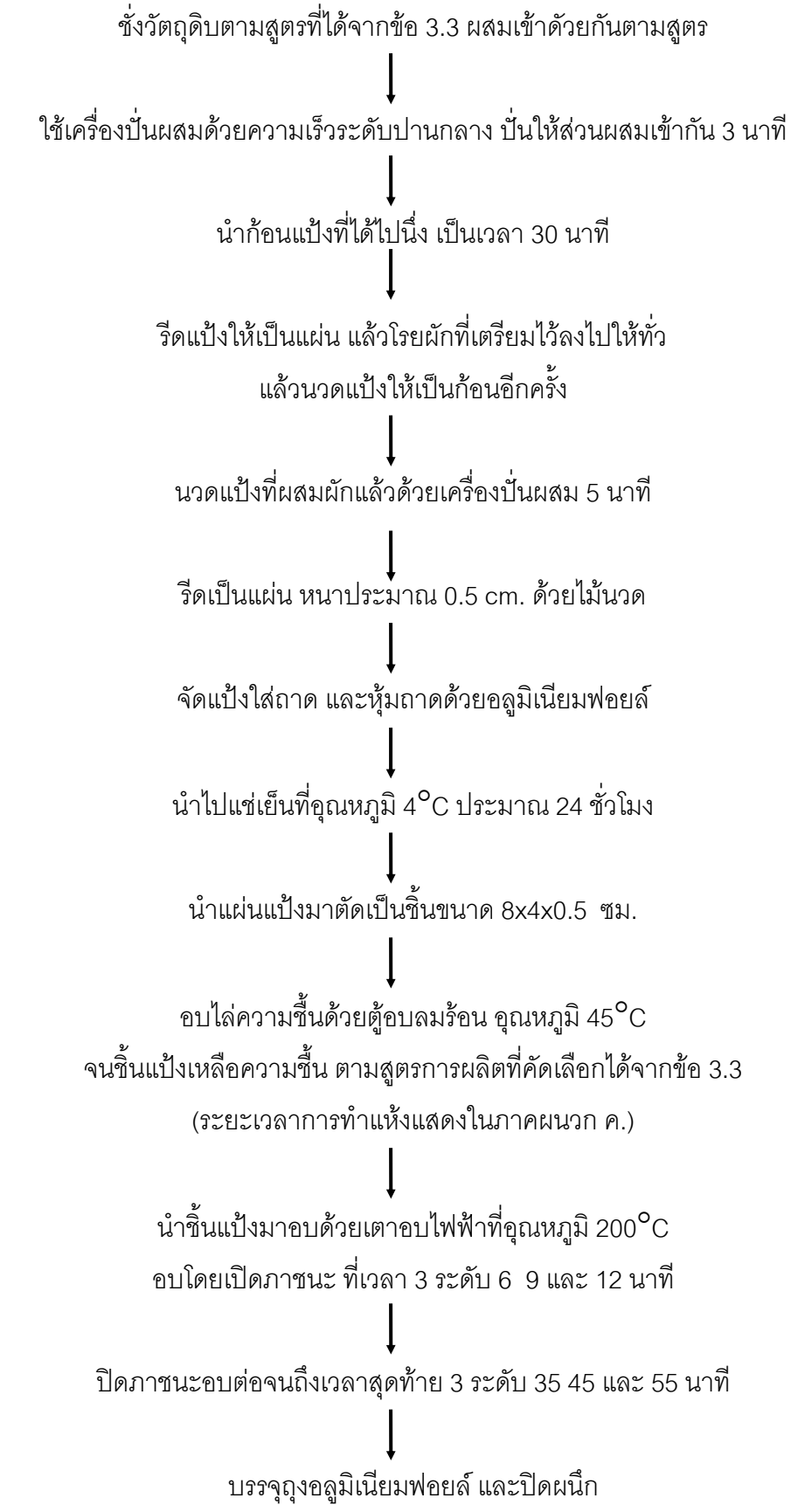
- เติมชิ้นผักที่เตรียมได้จากขั้นตอน 3.4.1 ลงในสูตรที่เลือกได้จากขั้นตอน 3.3 ปริมาณร้อยละ 5 (อัตราส่วนของแครอทและถั่วลันเตาเป็น 1:1) โดยเติมลงในขั้นตอนหลังจากนึ่งโดจนสุกแล้ว

- ใช้ภาวะการผลิตที่เลือกได้จากข้อ 3.3 ผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าว โดยปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตในขั้นตอนการอบกรอบ เนื่องจากการอบโดยเปิดภาชนะอบตลอดดังข้อ 3.3 ทำให้ผักในชิ้นขนมไหม้ เพื่อลดผลกระทบจากความร้อนที่แผ่มากระทบกับผิวหน้าขนมโดยตรง จึงแบ่งการอบกรอบเป็น 2 ขั้นตอนคือ อบโดยเปิดภาชนะอบ (อบแบบเปิด) ในช่วงแรกจากนั้นปิดภาชนะอบด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ (อบแบบปิด) โดยวิธีนี้จะสามารถปรับปรุงลักษณะปรากฏให้ดีขึ้นได้ ในการทดลองจะแปรเวลาการอบทั้งหมด (เวลาอบรวมทั้งแบบเปิดและแบบปิด) เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 35 45 และ 55 นาที โดยแปรเวลาการ อบแบบเปิด 3 ระดับ ได้แก่ 6 9 และ 12 นาที วางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial Design ซึ่งแสดงกรรมวิธีการผลิตได้ดังรูปที่ 3.2 และแสดงรูปอธิบายขั้นตอนการผลิตในภาคผนวก ฌ.

3.4.2.1 ตรวจวัดสมบัติทางกายภาพ (แสดงวิธีตรวจวัดในภาคผนวก ง.) ดังนี้

- ค่า Water activity (a_w) ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- สัดส่วนการพองตัว ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- ความหนาแน่น ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- เนื้อสัมผัส ด้านความแข็ง และความเปราะ โดยเครื่อง Instron texture analyzer ทดลองทั้งหมด 9 ซ้ำ โดยวัดทั้งชิ้น ที่จุดกึ่งกลางของชิ้นขนม
- วัดค่าสี L a b โดยเครื่อง Chroma Meter ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่าง โดยวางแผนการทดลองแบบ 3x3 Factorial Design with CRD วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป แล้วคัดเลือกภาวะการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ(สีของชิ้นผัก) และเนื้อสัมผัสของชิ้นแป้งที่เหมาะสม 1 ภาวะการผลิต



รูปที่ 3.2 กรรมวิธีการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

3.4.2.2 ศึกษาภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ด้านลักษณะปรากฏ (สีของชิ้นผัก) และเนื้อสัมผัสของแป้งที่ดีขึ้น

เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ (สีของชิ้นผัก) และเนื้อสัมผัสของแป้งให้ดีขึ้นกว่าภาวะการผลิตที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.4.2.1 จึงปรับเวลาในการอบแบบเปิดและปิดภาชนะให้มีช่วงเวลาที่ศึกษาแคบลง โดยแปรเวลาอบแบบเปิด 3 ระดับ ได้แก่ 7.5 9 และ10.5 นาที และปรับเวลาการอบแบบปิดจนถึงเวลาสุดท้าย (เวลาอบรวม) เป็น 40 นาที

จากนั้นตรวจวัดสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1 แล้วเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือกได้ในข้อ 3.4.2.1 โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป แล้วคัดเลือกภาวะการผลิตที่ให้คุณภาพด้านลักษณะปรากฏ (ด้านสีของชิ้นผัก) และเนื้อสัมผัสของชิ้นแป้งที่เหมาะสม 1 ภาวะการผลิต เพื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสร่วมกับภาวะที่คัดเลือกแล้วในข้อ 3.4.2.1

3.4.2.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของทั้ง 2 ภาวะการผลิต จากข้อ 3.4.2.1 และข้อ 3.4.2.2 โดยทดสอบความชอบด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสด้วย 7-point hedonic scale วัดระดับความรู้สึกด้านความแข็ง และความกรอบด้วย 5-point intensity scale และทดสอบการยอมรับโดยรวม (Acceptance test) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (แสดงแบบทดสอบในภาคผนวก ช.) วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบ เทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อคัดเลือกภาวะการผลิตที่ให้ผลทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสเหมาะสม 1 ภาวะการผลิต เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพด้านกลิ่นรส

3.5 แนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมผัก

เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้น่ารับประทานขึ้น และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงได้ปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตใหม่ ที่จะสามารถรักษาสีของผักได้มากที่สุด และได้เนื้อสัมผัสที่ดี โดยจะปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตในขั้นตอนดังต่อไปนี้

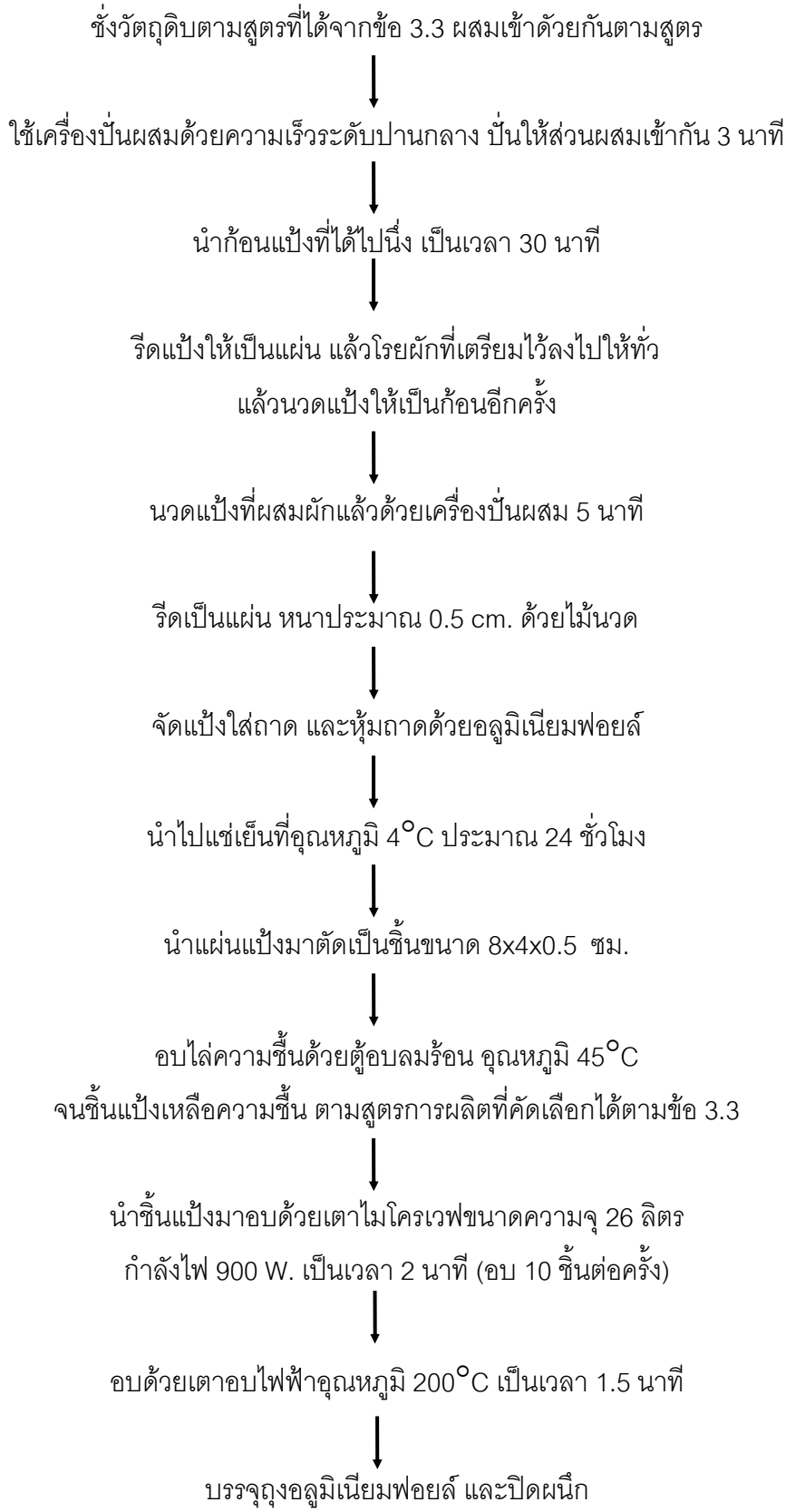
- เปลี่ยนขนาดของแผ่นแป้งก่อนอบกรอบ จากขนาดเดิมที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 8x4x0.5 ซม. เป็นแผ่นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูยน์กลาง 2.5 ซม. หนา 0.5 ซม. เพื่อลดพื้นที่ผิวของชิ้นขนม ทำให้ไอน้ำสามารถกระจายตัวได้ทั่วทั้งชิ้น และออกจากชิ้นขนมได้ง่ายขึ้น

- ใช้การอบด้วยเตาไมโครเวฟในการอบกรอบ เพื่อขึ้นรูปชิ้นขนม ซึ่งคลื่นไมโครเวฟจะทำให้น้ำที่อยู่ภายในชิ้นขนม สามารถกลายเป็นไอน้ำและดันออกมาจากชิ้นขนมได้ดีและรวดเร็วกว่าการอบแบบใช้เตาอบไฟฟ้า ทำให้ลดระยะเวลาการอบลงได้ ทำให้ผักในชิ้นขนมไม่ไหม้และสีไม่เข้มเกินไป ซึ่งกรรมวิธีการผลิตแสดงดังรูปที่ 3.3 และแสดงรูปอธิบายขั้นตอนการผลิตในภาคผนวก ฌ.

3.5.1 ตรวจวัดสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ (แสดงวิธีตรวจวัดในภาคผนวก ง.) ดังนี้

- ค่า Water activity ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- สัดส่วนการพองตัว ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- ความหนาแน่น ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- เนื้อสัมผัส ด้านความแข็ง และความเปราะ โดยเครื่อง Instron texture analyzer ทดลองทั้งหมด 9 ซ้ำ โดยวัดที่จุดกึ่งกลางชิ้นขนม
- วัดค่าสี L a b โดยเครื่อง Chroma Meter ทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

เปรียบเทียบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ กับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีขายในท้องตลาดซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสว่ามีความใกล้เคียงกับขนมขบเคี้ยวที่มีในตลาดมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.3 กรรมวิธีการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักแบบปรับปรุง

3.5.2 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตแล้ว โดยทดสอบความชอบด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสด้วย 7-point hedonic scale วัดระดับความรู้สึกด้านความแข็ง และความกรอบด้วย 5-point intensity scale และทดสอบการยอมรับโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (แสดงแบบทดสอบในภาคผนวก ช.) วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.5.3 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี และคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ใยอาหาร (dietary fiber) คาร์โบไฮเดรต ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995) และพลังงานที่ได้รับจากการบริโภค 100 กรัม

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ข้อมูลด้านพฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยว และแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์

การสำรวจพฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยว ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายอายุ 7 -18 ปี ที่ศึกษาอยู่ในระดับชั้นประถมศึกษา จนถึงระดับมัธยมศึกษา จำนวน 150 คน ด้วยแบบสอบถามที่จัดทำขึ้น จำแนกผลตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการสำรวจได้ดังนี้

4.1.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย

ผลการสำรวจลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายที่ตอบแบบสอบถาม แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 150 คน

ลักษณะทางประชากรศาสตร์	ร้อยละ
เพศ	
ชาย	48.00
หญิง	52.00
อายุ (ปี)	
7-11	18.00
12-15	32.67
15-18	49.33
การศึกษา	
ประถมศึกษาตอนต้น (ป.1 – ป.3)	16.67
ประถมศึกษาตอนปลาย (ป.4 – ป.6)	20.00
มัธยมศึกษาตอนต้น (ม.1 – ม.3)	20.00
มัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4 – ม.6)	43.33
ค่าขนมต่อวัน (บาท)	
น้อยกว่า 30	8.00
30 - 50	20.67
50 - 80	25.33
80 - 120	31.33
มากกว่า 120	14.67

4.1.2 พฤติกรรมการบริโภค และทัศนะคติที่มีต่อขนมขบเคี้ยว

ผลการสำรวจพฤติกรรมการบริโภค และทัศนะคติที่มีต่อขนมขบเคี้ยว แสดงดังไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พฤติกรรมการบริโภค และทัศนะคติที่มีต่อขนมขบเคี้ยว

พฤติกรรมการบริโภค	ร้อยละ
ความชอบที่มีต่อขนมขบเคี้ยว	
ชอบ	50.67
เฉยๆ	43.33
ไม่ชอบ	6.00
ความถี่ในการรับประทานขนมขบเคี้ยว (ครั้งต่อสัปดาห์)	
0 - 2	34.00
2 - 4	27.33
3 - 5	12.67
4 - 6	8.67
ทุกวัน	17.33
ผู้ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อขนมขบเคี้ยว	
ตัวเอง	61.88
ผู้ปกครอง	14.85
พี่น้อง	11.39
เพื่อน	11.39
คนอื่นๆ	0.50
ค่าใช้จ่ายในการซื้อขนมขบเคี้ยวต่อครั้ง (บาท)	
5 - 7	6.67
7 – 10	21.33
10 – 15	22.67
มากกว่า 15	49.33

ตารางที่ 4.2 **(ต่อ)** พฤติกรรมการบริโภค และทัศนะคติที่มีต่อขนมขบเคี้ยว

พฤติกรรมการบริโภค	ร้อยละ
สถานที่เลือกซื้อขนมขบเคี้ยว	
ร้านสะดวกซื้อ	41.02
โรงอาหาร	17.97
แผงลอย	4.30
ห้างสรรพสินค้า	31.25
ตลาด	5.47
ประเภทของขนมขบเคี้ยวที่ชอบ	
ขนมขึ้นรูปจากแป้ง	23.49
มันฝรั่ง	29.52
ข้าวเกรียบ	13.55
ขนมจากข้าวโพด	12.65
ขนมจากข้าว	19.58
อื่นๆ	1.51
กลิ่นรสของขนมขบเคี้ยวที่ชอบ	
รสบาร์บิคิว	20.00
รสสาหร่าย	18.92
รสซาวร์ครีม	14.05
รสพริกเผา	5.68
รสลาบ	3.24
รสไก่	7.84
รสกุ้ง	5.41
รสซอส	4.32
รสดั้งเดิม	19.46
อื่นๆ	1.35
กลิ่นรสที่ชอบมากที่สุด 1 รส	
รสดั้งเดิม	28.00

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) พฤติกรรมการบริโภค และทัศนะคติที่มีต่อขนมขบเคี้ยว

พฤติกรรมการบริโภค	ร้อยละ
เหตุผลในการตัดสินใจเลือกซื้อขนมขบเคี้ยว	
รสชาติ	38.26
รูปร่างขนม	11.07
ทดลองของใหม่	13.09
มีประโยชน์	4.70
ของแถม	6.38
ซอง ภาชนะบรรจุสวยงาม	5.03
เพื่อนแนะนำ	4.03
การโฆษณา	4.03
ราคาถูก	6.38
ปริมาณมาก	6.71
อื่นๆ	0.34

จากผลการสำรวจ พบว่าผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายส่วนใหญ่ชอบรับประทานขนมขบเคี้ยว รับประทานโดยเฉลี่ย 3-5 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยเป็นผู้เลือกซื้อขนมด้วยตนเอง และเสียเงินซื้อขนมมากกว่า 15 บาทต่อครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่ากลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายบริโภคขนมขบเคี้ยวกันค่อนข้างมาก และมีกำลังซื้อสูง อาจเนื่องมาจากในปัจจุบันมีขนมขบเคี้ยวให้เลือกหลากหลายชนิด และกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นเด็กหรือวัยรุ่น ใช้เวลาส่วนใหญ่กับกิจกรรมเพื่อความบันเทิง และกิจกรรมยามว่าง จึงมีพฤติกรรมการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นการบริโภคอาหารยามว่างระหว่างมื้อมากขึ้น และรับประทานอาหารมื้อหลักได้น้อยลง โดยซื้อขนมเพื่อมารับประทานควบคู่กันไปกับการทำกิจกรรมในแต่ละวัน นอกจากนี้ผู้ผลิตส่วนใหญ่ก็มีผลิตภัณฑ์ใหม่ๆออกวางตลาดอยู่เป็นประจำ พร้อมกับใช้การโฆษณาผ่านสื่อที่ดึงดูดความสนใจ และการให้สินค้าเข้าถึงผู้บริโภคได้ง่ายขึ้นโดยวางจำหน่ายตามร้านสะดวกซื้อ เช่น มินิมาร์ท และตามห้างสรรพสินค้ามากขึ้น ทำให้เด็กและวัยรุ่นถูกชักจูงให้ทดลองบริโภคได้มากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากการสำรวจว่าเด็กและวัยรุ่นชอบที่จะทดลองซื้อผลิตภัณฑ์ใหม่ๆและมีรสชาติที่ถูกใจ และส่วนใหญ่จะหาซื้อขนมตามร้านสะดวกซื้อและห้างสรรพสินค้า สำหรับผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มผู้บริโภคชอบมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์จากมันฝรั่ง ผลิตภัณฑ์ขนมขึ้นรูปจากแป้ง และจากข้าว ตามลำดับ โดยรสชาติที่ชอบมากที่สุดเป็นกลิ่นรสดั้งเดิม

4.1.3 สำรวจทัศนคติที่มีต่อการรับประทานผัก การยอมรับและความสนใจเบื้องต้นที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาขึ้น

เพื่อสำรวจความสนใจของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาขึ้น จึงต้องสำรวจทัศนคติเบื้องต้นที่มีต่อการรับประทานผัก และความสนใจตัวผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งได้ผลการสำรวจดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ทัศนคติของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายต่อการรับประทานผัก และความสนใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนา

ทัศนคติของผู้บริโภค	ร้อยละ
การรับประทานผัก	
รับประทานได้ทุกชนิด	59.33
รับประทานได้บางชนิด	33.33
ไม่รับประทานผัก	7.33
การรับประทานถั่วลันเตา และแครอท	
เคยรับประทาน	94.67
ไม่เคยรับประทาน	4.00
ไม่แน่ใจว่าเคยรับประทาน	1.33
ถ้าใส่ชิ้นผักลงในขนมจากข้าวจะสนใจรับประทานหรือไม่	
สนใจ	80.00
ไม่สนใจ	8.67
ไม่แน่ใจ	11.33

จากผลการสำรวจทัศนคติของกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย พบว่าส่วนใหญ่สนใจในผลิตภัณฑ์ใหม่ที่จะพัฒนาขึ้น โดยกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมายสามารถรับประทานผักได้ และเคยรับประทานถั่วลันเตา และแครอท ดังนั้นการเสริมถั่วลันเตา และแครอทจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาพัฒนาเป็นส่วนผสมของขนมขบเคี้ยว นอกจากคุณค่าทางอาหารที่อาจจะได้รับแล้ว ยังเป็นพืชผักที่เด็กๆ รู้จักและเคยรับประทาน มีสีสันสวยงาม น่าจะดึงดูดใจผู้บริโภคได้ ทำให้เด็กและเยาวชนรู้สึกว่าสามารถนำผักมารับประทานเป็นอาหารว่างได้ สร้างความคุ้นเคยในการรับประทานผัก และอาจช่วยชักจูงเด็กๆให้หันมาบริโภคผักกันมากขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทั้งหมดจะถูกนำไปใช้ในการวางแนวทางการพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักต่อไป

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (A.O.A.C.,1995) และปริมาณแอมิโลส (Juliano, 1971) ของแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว ตราช้างสามเศียร ของบริษัทโรงเส้นหมี่-ซอเฮง ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ และปริมาณแอมิโลสของวัตถุดิบ

องค์ประกอบ	แป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	แป้งข้าวเหนียว (ร้อยละ)
ปริมาณความชื้น	9.81 ± 0.11	9.77 ± 0.14
โปรตีน	7.42 ± 0.13	5.75 ± 0.01
ไขมัน	1.13 ± 0.06	1.09 ± 0.08
เส้นใย	0.37 ± 0.05	0.33 ± 0.07
เถ้า	0.30 ± 0.00	0.26 ± 0.01
คาร์โบไฮเดรต	90.78 ± 0.09	92.57 ± 0.11
ปริมาณแอมิโลส	35.46 ± 0.29	8.84 ± 0.23

จากตาราง 4.4 แสดงให้เห็นว่าแป้งทั้ง 2 ชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่มีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกันมาก ซึ่งแป้งข้าวเจ้ามีแอมิโลสสูงถึงร้อยละ 35.46 แต่แป้งข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลสเพียงร้อยละ 8.84

ในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากแป้งนั้นควรมีอัตราส่วนของปริมาณ แอมิโลส : แอมิโลเพกติน ที่เหมาะสม เพราะอัตราส่วนดังกล่าวจะมีผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ (Mercier and Feillet, 1975) แต่แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณแอมิโลสสูงมาก ดังนั้นในการผสมแป้ง 2 ชนิด จึงต้องใช้แป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วนที่ต่ำกว่า แป้งข้าวเหนียวมากเพื่อที่จะกำหนดปริมาณแอมิโลสให้เหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยของ Chen และ Yeh (2001) ก็ได้มีการผสมแป้งข้าว 2 ชนิดที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน (ร้อยละ 9.52 กับ 23.02) เพื่อแปรปริมาณแอมิโลสของชิ้นแป้ง (pellet) ที่จะนำไปศึกษาคุณสมบัติชิ้นแป้งและการพองตัว

4.3 ผลการศึกษาสูตรและกรรมวิธีในการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

4.3.1 ผลการกำหนดสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และน้ำในสูตรผสมแป้ง

กำหนดสัดส่วนการผสม แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และน้ำ โดยใช้ Mixture design เพื่อให้สูตรแป้งผสมมีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกัน 5 ระดับ เพราะในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนม

ขบเคี้ยว แป้งที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้องมีปริมาณแอมิโลสที่พอเหมาะจึงจะให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวที่ดี ซึ่งจะส่งผลดีต่อคุณภาพทาง ด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วย ปริมาณแอมิโลสที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคคือ ปริมาณแอมิโลสในช่วงร้อยละ 5 - 20 (Charles, 1969) ดังนั้นเพื่อศึกษาผลของปริมาณแอมิโลสที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวจึงได้แปรปริมาณแอมิโลสเป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแอมิโลสในสูตรผสมแป้งทั้ง 5 สูตร

สูตรที่	แป้งข้าวเหนียว (ร้อยละ)	แป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	น้ำ (ร้อยละ)	shortening (ร้อยละ)	ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)
1	47.5	-	47.5	5	9
2	47.5	9.5	38	5	13
3	35.15	17.1	42.75	5	18
4	23.75	23.75	47.5	5	22
5	23.75	33.25	38	5	24

4.3.2 ผลการศึกษาปริมาณแอมิโลส และปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบกรอบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของขนมอบกรอบจากแป้งข้าวอีกประการหนึ่งนอกจากปริมาณแอมิโลส คือความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบกรอบ ซึ่งปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ภายหลังการทำแห้งจะทำให้เกิดแรงดันไอน้ำ ที่ดันเนื้อแป้งให้เกิดเป็นโพรงอากาศแทรกอยู่ในเนื้อขนม ซึ่งแรงดันไอน้ำที่พอเหมาะกับแรงต้านทานจากเนื้อแป้ง จะทำให้ขนมอบกรอบมีคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Charles, 1969)

ปัจจัยคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบคือ การพองตัวและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดีคือมีการพองตัวที่สม่ำเสมอทั้งชิ้น โพรงอากาศ (air cell) ภายในมีขนาดเล็ก กระจายทั่วทั้งชิ้น และมีผนังเซลล์ไม่หนาเกินไป (Lee *et al.*,2000) ส่วนความหนาแน่นของชิ้นขนมจะมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับการพองตัว ขนมพองตัวได้มากจะมีความหนาแน่นน้อย ขนมที่ได้จะมีลักษณะโปร่งและเบา แต่ขนมที่พองตัวได้น้อยจะมีความหนาแน่นสูง ซึ่งความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนั้นอาจแตกต่างกันไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์อาราเรบางชนิดที่ต้องการการพองตัวน้อยแต่มีความแน่นสูง

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณแอมิโลส และปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบกรอบที่มีต่อสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว ซึ่งวัดจาก 3 ตำแหน่ง (จุดกึ่งกลางและตำแหน่งริมทั้ง 2 ข้าง)ให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยพบว่าทั้ง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกันต่อสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ญ.) ซึ่งในสูตรแป้งแอมิโลสต่ำ (ร้อยละ 9) ปริมาณความชื้นไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนการพองตัวของผลิตภัณฑ์ แต่ในสูตรแป้งแอมิโลสสูง (ร้อยละ 22 และ 24) ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวได้มากขึ้น เนื่องจากมีโครงสร้างเจลที่หนาแน่นกว่าจึงต้องการแรงดันมากขึ้นในการขยายโครงสร้างโพรงอากาศภายในเนื้อขนม

นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มการลดลงของสัดส่วนการพองตัว เมื่อสูตรแป้งมีปริมาณแอมิโลสสูงขึ้น ดังตารางที่ 4.6 4.7 และ 4.8 ในสูตรแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (ร้อยละ 22 และ 24) มีสัดส่วนการพองตัวต่ำที่สุด สูตรแป้งแอมิโลสปานกลาง(ร้อยละ 13 และ 18) มีสัดส่วนการพองตัวใกล้เคียงกัน และสูตรแป้งแอมิโลสต่ำ (ร้อยละ 9) มีสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด

ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชั่น ของแอมิโลสเกิดขึ้นได้ดีและรวดเร็วกว่าแอมิโลเพกติน ทำให้โครงสร้างเจลของชิ้นแป้งที่มีแอมิโลสสูง มีความหนาแน่นและแข็งแรงกว่า จึงมีแรงต้านการพองตัวสูงกว่าสูตรแป้งแอมิโลสต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสัดส่วนการพองตัวต่ำกว่าสูตรแป้งแอมิโลสต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen และ Yeh (2001) ที่ศึกษาผลของปริมาณแอมิโลสต่อการพองตัวของชิ้นแป้งข้าว (rice pellet) ที่ได้จากการเอกซ์ทรูชัน แล้วนำไปอบกรอบ ซึ่งทั้งสองพบว่าปริมาณแอมิโลสร้อยละ 9.03 จะมีสัดส่วนการพองตัวสูงที่สุด และปริมาณแอมิโลสร้อยละ 22.50 มีสัดส่วนการพองตัวต่ำที่สุด

จากการที่ปัจจัยด้านปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งที่มีอิทธิพลต่อการพองตัวด้วยนั้น เนื่องจากชิ้นแป้งที่มีความชื้นสูงจะมีแรงดันไอน้ำมากกว่า ทำให้พองตัวได้ดีกว่าชิ้นแป้งความชื้นต่ำ ซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเจนที่สูตรแป้งแอมิโลสสูง (ร้อยละ 22 และ 24) แต่ถ้าความชื้นของชิ้นแป้งสูงเกินไปการพองตัวของผลิตภัณฑ์อาจไม่สม่ำเสมอโพรงอากาศภายในชิ้นขนมมีขนาดใหญ่ และมีผนังเซลล์ที่หนาทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจมีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้นได้

ตารางที่ 4.6 สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลางของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ

ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลาง			
	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 15	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 20	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 25	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 30
9	$5.79^{jk} \pm 0.39$	$5.59^{j} \pm 0.21$	$6.02^{k} \pm 0.13$	$5.96^{k} \pm 0.48$
13	$3.04^{f} \pm 0.24$	$3.75^{g} \pm 0.28$	$4.08^{gh} \pm 0.08$	$4.23^{hi} \pm 0.18$
18	$3.81^{g} \pm 0.06$	$3.97^{gh} \pm 0.19$	$4.51^{i} \pm 0.15$	$4.46^{i} \pm 0.15$
22	$1.35^{a} \pm 0.02$	$1.73^{b} \pm 0.04$	$2.35^{cd} \pm 0.18$	$2.75^{ef} \pm 0.17$
24	$1.39^{ab} \pm 0.06$	$1.65^{ab} \pm 0.02$	$2.11^{c} \pm 0.19$	$2.54^{de} \pm 0.12$

a,b... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ

ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1			
	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 15	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 20	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 25	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 30
9	$4.51^{hi} \pm 0.17$	$4.24^{h} \pm 0.18$	$4.74^{i} \pm 0.30$	$4.72^{i} \pm 0.37$
13	$2.75^{d} \pm 0.24$	$3.45^{f} \pm 0.21$	$3.58^{f} \pm 0.06$	$3.89^{g} \pm 0.31$
18	$3.10^{e} \pm 0.21$	$3.03^{de} \pm 0.16$	$3.29^{ef} \pm 0.17$	$3.31^{ef} \pm 0.15$
22	$1.28^{a} \pm 0.04$	$1.37^{a} \pm 0.10$	$1.97^{bc} \pm 0.16$	$2.26^{c} \pm 0.09$
24	$1.30^{a} \pm 0.02$	$1.30^{a} \pm 0.09$	$1.85^{b} \pm 0.12$	$2.10^{bc} \pm 0.15$

a,b... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 ของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ

ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2			
	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 15	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 20	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 25	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 30
9	$4.31^{gh} \pm 0.15$	$4.57^{h} \pm 0.26$	$4.63^{h} \pm 0.23$	$4.45^{h} \pm 0.33$
13	$2.65^{c} \pm 0.25$	$3.43^{e} \pm 0.30$	$3.78^{f} \pm 0.27$	$4.08^{fg} \pm 0.09$
18	$2.84^{cd} \pm 0.22$	$2.84^{cd} \pm 0.23$	$3.12^{de} \pm 0.14$	$3.18^{de} \pm 0.29$
22	$1.22^{a} \pm 0.11$	$1.35^{a} \pm 0.07$	$1.84^{b} \pm 0.08$	$2.10^{b} \pm 0.05$
24	$1.25^{a} \pm 0.03$	$1.35^{a} \pm 0.06$	$1.88^{b} \pm 0.11$	$2.05^{b} \pm 0.14$

a,b... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวนั้น มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับค่าสัดส่วนการพองตัว โดยผลิตภัณฑ์ที่พองตัวมากขึ้นจะมีความหนาแน่นลดลง ซึ่งค่าความหนาแน่นจะสามารถบ่งบอกลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ โดยเมื่อผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะโปร่ง มีน้ำหนักเบา และมีความเปราะ(กรอบ) มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูง (Matz, 1984) ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ขนมอบกรอบแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าสูตรแป้งแอมิโลสสูง (ร้อยละ 22 และ 24) มีความหนาแน่นมากที่สุด (พองตัวน้อยที่สุด) และสูตรแป้งแอมิโลสต่ำ (ร้อยละ 9) มีความหนาแน่นต่ำที่สุด และที่ปริมาณแอมิโลสสูงขึ้น (ร้อยละ 22 และ 24) ปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งมีผลต่อความหนาแน่นเช่นเดียวกับที่มีผลต่อการพองตัว

จากผลของสัดส่วนการพองตัว และความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณแอมิโลสและความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบนี้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบที่มีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11 ซึ่งพบว่าสูตรแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (ร้อยละ 22 และ 24) มีค่าความแข็ง และค่าความเปราะมากที่สุด (แข็งมากที่สุด) สูตรแป้งแอมิโลสปานกลาง (ร้อยละ 13 และ 18) มีค่าความแข็งและความเปราะใกล้เคียงกัน และในสูตรแป้งแอมิโลสต่ำ (ร้อยละ 9) มีค่าความแข็ง และค่าความเปราะน้อยที่สุด (กรอบมากที่สุด)

ตารางที่ 4.9 ความหนาแน่นของชิ้นแป้งหลังการอบกรอบ

ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3)			
	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 15	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 20	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 25	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 30
9	$0.28^{b} \pm 0.01$	$0.28^{b} \pm 0.02$	$0.25^{ab} \pm 0.01$	$0.23^{a} \pm 0.01$
13	$0.43^{efg} \pm 0.02$	$0.43^{defg} \pm 0.01$	$0.38^{cd} \pm 0.01$	$0.36^{c} \pm 0.01$
18	$0.40^{cde} \pm 0.02$	$0.42^{def} \pm 0.01$	$0.37^{c} \pm 0.04$	$0.38^{cd} \pm 0.02$
22	$0.63^{ij} \pm 0.05$	$0.59^{hi} \pm 0.05$	$0.56^{h} \pm 0.04$	$0.47^{fg} \pm 0.04$
24	$0.68^{k} \pm 0.06$	$0.65^{jk} \pm 0.01$	$0.61^{hij} \pm 0.02$	$0.47^{g} \pm 0.02$

a,b... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สำหรับปัจจัยด้านปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบ พบว่าในสูตรแอมิโลสต่ำ และปานกลางนั้น ปัจจัยด้านความชื้นมีผลต่อค่าความแข็งและความเปราะเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากช่วงความชื้นที่ศึกษานั้น มีแรงดันไอน้ำมากพอที่จะขยายโครงสร้างของชิ้นแป้งให้พองกรอบได้ใกล้เคียงกัน แต่ในสูตรแอมิโลสสูงนั้นพบว่าที่ความชื้นของชิ้นแป้งร้อยละ 30 และ 25 ชิ้นขนมมีค่าความแข็งน้อยกว่าชิ้นขนมที่มีความชื้นของชิ้นแป้งร้อยละ 20 และ 15 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากโครงสร้างเจลของชิ้นแป้งในสูตรแอมิโลสสูงมีความแข็งแรงกว่า จึงต้องใช้แรงดันไอน้ำที่มากกว่าในการพองตัว ความชื้นจึงมีผลต่อเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้มากกว่า

ตารางที่ 4.10 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ค่าความแข็ง (g)			
	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 15	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 20	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 25	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 30
9	$1138.89^{ab} \pm 51.51$	$1101.60^{ab} \pm 69.50$	$1173.18^{abc} \pm 105.81$	$1027.00^{a} \pm 74.58$
13	$1424.04^{ef} \pm 172.00$	$1342.40^{cde} \pm 154.42$	$1376.73^{de} \pm 90.43$	$1229.71^{bcd} \pm 214.29$
18	$1581.85^{f} \pm 241.31$	$1497.18^{ef} \pm 117.90$	$1439.73^{ef} \pm 330.56$	$1410.94^{def} \pm 268.68$
22	$2413.90^{i} \pm 138.90$	$2414.57^{i} \pm 104.75$	$1833.90^{g} \pm 211.36$	$1814.33^{g} \pm 47.79$
24	$3211.87^{k} \pm 355.87$	$2998.91^{j} \pm 236.88$	$2181.54^{h} \pm 159.93$	$1788.76^{g} \pm 76.08$

a,b... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ค่าความเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ค่าความเปราะ (g)			
	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 15	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 20	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 25	ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 30
9	$397.86^{a} \pm 45.12$	$581.78^{b} \pm 62.95$	$387.44^{a} \pm 68.08$	$744.62^{c} \pm 46.18$
13	$1059.40^{ef} \pm 150.22$	$923.63^{d} \pm 186.54$	$572.14^{b} \pm 98.46$	$958.01^{de} \pm 215.91$
18	$1328.97^{g} \pm 185.63$	$1068.77^{ef} \pm 174.24$	$951.00^{de} \pm 100.22$	$834.30^{cd} \pm 105.95$
22	$1648.57^{i} \pm 113.02$	$1747.88^{i} \pm 104.29$	$746.05^{c} \pm 164.24$	$1112.29^{f} \pm 88.04$
24	$1312.11^{g} \pm 140.34$	$1461.91^{h} \pm 153.91$	$872.21^{cd} \pm 104.13$	$826.50^{cd} \pm 60.89$

a,b... ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.3 ผลการคัดเลือกสูตรการผลิตที่เหมาะสม เพื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส

คัดเลือกสูตรและภาวะการผลิตที่เหมาะสม 5 สูตรการผลิต โดยพิจารณาจากค่าความแข็ง 5 ระดับที่แตกต่างกัน จากปริมาณแอมิโลสทั้ง 5 ระดับ ซึ่งแสดงสูตรที่คัดเลือกได้ ดังรูปที่ 4.1

(ก.) สูตรแอมิโลสร้อยละ 9
ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 20
ความแข็ง 1101.60 g.

(ข.) สูตรแอมิโลสร้อยละ 13
ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 20
ความแข็ง 1342.40 g.

(ค.) สูตรแอมิโลสร้อยละ 18
ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 15
ความแข็ง 1581.85 g.

(ง.) สูตรแอมิโลสร้อยละ 22
ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 30
ความแข็ง 1814.33 g.

(จ.) สูตรแอมิโลสร้อยละ 24
ความชื้นชิ้นแป้งร้อยละ 25
ความแข็ง 2181.54 g.

รูปที่ 4.1 สูตรและภาวะการผลิตที่คัดเลือกไปทดสอบทางประสาทสัมผัส (ก. - จ.)

4.3.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

เมื่อทดสอบความชอบ และระดับความรู้สึกที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 สูตรการผลิต ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

สูตรการผลิต		ความชอบด้านลักษณะปรากฏ	ความชอบด้านเนื้อสัมผัส
ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้นของชิ้นแป้ง (ร้อยละ)		
9	20	$4.60^{c} \pm 1.39$	$5.22^{d} \pm 1.18$
13	20	$4.70^{c} \pm 0.91$	$4.00^{c} \pm 1.20$
18	15	$4.26^{bc} \pm 1.28$	$4.10^{c} \pm 1.52$
22	30	$3.88^{ab} \pm 1.69$	$3.30^{b} \pm 1.37$
24	25	$3.56^{a} \pm 1.49$	$2.58^{a} \pm 1.25$

a,b,…ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ใช้แบบทดสอบ 7-point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมาก 7 = ชอบมาก)

ตารางที่ 4.13 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

สูตรการผลิต		คะแนนความกรอบ	คะแนนความแข็ง
ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้นของชิ้นแป้ง (ร้อยละ)		
9	20	$4.26^{c} \pm 0.69$	$2.90^{a} \pm 0.74$
13	20	$3.82^{ab} \pm 0.92$	$3.76^{b} \pm 0.80$
18	15	$3.68^{a} \pm 1.33$	$3.70^{b} \pm 0.86$
22	30	$4.02^{bc} \pm 0.82$	$4.04^{c} \pm 0.78$
24	25	$3.58^{a} \pm 1.28$	$4.54^{d} \pm 0.61$

a,b,…ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ใช้แบบทดสอบ 5-point intensity scale (1 = น้อย 5 = มาก)

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 จะเห็นว่าสูตรการผลิตที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 9 และมีความชื้นร้อยละ 20 มีคะแนนความชอบ และคะแนนทางประสาทสัมผัสดีที่สุด คือมีความกรอบมากที่สุด แต่มีความแข็งน้อยที่สุด ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับค่าทางกายภาพที่วัดได้ (มีค่าความแข็งและความเปราะน้อยที่สุด) จึงเลือกสูตรการผลิตดังกล่าวไปพัฒนาต่อเป็นขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

4.4 ผลการพัฒนาขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

4.4.1 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมผัก

เนื่องจากการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักด้วยวิธีการอบตามข้อ 4.3 (เปิดภาชนะตลอดการอบ) นั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีผักเข้มและไหม้ เนื้อแป้งรอบชิ้นผักมีรอยไหม้ (รูป 4.2) จึงต้องมีการปรับปรุงเทคนิคการอบให้สามารถรักษาสีของชิ้นผักไว้ได้มากที่สุด โดยที่เนื้อสัมผัสของแป้งยังเป็นที่ยอมรับโดยผู้บริโภค (แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในรูป 4.3)

รูปที่ 4.2 ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบกรอบแบบเปิดภาชนะ

รูปที่ 4.3 ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบกรอบแบบ 2 ขั้นตอน

จากนั้นจึงศึกษาผลของการแปรเวลาการอบรวม และการแปรเวลาอบแบบเปิด เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพที่จะมีผลต่อลักษณะ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก โดยการอบแบบเปิดทำให้ชิ้นแป้งได้รับความร้อนเต็มที่ ชิ้นแป้งจึงเกิดการพองตัวด้วยแรงดันไอน้ำอย่างรวดเร็ว เป็นโครงสร้างของชิ้นขนม หลังจากนั้นจะอบแบบปิดต่อทันทีเพื่อลดความชื้นของชิ้นแป้งให้แห้งกรอบ ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้นมีความกรอบมากขึ้น และลดการไหม้ของชิ้นผักจากความร้อนที่กระทบผิวขนมโดยตรงอีกด้วย

เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า water activity (a_w) ของผลิตภัณฑ์หลังผ่านการอบกรอบ พบว่าเวลาการอบแบบเปิดและเวลาอบรวมมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งระยะเวลาการอบแบบเปิดจะมีอิทธิพลต่อค่า a_w ที่เวลาอบรวม 35 นาที เท่านั้นคือ มีผลให้ a_w ลดต่ำลงได้เมื่อเวลาอบแบบเปิดนานขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาอบรวมเป็น 45 และ 55 นาที พบว่าเวลาอบแบบเปิดจะไม่มีผลกระทบต่อค่า a_w แต่เวลาอบรวมที่นานขึ้นจะสามารถลดค่า a_w ได้มากกว่า ดังตารางที่ 4.14 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาการอบรวมให้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์อยู่ในเตาอบนานกว่าจึงสูญเสียความชื้นออกไปได้มากกว่า แต่ที่เวลาอบรวม 35 นาที อาจเป็นเวลาที่สั้นเกินไปในการอบผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีค่า a_w ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอบแบบเปิดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากได้รับความร้อนตอนเปิดภาชนะอบที่นานกว่า

ตารางที่ 4.14 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	a_w		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	$0.55^{f} \pm 0.01$	$0.16^{bc} \pm 0.01$	$0.07^{a} \pm 0.01$
9	$0.40^{e} \pm 0.00$	$0.17^{c} \pm 0.01$	$0.08^{a} \pm 0.01$
12	$0.33^{d} \pm 0.01$	$0.15^{b} \pm 0.01$	$0.07^{a} \pm 0.01$

a,b,...ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ พบว่าเวลาอบแบบเปิด และเวลาอบรวมมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ คือเมื่อเวลาอบรวมเพิ่มขึ้นจะสามารถลดปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า ดังตารางที่ 4.15 ที่เวลาอบรวม 55 นาที จะลดปริมาณความชื้นสุดท้ายได้มากที่สุด ซึ่งที่เวลาอบรวม 55 นาที นั้น เวลาอบแบบเปิดไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อพิจารณาที่เวลาอบรวม 35 และ 45 นาที จะพบว่า เวลาอบแบบเปิดที่เพิ่มขึ้นจะลดปริมาณความชื้นสุดท้ายได้มากกว่า ซึ่งเวลาอบแบบเปิด 12 นาทีจะลดปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด เนื่องจากได้รับความร้อนในช่วงอบแบบเปิดที่นานกว่านั่นเอง

ตารางที่ 4.15 ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ)		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	$2.77^{f} \pm 0.25$	$1.67^{d} \pm 0.06$	$0.24^{a} \pm 0.02$
9	$2.17^{e} \pm 0.17$	$1.47^{c} \pm 0.07$	$0.27^{a} \pm 0.02$
12	$1.80^{d} \pm 0.13$	$0.86^{b} \pm 0.05$	$0.22^{a} \pm 0.02$

a,b,...ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

จากระยะเวลาการอบแบบเปิดที่แตกต่างกันทำให้มีสัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลางชิ้นแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.16 โดยพบว่าเมื่อเวลาอบรวมเท่ากัน ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาอบแบบเปิดมากกว่าจะพองตัวได้มากกว่า เนื่องจากน้ำในชิ้นแป้งได้รับความร้อนนานกว่าในช่วงเปิดภาชนะทำให้ระเหยออกเป็นแรงดันได้มากกว่า การอบแบบเปิดที่ 12 นาที จึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวมากที่สุด แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ของค่าดังกล่าว เมื่อเวลาอบรวมเพิ่มขึ้น (หลังปิดภาชนะ) เนื่องจากการพองตัวด้วยแรงดันไอน้ำ อาจเกิดขึ้นเฉพาะตอนอบแบบเปิดที่ให้ไอน้ำระเหยออกไปได้อย่างอิสระกว่า เมื่อพิจารณาสัดส่วนการพองตัวที่จุดริมทั้ง 2 ตำแหน่ง พบว่าสัดส่วนการพองตัวไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ในทุกๆช่วงเวลาการอบแบบเปิดและอบแบบปิด ดังตารางที่ 4.17 และ 4.18 อาจเนื่องจากการพองตัวส่วนใหญ่จะมีแรงดันออกมาจากตรงกลางชิ้นที่มีพื้นที่ให้ขยายตัวได้มากกว่า และมีความยืดหยุ่นกว่าด้านริมชิ้น เนื่องจากด้านริมชิ้นโดนแรง

กดทับในตอนตัดเป็นชิ้นแป้ง ทำให้ส่วนขอบริมชิ้นอัดตัวกันแน่นกว่าตรงกลาง และนอกจากนี้ด้านริมชิ้นยังสูญเสียความชื้นในขั้นตอนการทำแห้งได้ง่ายกว่าด้วย จึงทำให้ขยายตัวได้น้อยกว่าตรงกลางชิ้น

ตารางที่ 4.16 สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลางชิ้นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลาง		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	$6.01^{a} \pm 0.27$	$6.28^{ab} \pm 0.24$	$6.34^{ab} \pm 0.33$
9	$6.50^{ab} \pm 0.44$	$6.59^{abc} \pm 0.41$	$6.69^{abcd} \pm 0.29$
12	$6.97^{bcd} \pm 0.49$	$7.27^{cd} \pm 0.50$	$7.30^{d} \pm 0.32$

a,b,...ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.17 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ^{ns}		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	5.14 ± 0.31	4.85 ± 0.39	4.76 ± 0.38
9	4.84 ± 0.32	4.96 ± 0.37	4.66 ± 0.36
12	4.74 ± 0.20	4.90 ± 0.29	5.09 ± 0.37

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.18 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 [ns]		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	4.48 ± 0.16	4.50 ± 0.35	4.93 ± 0.69
9	4.93 ± 0.18	4.95 ± 0.38	4.77 ± 0.66
12	4.40 ± 0.29	4.84 ± 0.23	5.01 ± 0.55

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

สำหรับค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการอบแบบเปิดเท่านั้น โดยเมื่ออบผลิตภัณฑ์แบบเปิดนานขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความหนาแน่นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยการอบแบบเปิดเป็นเวลา 12 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด แต่เวลาการอบรวมนั้นไม่มีผลต่อความหนาแน่น ($p>0.05$) เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะพองตัวได้ดีเมื่ออยู่ในสภาพการอบแบบเปิดเท่านั้น ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์แสดงไว้ในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	ความหนาแน่น (g/cm^3)		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	0.42^{c} ± 0.01	0.41^{c} ± 0.01	0.41^{c} ± 0.01
9	0.31^{b} ± 0.01	0.31^{b} ± 0.01	0.30^{b} ± 0.02
12	0.24^{a} ± 0.01	0.25^{a} ± 0.01	0.25^{a} ± 0.01

a,b,…ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

ผลจากค่าสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น ไม่ว่าจะเป็นค่าสัดส่วนการพองตัว ความหนาแน่น ค่า a_w และปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ล้วนแต่มีความเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น โดยเมื่อพิจารณาค่าความแข็งและ

ความเปราะของผลิตภัณฑ์ ในตารางที่ 4.20 และ 4.21 พบว่าค่าความแข็ง และความเปราะจะลดลงเมื่อระยะเวลาอบแบบเปิดนานขึ้น ซึ่งจะสัมพันธ์กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ผลิตภัณฑ์จะมีการพองตัวมาก ความหนาแน่นน้อย และเมื่อเวลาการอบรวมเพิ่มขึ้นทำให้น้ำระเหยออกไปได้มากขึ้น ทำให้มีค่า a_w และปริมาณความชื้นสุดท้ายลดลง เนื้อแป้งจึงแห้งและร่วนขึ้นมีโครงสร้างผนังเซลล์ของโพรงอากาศที่เปราะขึ้น ทำให้ค่าความแข็ง และมีความเปราะลดลง (กรอบมากขึ้น) ดังนั้นทั้งระยะเวลาของการอบแบบเปิด และเวลาอบรวม (หลังปิดภาชนะ) ต่างก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Kayacier และ Singh (2003) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบ tortilla chips ให้นานขึ้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าความเปราะลดลง เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์จะมีรอยแตกร้าว และโพรงอากาศที่ใหญ่กว่า โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากภาพตัวขวางของชิ้นผลิตภัณฑ์ tortilla chips

ตารางที่ 4.20 ความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	ความแข็ง (g)		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	$2406.04^{e} \pm 206.99$	$1816.73^{c} \pm 126.72$	$1907.05^{cd} \pm 179.92$
9	$2001.78^{d} \pm 197.64$	$1438.84^{b} \pm 119.43$	$1423.79^{b} \pm 123.56$
12	$1811.42^{c} \pm 80.25$	$1149.37^{a} \pm 106.59$	$1196.16^{a} \pm 121.29$

a,b,…ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.21 ความเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	ความเปราะ (g)		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	$1485.00^{e} \pm 116.44$	$1309.66^{d} \pm 111.98$	$853.40^{b} \pm 86.88$
9	$1264.77^{d} \pm 121.85$	$1255.26^{d} \pm 122.42$	$779.50^{b} \pm 84.87$
12	$1091.82^{c} \pm 111.51$	$854.26^{b} \pm 84.87$	$522.63^{a} \pm 51.77$

a,b,…ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

คุณภาพด้านลักษณะปรากฏที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการทดลองในส่วนนี้ต้องการรักษาสีของชิ้นผัก และชิ้นแป้งให้ยังคงสภาพดีไม่มีสีเข้มหรือไหม้ เมื่อวัดค่าสีตามระบบ L a b แล้วพบว่า เวลาการอบรวมมีอิทธิพลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อพิจาณาค่าความสว่าง (L) ของผลิตภัณฑ์จะพบว่า ค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการอบรวมเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเวลาอบแบบเปิดเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.22 เนื่องจากชิ้นแป้งได้รับความร้อนในเตาอบเป็นเวลานานขึ้น สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเข้มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสีแดง (+a) และค่าสีเหลือง (+b) ของผลิตภัณฑ์ก็พบว่ามีแนวโน้มเดียวกับค่าความสว่าง เมื่อเวลาอบรวมเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น (สีน้ำตาลแดง)
ตามเวลาอบรวมที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.23 และ 4.24

จากตารางค่าสีทั้ง 3 ตาราง แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยเวลารวม 55 นาที มีค่าความสว่างน้อยที่สุด และมีค่าสีแดงสูงที่สุด จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม (สีน้ำตาลแดง) มากกว่าการอบด้วยเวลารวม 35 และ 45 นาที เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยเวลา 55 นาที ได้รับความร้อนนานที่สุด จึงสูญเสียความชื้นได้มากที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาอบรวม 55 นาที มีค่าลักษณะปรากฏทางด้านสีด้อยกว่า การอบที่เวลาอบรวม 35 และ 45 นาที

ตารางที่ 4.22 ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	ความสว่าง (L)		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	$71.11^{de} \pm 0.97$	$70.17^{bcd} \pm 0.16$	$69.24^{ab} \pm 0.56$
9	$71.53^{e} \pm 0.28$	$70.84^{cde} \pm 0.22$	$69.79^{b} \pm 0.65$
12	$71.77^{e} \pm 0.44$	$70.06^{bcd} \pm 1.15$	$68.56^{a} \pm 0.46$

a,b,…ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.23 ค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	ค่าสีแดง (+a)		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	$0.50^{a} \pm 0.04$	$1.05^{b} \pm 0.09$	$2.15^{c} \pm 0.18$
9	$0.51^{a} \pm 0.05$	$0.90^{b} \pm 0.06$	$2.03^{c} \pm 0.12$
12	$0.59^{a} \pm 0.05$	$0.92^{b} \pm 0.09$	$2.11^{c} \pm 0.15$

a,b,…ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.24 ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เวลาเปิด (นาที)	ค่าสีเหลือง (+b)		
	เวลาอบรวม 35 นาที	เวลาอบรวม 45 นาที	เวลาอบรวม 55 นาที
6	$19.94^{a} \pm 1.01$	$22.96^{cdef} \pm 1.13$	$25.06^{f} \pm 1.23$
9	$20.97^{abc} \pm 0.27$	$21.69^{abcd} \pm 1.15$	$23.49^{def} \pm 1.49$
12	$20.73^{ab} \pm 0.75$	$22.39^{bcde} \pm 0.94$	$24.53^{ef} \pm 1.89$

a,b,…ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

4.4.2 ผลการคัดเลือกภาวะที่เหมาะสมในการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมผัก

การคัดเลือกภาวะการอบนั้นจะพิจารณาจาก ลักษณะปรากฏภายนอกทั้งทางด้านรูปร่าง สีของเนื้อแป้ง และสีชิ้นผัก ควบคู่ไปกับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งพอเหมาะ เพื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งภาวะการอบที่เลือก คือภาวะการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที เนื่องจากผลิตภัณฑ์ในภาวะดังกล่าว แม้จะไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งน้อยที่สุด แต่มีลักษณะปรากฏดีกว่าการอบแบบเปิด 12 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที ซึ่งมีความแข็งน้อยที่สุด แต่ลักษณะปรากฏด้านสีชิ้นผักเข้มเกินไป ซึ่งได้แสดงรูปตัวอย่างผลิตภัณฑ์ และค่าความแข็ง ไว้ดังรูปที่ 4.4

(ก.) อบแบบเปิด 6 นาที / อบรวม 35 นาที ความแข็ง 2406.04 g.

(ข.) อบแบบเปิด 6 นาที / อบรวม 45 นาที ความแข็ง 1816.73 g.

(ค.) อบแบบเปิด 6 นาที / อบรวม 55 นาที ความแข็ง 1907.05 g.

(ง.) อบแบบเปิด 9 นาที / อบรวม 35 นาที ความแข็ง 2001.78 g.

(จ.) อบแบบเปิด 9 นาที / อบรวม 45 นาที ความแข็ง 1438.84 g.

(ฉ.) อบแบบเปิด 9 นาที / อบรวม 55 นาที ความแข็ง 1423.79 g.

(ช.) อบแบบเปิด 12 นาที / อบรวม 35 นาที ความแข็ง 1811.42 g.

(ฌ.) อบแบบเปิด 12 นาที / อบรวม 45 นาที ความแข็ง 1149.37 g.

(ญ.) อบแบบเปิด 12 นาที / อบรวม 55 นาที ความแข็ง 1196.16 g.

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยภาวะต่างๆ และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ (ก. - ญ.)

4.4.3 ผลการศึกษาการปรับปรุงภาวะการผลิตให้เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ด้านลักษณะปรากฏ (สีของชิ้นผัก) และเนื้อสัมผัสของแป้งที่ดีขึ้น

จากผลการทดลองในข้อ 4.4.1 และ 4.4.2 ทำให้สามารถเลือกภาวะการอบได้แล้ว 1 ภาวะ คือ การอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที แม้ในภาวะนี้จะมีลักษณะปรากฏค่อนข้างดี แต่ยังมีความแข็งสูงกว่า ภาวะการอบแบบเปิดที่ 12 นาทีอยู่มาก จึงแปรเวลาการอบแบบเปิดเพิ่มขึ้นและให้แคบลงใกล้เคียงกับที่ 9 นาที เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 7.5 9 และ 10.5 นาที แล้วใช้เวลาอบรวมเป็น 40 นาที เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมกับการอบมากขึ้น

เมื่อวัดสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นตามภาวะใหม่นี้ เปรียบเทียบกับภาวะที่เลือกได้จากข้อ 4.4.2 เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส ผลการวัดสมบัติทางกายภาพแสดงในตารางที่ 4.25 และ 4.26 ซึ่งจะพบว่าภาวะที่มีสมบัติทางกายภาพที่ดีใกล้เคียงกับภาวะอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที คือ การอบแบบปิด 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที ซึ่งมีค่าความแข็งน้อยที่สุด คือ 1105.24 กรัม และมีความเปราะต่ำที่สุดคือ 703.56 กรัม โดยมีค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกับ ภาวะอบแบบเปิด 9 นาที แล้วปิดจนครบ 45 นาที แต่มีค่าสีแดงสูงกว่าเล็กน้อย ทำให้มีสีผลิตภัณฑ์ที่เข้มกว่าเล็กน้อย แต่ได้เปรียบตรงที่สามารถลดค่าความแข็งลงได้ประมาณ 300 กรัม จึงเลือกภาวะการอบแบบเปิด 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส คู่กับภาวะอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

รูปที่ 4.5 ผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยภาวะอบแบบเปิด เปิด 9 นาที /เวลาอบรวม 45 นาที

รูปที่ 4.6 ผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยภาวะอบแบบเปิด10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที

ตารางที่ 4.25 ผลการวัดสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยการอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10.5 นาที/เวลาอบรวม40 นาที เปรียบเทียบกับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

เวลาเปิด/เวลาอบรวม (นาที)	a_w	ปริมาณความชื้นสุดท้าย (ร้อยละ)	สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลาง ^{ns}	สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ^{ns}	สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 ^{ns}	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าความแข็ง (g)	ค่าความเปราะ (g)
9/45	0.17^{a} ±0.00	1.47^{c} ±0.07	6.59 ±0.41	4.95±0.38	4.96±0.37	0.31^{b} ±0.01	1438.84^{b} ±119.43	1255.26^{b} ±122.42
7.5/40	0.39^{d} ±0.00	2.03^{d} ±0.04	6.63 ±0.12	5.18 ±0.41	5.10±0.41	0.38^{c} ±0.01	1899.57^{c} ±135.81	1302.85^{b} ±96.07
9/40	0.28^{c} ±0.00	1.17^{b} ±0.05	6.62 ±0.20	4.74±0.33	4.83±0.18	0.31^{b} ±0.00	1464.29^{b} ±104.84	1267.87^{b} ±124.84
10.5/40	0.19^{b} ±0.01	0.83^{a} ±0.08	6.94 ±0.22	4.84±0.33	4.90±0.17	0.27^{a} ±0.01	1105.24^{a} ±75.99	703.56^{a} ± 63.70

a,b,…ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.26 ผลการวัดสมบัติทางกายภาพทางด้านสีของผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยการอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที เปรียบเทียบกับการอบแบบเปิด 9 นาที /เวลาอบรวม 45 นาที

เวลาเปิด/เวลาอบรวม (นาที)	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (+a)	ค่าสีเหลือง[ns] (+b)
9/45	$70.84^{b} \pm 0.22$	$0.90^{a} \pm 0.06$	21.69 ± 1.15
7.5/40	$68.97^{ab} \pm 0.93$	$0.96^{ab} \pm 0.10$	20.88 ± 0.95
9/40	$67.51^{a} \pm 1.92$	$1.07^{b} \pm 0.05$	21.16 ± 0.97
10.5/40	$69.95^{b} \pm 0.64$	$1.22^{c} \pm 0.02$	21.53 ± 1.65

a,b,…ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

เวลาเปิด หมายถึง เวลาอบแบบเปิดภาชนะก่อนการอบแบบปิด

เวลาอบรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการอบทั้งหมดจนได้เป็นผลิตภัณฑ์

4.4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เมื่อทดสอบความชอบ และระดับความรู้สึกที่มีต่อผลิตภัณฑ์ทั้งสองภาวะการอบ พบว่าผู้ทดสอบมีความชอบด้านลักษณะปรากฏของทั้งสองภาวะไม่แตกต่างกัน แต่ชอบเนื้อสัมผัสของภาวะการอบแบบเปิด 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที มากกว่า แสดงคะแนนในตารางที่ 4.27 ซึ่งสอดคล้องกับผลทางกายภาพที่ภาวะการอบแบบเปิด 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที มีค่าความแข็งต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาคะแนนทางประสาทสัมผัส พบว่าภาวะการอบแบบเปิด 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที มีคะแนนทางด้านเนื้อสัมผัสดีกว่าภาวะการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที แต่มีคะแนนด้านสีไม่แตกต่างกัน โดยทั้งสองภาวะมีความเข้มของสีเนื้อแป้งในระดับปานกลาง แต่มีความเข้มของสีชิ้นผักค่อนข้างมาก แสดงคะแนนในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.27 คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ภาวะการอบ	ความชอบด้านลักษณะปรากฏ^{ns}	ความชอบด้านเนื้อสัมผัส
เวลาเปิด 9 นาที / เวลาอบรวม 45 นาที	4.30 ± 1.22	3.06^{a} ± 1.22
เวลาเปิด 10.5 นาที / เวลาอบรวม 40 นาที	3.98 ± 1.02	3.84^{b} ± 1.32

a,b,…ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ใช้แบบทดสอบ 7-point hedonic scale (1 = ไม่ชอบน้อย 7 = ชอบมาก)

ตารางที่ 4.28 คะแนนทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ภาวะการอบ	คะแนนความกรอบ	คะแนนความแข็ง	คะแนนความเข้มของสีเนื้อแป้ง^{ns}	คะแนนความเข้มของสีผัก^{ns}
เวลาเปิด 9 นาที / เวลาอบรวม 45 นาที	3.24^{a} ± 1.19	3.88^{b} ± 0.87	2.92 ± 0.67	4.04 ± 0.70
เวลาเปิด 10.5 นาที / เวลาอบรวม 40 นาที	3.62^{b} ± 1.03	3.44^{a} ± 0.84	2.86 ± 0.78	4.18 ± 0.83

a,b,…ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ใช้แบบทดสอบ 5-point intensity scale (1 = น้อย 5 = มาก)

เมื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์จากการอบกรอบทั้งสองภาวะ พบว่า ผลิตภัณฑ์จากภาวะการผลิตทั้ง 2 แบบ ยังไม่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ โดยร้อยละของการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากภาวะการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที และภาวะการอบแบบเปิด 10.5 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที มีเพียงร้อยละ 18 และ 24 ตามลำดับ ทั้งนี้ผู้ทดสอบได้ให้เหตุผลในการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และข้อเสนอแนะไว้ดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 สาเหตุของการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ และข้อเสนอแนะ

สาเหตุที่ไม่ยอมรับ	ข้อเสนอแนะ
1. ตัวอย่างมีเนื้อสัมผัสแข็ง	1. ชิ้นใหญ่เกินไป ควรจะลดขนาดลง
2. เมื่อรับประทานแล้วพบเศษแป้งที่เป็นเจลแข็งทำให้ติดฟัน	2. ควรจะนำไปทดลองทอด
3. โพรงของเนื้อขนมพองไม่ดี	3. ควรเพิ่มรสชาติแก่ผลิตภัณฑ์
4. สีตัวแป้ง และผักไม่สม่ำเสมอ	4. ถ้าเนื้อสัมผัสแข็งมากเกินไป คงไม่เหมาะเป็นขนมสำหรับเด็ก
5. รูปร่างของชิ้นไม่สม่ำเสมอ	
6. ผักไหม้ และมีรสขม	

เมื่อทราบถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในตัวผลิตภัณฑ์แล้ว จึงได้มีการวางแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักขึ้นใหม่ โดยจะลดขนาดของผลิตภัณฑ์ให้เล็กลงเพื่อให้การกระจายแรงดันไอน้ำเป็นไปอย่างทั่วถึงทั้งชิ้น และทำให้ลดเวลาการอบกรอบผลิตภัณฑ์ลงได้ อาจทำให้รักษาสภาพสีผักไว้ได้มากขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

4.5 ผลของการวางแนวทางปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

จากการปรับปรุงขนาดชิ้นขนมให้เล็กลง เป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. หนา 0.5 ซม. และมีความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบร้อยละ 20 (ภาวะที่เลือกได้จากข้อ 4.3) เมื่อนำมาอบด้วยเตาไมโครเวฟแล้วจะเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนจากภายในชิ้นแป้ง โมเลกุลของน้ำภายในชิ้นขนมที่ได้รับความร้อนก็จะกลายเป็นไอน้ำขยายตัวดันชิ้นขนมให้เกิดการพองได้อย่างรวดเร็ว (Boischot *et al*., 2003) โดยใช้เวลาเพียง 2 นาที ทำให้ชิ้นขนมที่ได้จากการอบด้วยเตาไมโครเวฟ พองตัวโดยที่ชิ้นผักในขนมก็คงสภาพสีไว้ได้ดี ไม่มีการไหม้ของชิ้นผักให้เห็นแบบการอบให้พองตัวด้วยเตาอบไฟฟ้า แต่เนื่องจากสีของชิ้นขนมมีสีขาวซีดดูไม่น่ารับประทานจึงนำไปอบต่อด้วยเตาอบไฟฟ้าอีก 1.5 นาที เพื่อให้สีชิ้นขนมเข้มขึ้น โดยที่เวลา 1.5 นาที นั้นเป็นเวลาที่ยังไม่ทำให้ผักเกิดการไหม้ ซึ่งได้แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุง

แล้วดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ผลทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงขนาด และกรรมวิธีการอบแล้วนี้แสดงดังตารางที่ 4.30

(ก.)

(ข.)

รูปที่ 4.7 ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักแบบปรับปรุง (ก. และ ข.)

ตารางที่ 4.30 ผลการวัดสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงขนาด และกรรมวิธีการอบ

สมบัติทางกายภาพ	ค่าทางกายภาพ
วอเตอร์แอคติวิตี้	0.22 ± 0.01
ความชื้นสุดท้าย (ร้อยละ)	0.91 ± 0.03
สัดส่วนการพองตัว	4.15 ± 0.32
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.14 ± 0.01
ความแข็ง (g)	1177.48 ± 154.11
ความเปราะ (g)	481.17 ± 54.96
ค่าสี	
L	71.11 ± 1.26
a	0.39 ± 0.05
b	16.97 ± 1.22

เมื่อเปรียบเทียบค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาด 3 ชนิด ที่มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ (ผลิตจากข้าว หรือแป้งข้าว) โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้นั้นมีค่ามีค่าความแข็ง 1177.48 g. และความเปราะ 481.17 g. เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้ง 3 ชนิดแล้วพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีความแข็ง และความเปราะน้อยที่สุด ดังแสดงในตาราง 4.31

ตารางที่ 4.31 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

ชนิดผลิตภัณฑ์	ค่าความแข็ง (g)	ค่าความเปราะ (g)
ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้	1177.48^{a} ± 154.11	481.17^{a} ± 54.96
ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว A.	1739.36^{c} ± 91.65	910.09^{c} ± 113.16
ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว B.	1362.02^{b} ± 65.38	613.55^{b} ± 20.25
ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว C.	1293.42^{b} ± 87.52	558.07^{b} ± 22.81

a,b,...ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบ 50 คน พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ทุกคน โดยมีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสคือ 5.68 และ 6.10 และมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบ และความแข็งคือ 3.96 และ 1.90 ซึ่งเป็นคะแนนที่สามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์มีความแข็งน้อย และมีความกรอบมาก สำหรับความเข้มของสีชิ้นแป้งและชิ้นผักคือ 2.44 และ 2.50 (สีเข้มมากคะแนนมาก) ซึ่งเป็นคะแนนที่ผู้ทดสอบเห็นว่ามีความเข้มสีในระดับปานกลาง แสดงคะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 คะแนนของผลิตภัณฑ์แบบปรับปรุงที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัส

ลักษณะการประเมิน	คะแนน
ความชอบทางประสาทสัมผัส[1]	
ลักษณะปรากฏ	5.68 ± 0.77
เนื้อสัมผัส	6.10 ± 0.80
ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส[2]	
ความกรอบ	3.96 ± 0.67
ความแข็ง	1.90 ± 0.79
ความเข้มของสีเนื้อแป้ง	2.44 ± 0.70
ความเข้มของสีผัก	2.50 ± 0.81

1…ใช้แบบทดสอบ 7-point hedonic scale (1= ไม่ชอบมาก 7 = ชอบมาก)

2…ใช้แบบทดสอบ 5-point intensity scale (1 = น้อย 5 = มาก)

จากการวิเคราะห์องประกอบทางเคมี ปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) และพลังงานที่ได้รับจากการบริโภค ได้ผลดังตารางที่ 4.33 การบริโภคขนม 100 กรัม จะได้รับพลังงาน 441 กิโลแคลอรี่ ใยอาหาร 2.91 กรัม และมีไขมันเพียง 10.63 กรัม ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณไขมันตามมาตรฐานอุตสาหกรรมขนมกรอบจากธัญชาติ (มอก.1534-2541) ซึ่งกำหนดให้มีไขมันไม่เกินร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีปริมาณไขมันเพียง 1/3 จากมาตรฐานที่กำหนด และเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์รูปแบบใกล้เคียงที่มีขายในท้องตลาด ซึ่งมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 10 - 20 ก็ยังถือว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้นั้นก็ยังมีปริมาณไขมันต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาดบางชนิด ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการใช้ปริมาณไขมันในสูตรที่น้อย และใช้กรรมวิธีการอบในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ได้มีการปรุงแต่งกลิ่นรสก็อาจจะทำให้มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นได้ ตามแต่กรรมวิธีการใส่สารปรุงแต่งกลิ่นรส

ตารางที่ 4.33 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) และ พลังงานที่ได้รับจากการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก 100 กรัม

ผลการวิเคราะห์	ปริมาณ
ความชื้น (กรัม)	2.84
ไขมัน (กรัม)	10.63
โปรตีน (กรัม)	7.33
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	78.93
เถ้า (กรัม)	0.27
ใยอาหาร (กรัม)	2.91
พลังงาน (กิโลแคลอรี่)	441

จากผลการทดลองหาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่ได้นำเสนอมานั้น จะเห็นว่ามีแนวโน้มที่เป็นไปได้ในการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ต่อไป ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาทางด้านลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส หรือนำไปปรับปรุงด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้น่ารับประทานมากยิ่งขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สูตรแป้งที่มีสัดส่วนของปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น การพองตัวของผลิตภัณฑ์จะลดลง แต่จะมีความหนาแน่น และความแข็งมากขึ้น โดยแอมิโลสจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเปราะลดลง และปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบที่สูงขึ้นมีส่วนช่วยให้สูตรแป้งแอมิโลสสูงพองตัวได้มากขึ้น แต่ส่งผลเล็กน้อยต่อการพองตัวของสูตรแป้งแอมิโลสปานกลาง และแอมิโลสต่ำ ซึ่งปริมาณแอมิโลสและความชื้นของชิ้นแป้งนั้นมีผลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสูตรและภาวะการผลิตที่เหมาะสมกับการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก โดยการคัดเลือกจากการประเมินทางประสาทสัมผัส คือสูตรแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 9 และมีปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบร้อยละ 20

การปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตเป็นการอบ 2 ขั้นตอน โดยการแปรเวลาการอบแบบเปิดและเวลาการอบรวมด้วยการปิดภาชนะอบด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ สำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักนั้น พบว่าเวลาการอบแบบเปิดที่นานขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวได้มากขึ้น มีความหนาแน่นลดลง ส่วนเวลาการอบรวมที่นานขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ มีค่า a_w และปริมาณความชื้นสุดท้ายลดลงได้ แต่ไม่มีผลต่อการพองตัว และความหนาแน่น และทั้งเวลาการอบแบบเปิด และเวลาอบรวม นั้นต่างก็มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านความแข็ง และความเปราะกรอบของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ดีการปรับปรุงกรรมวิธีการอบให้เป็นแบบ 2 ขั้นตอนนั้นสามารถปรับปรุงลักษณะปรากฏ ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักได้ในระดับหนึ่ง แต่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ยังไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค เนื่องจากไม่สามารถปรับปรุงให้ลักษณะเนื้อสัมผัส และสีของชิ้นผักเป็นที่ยอมรับได้

การเปลี่ยนกรรมวิธีการผลิตด้วยการลดขนาดชิ้นแป้ง และเปลี่ยนกรรมวิธีการอบจากการใช้เตาอบไฟฟ้าเพียงชนิดเดียว มาเป็นการอบด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับเตาอบไฟฟ้า นั้นสามารถปรับปรุงผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักเป็นให้ที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทดลองเสริมชิ้นผักลงในผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวนั้น จะพบปัญหาหลักคือ การทำให้ชิ้นผักที่เสริมลงในสูตรแป้งไปคงสภาพในลักษณะเป็นชิ้น และสีของชิ้นผักยังคงดูสวยงาม โดยที่เนื้อสัมผัสของชิ้นแป้งจะต้องพองกรอบอย่างทั่วถึงทั้งชิ้น และมีค่าความแข็ง และความกรอบเป็นที่ยอมรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

โดยหลังจากที่ทดลองหาแนวทางที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักด้วยการปรับปรุงขนาดและรูปร่างของชิ้นแป้ง และการใช้เตาไมโครเวฟอบกรอบผลิตภัณฑ์นั้น ทางผู้วิจัยคิดว่ายังมีโอกาสที่จะพัฒนาการผลิตให้ดียิ่งขึ้นได้ โดยผู้วิจัยจะขอสรุปแนวทางการวิจัยที่อาจจะศึกษาต่อไปไว้เป็นข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเรื่องรูปร่างและขนาดของผลิตภัณฑ์ โดยอาจจะแปรขนาดชิ้นให้เล็กใหญ่แตกต่างกันเพื่อหาขนาดของชิ้นแป้งก่อนอบที่เหมาะสม ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่พองแล้วมีขนาดและรูปร่างที่พอเหมาะ

2. ศึกษาหาปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งก่อนอบกรอบที่เหมาะสม ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ที่ได้

3. ศึกษาภาวะการอบด้วยเตาไมโครเวฟเพิ่มเติม เช่น การทดลองแปรเวลาอบ และ/หรือจำนวนชิ้นที่จะเข้าอบในแต่ละครั้งว่าจะมีผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แตกต่างกันอย่างไร

4. ศึกษาเรื่องการเสริมแต่งกลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ เช่นศึกษาปริมาณกลิ่นรสที่จะใช้ให้มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ศึกษาวิธีการผสมกลิ่นรสให้เกาะติดกับชิ้นผลิตภัณฑ์ได้

5. ศึกษาเรื่องอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และชนิดของบรรจุภัณฑ์และกรรมวิธีการบรรจุที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้ได้นานที่สุด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมเกษตร. 2544. ร้อยแปดผลิตภัณฑ์จากข้าว. อุตสาหกรรมสาร. 44: 57-69.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 303 หน้า.

กองโภชนาการ. 2530. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม. กรมอนามัย. กระทรวงสาธารณสุข.

คณะทำงานโครงการหนูรักผักสีเขียว. 2540. มหัศจรรย์ผัก 108. มหาวิทยาลัยมหิดล, มูลนิธิโตโยต้าแห่งประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร. 412 หน้า.

คำรบ สมะวรรธนะ. 2546. ผลของการเจลาติไนเซชัน และรีโทรกราเดชันต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามชื่น คงเสรี. 2538. เอกสารการสอนชุดวิชา อาหารและโภชนาการ หน่วยที่ 1-7. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. นนทบุรี. 360 หน้า.

ธีรพร กงบังเกิด. 2546. การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร[ออนไลน์]. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. แหล่งที่มา: http://www.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/204_file.pdf [15 กันยายน 2549]

เนตรนภิส วัฒนสุชาติ. 2549. ขนมขบเคี้ยวทางเลือก แนวทางใหม่เพื่อสุขภาพ. Food Focus Thailand. 1: 16-23.

สัมพันธ์ รอดศรี. 2547. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งปลายข้าวหอมมะลิผสมแป้งมันเทศและงาดำป่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายสนม ประดิษฐดวง. 2543. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 505 หน้า.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2541. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ขนมกรอบจากธัญชาติ. มอก. 1534-2541.

อรรณพ วงศ์ธิติโรจน์. 2537. ขนมทำจากข้าว. เอกสารการประชุมวิชาการ เรื่องศักยภาพข้าวไทย ทิศทางใหม่สู่อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32. สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 100 หน้า.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2534. ผลิตภัณฑ์จากข้าวและคุณค่าทางโภชนาการ. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร. 2: 109 – 115.

เอกภพ ศุภกรชูวงศ์. 2539. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำแครอทและการทำน้ำแครอทเข้มข้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 16th ed, Washington D. C. AOAC International. 1008 pp.

Boischot, C., Moraru, C.L., and Kokini, J.L. 2003. Factors that influence the microwave expansion of glassy amylopectin extrudates. Cereal Chemistry. 80: 56-61.

Bowers, J. 1992. Food Theory and Application. New York: Macmillian Publishing Company. 797 pp.

Brunsgaard, G., Kidmose., U., Sorensen, L., Kaack, K., and Eggum, B.O. 1994. The influence of variety and growth conditions on the nutritive value of carrots. Journal of the Science of Food and Agriculture. 65: 163-170.

Charles, F. 1969. Extruded starch-based snack. Cereal Science Today. 14: 212-214.

Chen, C. M. and Yeh, I. A. 2001. Effect of amylose content on expansion of extruded rice pellet. Cereal Chemistry. 78: 261-266.

Douglas, M., and Considine, P.E. 1982. Foods and food production encyclopedia. New York : Van Nostrand Reihold Company. 2305 pp.

Fan, J. and Marks, B. P. 1998. Retrogradation kinetics of rice flours as influenced by cultivar. Cereal Chemistry. 75: 153-155.

Gordon, R. B. 1990. Snack Food. New York: Van Nostraned Reinhold. 441 pp.

Heinonen, M.I. 1990. Carotenoids and provitamin A activity of carrots (*Daucus carota* L.) cutivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 36: 309-611.

Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance. Carbohydrate Research 14: 398-342.

Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16: 334-338, 340, 360.

Kugimiya, M., Donovan, J. W., and Wong, R. Y. 1980. Phase transitions of amylose-lipid complexes in starches: A calorimetric study. Starch/Stärke. 32: 265-270.

Kayacier, A. and Singh, R. K. 2003. Textural properties of baked tortilla chips. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 36: 463-466.

Leach, H. W., McCowen, L. D., and Schoch, T. J. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chemistry 36: 534-544.

Lee, E. Y., Lim, K. I., Lim, J. K., and Lim, S. T. 2000. Effect of gelatinization and moisture content of extruded starch pellets on morphology and physical properties of microwave-expanded product. Cereal Chemistry. 77: 769-773.

Luh, B.S. 1991. Rice, Vol. 2 Utilization. Second Edition. New York : Van Nostrand Reihold Company. 413 pp.

Matz, S. A. 1976. Snack Food Technology . Connecticut : The AVI Publishing Company, Inc. 349 pp.

Meilgaard, M., Civille, G.V. and Carr, B.T. 1987. Sensory Evaluation Techniques. CRC Press, Inc., Florida. USA. 281 pp.

Mercier, C. and Feillet, P. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion- cooking of cereal products. Cereal Chemistry. 52: 283-297.

Noomhorm, A., Kongseree, N., and Apintanapong, M. 1997. Effect of aging on the quality of glutinous rice cracker. Cereal Chemistry. 74: 12-15.

Park, J., Rhee, K.S., Kim, B.K., and Rhee, K.C. 1993. Single screw extrusion of defatted soy flour, corn starch and raw beef blends. Journal of Food Science. 58: 9-20.

Penfield, M. P., and Campbell, A. M. 1990. Starch Experimental Food Science. London: Academic Press. 541 pp.

Robin, J. P., Mercier, C., Charbonniere, R., and Guilbot, J. A. 1974. Lintnerized starches, gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chemistry 51: 389-406.

Vilayannur, R.S., Puri, V.M., and Anantheswaran, R.C. 1998. Size and shape effect on nonuniformity of temperature and moisture distributions in microwave heated food materials: Part II Experimental validation. Journal of Food Process Engineering. 21: 235-248.

Ware, G.W., and McCollum, J.P. 1980. Producing vegetable crops. The Interstate Printers : Publishers, Inc. 607 pp.

Whistler, R. L., and Smart, C. L. 1953. Polysaccharide Chemistry. New York: Academic Press. 493 pp.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

แบบสอบถามพฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยว และแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์

แบบสอบถามพฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยว

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยในระดับปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อสำรวจพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

คำชี้แจง : โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ หน้าข้อความที่ท่านเลือก

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1.เพศ

☐ ชาย ☐ หญิง

2. อายุเท่าไร (เขียนตอบ)

.....

3. ระดับการศึกษา (เรียนชั้นอะไร) (เขียนตอบ)

.....

4. ได้ค่าขนมวันละเท่าไร (เขียนตอบ)

.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมและทัศนคติต่อการบริโภคขนมขบเคี้ยว และการบริโภคผัก

5. คุณชอบรับประทานขนมขบเคี้ยวหรือไม่

☐ ชอบ ☐ เฉยๆ ☐ ไม่ชอบ

6. คุณรับประทานขนมขบเคี้ยวบ่อยเพียงใดต่อสัปดาห์

☐ 1 - 2 ครั้ง ☐ 3 - 4 ครั้ง ☐ 4 - 5 ครั้ง

☐ 5 - 6 ครั้ง ☐ ทุกวัน

7. ใครเป็นผู้เลือกซื้อขนมให้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ ตัวเอง ☐ ผู้ปกครอง / ญาติผู้ใหญ่

☐ พี่ / น้อง ☐ เพื่อน ☐ คนอื่นๆ.....

7.1. ซื้อขนมแต่ละครั้งใช้เงินเท่าไร

☐ 5 - 7 บาท ☐ 8 - 10บาท

☐ 11 - 15 บาท ☐ มากกว่า 15 บาท

7.2. คุณเลือกซื้อขนมขบเคี้ยวจากที่ใด (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ ร้านขายของชำ / ร้านสะดวกซื้อ ☐ โรงอาหารของโรงเรียน

☐ หาบเร่ – แผงลอย ☐ ห้างสรรพสินค้า / ซูเปอร์มาร์เก็ต

☐ ตลาด ☐ อื่นๆ.....

8. ประเภทของขนมขบเคี้ยวที่ชอบรับประทาน (ตอบได้มากกว่า 1 อย่าง) และเขียนชื่อยี่ห้อที่ชอบมากที่สุด (ยี่ห้อนอกเหนือจากตัวอย่างก็ได้)

☐ ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากแป้ง (เช่น โปเต้ คอนเน่ ปาปริก้า ทวิสตี้) .....

☐ ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากมันฝรั่ง (เช่น เลย์ เทสโต้) .....

☐ ขนมขบเคี้ยวที่เป็นข้าวเกรียบ (เช่น มโนห์รา ฮานามิ) .....

☐ ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวโพด (เช่น ข้าวโพดคั่ว โตโร่ คอร์นพัฟท์) .....

☐ ขนมขบเคี้ยวจากข้าว (เช่น โดโซะ ชินมัย โอเซน) .....

☐ อื่นๆ.....

9. ขนมขบเคี้ยวกลิ่นรสใดบ้างที่จะเลือกซื้อมารับประทาน (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ กลิ่นรสบาร์บิคิว ☐ กลิ่นรสสาหร่าย

☐ กลิ่นรสซาวครีม ☐ กลิ่นรสพริกเผา

☐ กลิ่นรสลาบ ☐ กลิ่นรสไก่

☐ กลิ่นรสกุ้ง ☐ กลิ่นรสซอส

☐ กลิ่นรสดั้งเดิม / รสต้นตำหรับ ☐ อื่นๆ.....

9.1 กลิ่นรสใดที่คุณชอบมากที่สุด (เขียนตอบ)

.....

10. เหตุผลที่จะทำให้คุณเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยว เนื่องจาก (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ รสชาติอร่อย
☐ อยากทดลองของใหม่ๆ
☐ มีของเล่น / ของแถม
☐ เพื่อนแนะนำ
☐ ราคาไม่แพง
☐ อื่นๆ.....
☐ รูปร่างชิ้นขนมน่ารับประทาน
☐ มีประโยชน์ต่อสุขภาพ
☐ ภาชนะบรรจุ(ซอง/กล่อง) สวยสะดุดตา
☐ มีการโฆษณาน่าสนใจ
☐ มีปริมาณมาก

11. คุณรับประทานผักหรือไม่

☐ รับประทานผักเกือบทุกชนิด
☐ รับประทานเป็นบางชนิด เช่น.....
☐ ไม่รับประทานผักเลย

11.1 คุณเคยรับประทานแครอท หรือถั่วลันเตาบ้างหรือไม่

☐ เคย ☐ ไม่เคย ☐ ไม่แน่ใจ

12. ถ้ามีขนมขบเคี้ยวที่ทำจากแป้งข้าว(คล้ายๆโดโซะ, ชินมัย) ผสมชิ้นแครอท และถั่วลันเตา คุณสนใจที่ลองรับประทานหรือไม่

☐ สนใจ ☐ ไม่สนใจ
☐ ไม่แน่ใจ เพราะ.....

ภาคผนวก ข.

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น W350, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. โถดูดความชื้น

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 – 5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมซึ่งอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาความชื้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, Switzerland, distillation unit รุ่น B-324, Switzerland, scrubber รุ่นB-414, Switzerland)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R. grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริค (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.1 N
3. สารละลายกรดบอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 4 % (w/v)
4. Selenium reagent mixture (A.R. grade)
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 35 % (w/v)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยผสมสารละลาย methylene blue 0.2 % ในแอลกอฮอล์ แล้วกรอง 25 มิลลิลิตร กับสารละลาย methyl red 0.2 % ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติม Selinium mixture เพื่อเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริคเข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi Digestion Unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	70	มิลลิลิตร
Boric acid	50	มิลลิลิตร
H_2O	50	มิลลิลิตร
Time	6	นาที

6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก จะได้สารละลายสีเขียวเมื่อกลั่นครบตามกำหนดเวลา
7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในฟลาสก์ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในฟลาสก์ทั้งหมดมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ (end point) เป็นสีม่วงแดง

9. ทำ blank แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(Va-Vb) \times N \times 1.4 \times CF}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

เมื่อ Va คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

Vb คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

CF คือ Conversion Factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้ 5.95 สำหรับวิเคราะห์โปรตีนในข้าว)

ข.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)
2. ครูซิเบิล (Crucible)
3. Hot plate
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
5. โถดูดความชื้น

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3-5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ Hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ข.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995)

<u>อุปกรณ์</u>

1. Soxtherm Gerhardt (รุ่น S-226, Germany)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษ Whatman No. 1 ใส่ในthimble
2. ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างบรรจุอยู่ในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักแน่นอน
3. เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 80 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด
4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส
5. ระเหยส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทิ้งไว้ให้เย็นในโดดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(กรัม)}}$$

ข.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995)

<u>อุปกรณ์</u>

1. ครูซิเบิล
2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น W350, Germany)
3. เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
5. โถดูดความชื้น

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลายกรดซัลฟูริค (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25 % (v/v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25 % (w/v)
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

<u>วิธีทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริค ความเข้มข้น 1.25 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที สังเกตไม่ให้ปริมาตรของสารละลายลดลงหากลดลงปรับปริมาตรโดยใช้น้ำร้อน
3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด
4. นำกากมาย่อยต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยควบคุมปริมาตรของสารละลายเช่นเดียวกับ ข้อ 2
5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Bucher funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ด่าง
6. กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
7. ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
8. นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
9. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา
10. นำตัวอย่างใส่ในครูซิเบิลที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
11. เผาตัวอย่างบน hot plate จนหมดควัน ก่อนนำเข้าเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จนได้เป็นเถ้าสีขาว
12. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใย

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ (\%)} = \frac{[\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา(กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)}] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ใช้ในการหาไขมัน (กรัม)}}$$

ข.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

<u>วิธีการคำนวณ</u>

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%db) = 100 - % (โปรตีน+เถ้า+เส้นใย+ไขมัน)

ข.7 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (Juliano, 1971)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Spectronic รุ่น Genesys 20,U.S.A.)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

<u>สารเคมี</u>

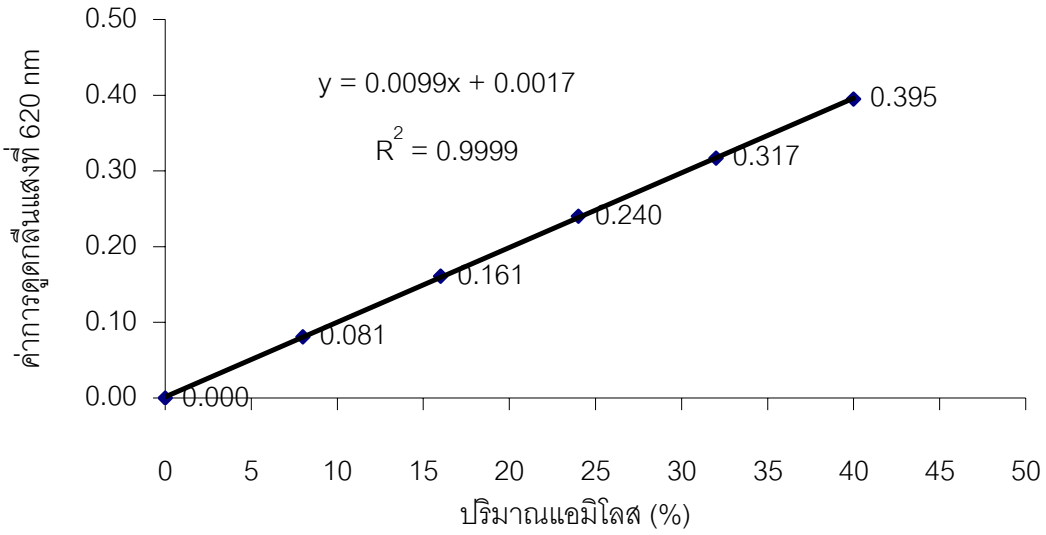
1. แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (บริษัท Fluka BioChemika, U.S.A.)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 %
4. สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมสารละลายไอโอดีน 0.20 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.00 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

<u>วิธีทดลอง</u>

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง น้ำหนักแน่นอน 0.0400 กรัม ใส่ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เตรียม blank โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอร์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5-10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารละลายแอมิโลสใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารละลายแอมิโลสออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 5 ขวด
6. ปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ ตามลำดับ
7. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เป็นเวลา 20 นาที

8. ชะ blank ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นปิเปตสารละลายมา 5 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
10. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณแอมิโลส ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสในตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง (ผ่านตะแกรง ขนาด 100 mesh) ประมาณ 100 มิลลิกรัม (0.1 กรัม) ใส่ในฟลาสก์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอร์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5-10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

4. ชะน้ำแป้งใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะน้ำแป้งออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N มา 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
7. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาปริมาณแอมิโลส

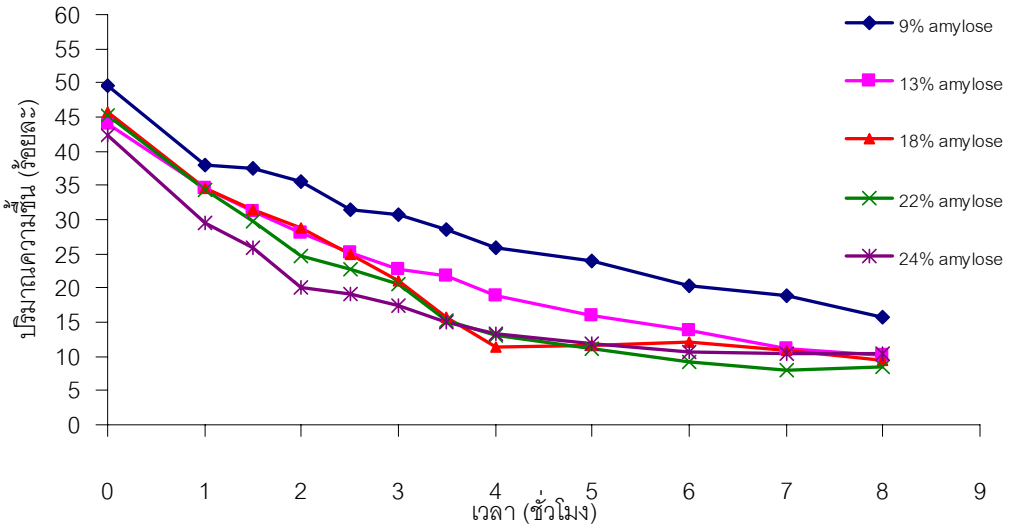
$$\text{ปริมาณแอมิโลส (\%)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (กรัม)} \times 100 \times 20}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ภาคผนวก ค.

การทำแห้งชิ้นแป้งก่อนการอบกรอบ

ค.1 การทำแห้งชิ้นแป้งก่อนการอบกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

เพื่อลดปริมาณความชื้นให้ได้ตามระดับที่กำหนด (ร้อยละ 15 20 25 และ 30) จึงต้องอบแห้งชิ้นแป้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 45°C โดยตู้อบลมร้อนแบบถาด ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของสูตรแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสต่างๆ ที่ระยะเวลาต่างๆ ดังรูป ค.1



รูปที่ ค.1 ระยะเวลาการทำแห้งชิ้นแป้งที่สูตรแป้งแอมิโลสต่างๆ

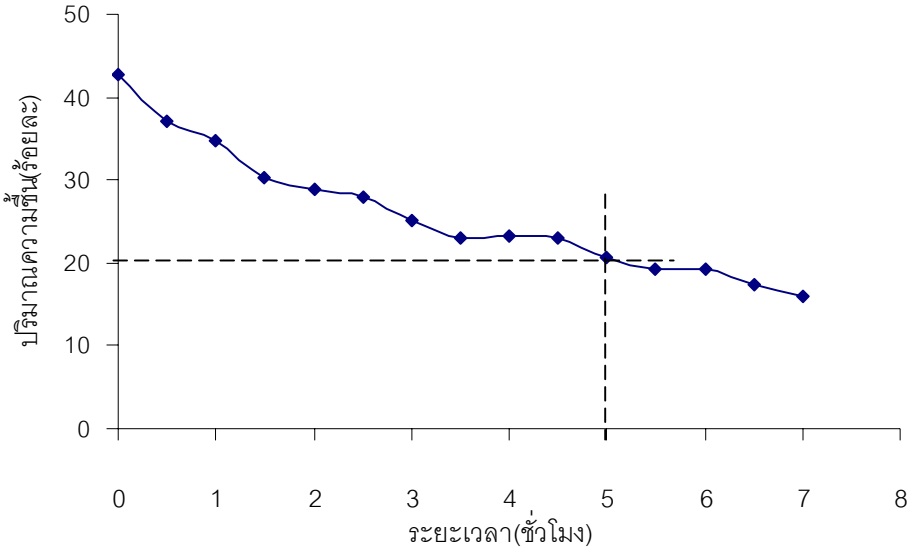
ซึ่งระยะเวลาการทำแห้งที่ใช้ในการคุมปริมาณความชื้นให้เป็นไปตามที่กำหนด แสดงดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ระยะเวลาการทำแห้งชิ้นแป้งเพื่อควบคุมปริมาณความชื้น

ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ระยะเวลาการทำแห้ง (ชม.)			
	ปริมาณความชื้นร้อยละ 15	ปริมาณความชื้นร้อยละ 20	ปริมาณความชื้นร้อยละ 25	ปริมาณความชื้นร้อยละ 30
9	8	6	4	3
13	5	3.5	2.5	1.5
18	3.5	3	2.5	1.5
22	3.5	3	2	1.5
24	3.5	2	1.5	1

ค.2 การทำแห้งชิ้นแป้งก่อนการอบกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

เพื่อควบคุมปริมาณความชื้นของชิ้นแป้งที่เสริมผักให้มีความชื้นร้อยละ 20 (ตามภาวะที่เลือกได้จากข้อ 4.3) จึงต้องหาระยะเวลาการทำแห้งชิ้นแป้งให้มีความชื้นตามที่กำหนด ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของชิ้นแป้งเสริมชิ้นผักที่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 45°C ที่ระยะเวลาต่างๆ ดังรูปที่ ค.2 ซึ่งระยะเวลาที่ใช้อบแห้งตัวอย่างให้เหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 20 คือ 5 ชั่วโมง



รูปที่ ค.2 ระยะเวลาการทำแห้งชิ้นแป้งเสริมชิ้นผัก

ภาคผนวก ง.

วิธีตรวจวัดทางกายภาพ

ง.1 การวัดค่า water activity (a_w)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่า Water activity (Aqua Lab รุ่น series 3TE , USA)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้นาน 30 นาที เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนใช้งาน
2. ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือด้วยน้ำกลั่น ซึ่งจะวัดได้ค่า a_w ประมาณ 0.997±0.003
3. บดตัวอย่างเป็นผงใส่ลงในถ้วยตัวอย่าง เกลี่ยให้กระจายทั่วถ้วยตัวอย่าง
4. ใส่ถ้วยตัวอย่างลงในเครื่องวัด แล้วหมุนปุ่มเริ่มทำงาน รอจนเครื่องวัดเสร็จ จะมีเสียงและสัญญาณไฟเตือนสิ้นสุดการวัดค่า a_w

ง.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีมาตรฐาน A.O.A.C. (1995)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น W350, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. โถดูดความชื้น

วิธีทดลอง

1. บดตัวอย่าง และชั่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 – 5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมซึ่งอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาความชื้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ง.3 การวัดสัดส่วนการพองตัว (Expansion ratio) (ดัดแปลงจากวิธีของ Noomhorm *et al*., 1997)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เวอร์เนียคาลิปเปอร์

<u>วิธีทดลอง</u>

1. วัดความหนาของตัวอย่างชิ้นแป้งก่อนอบ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ริมซ้าย ริมขวา และจุดกึ่งกลางชิ้น ของตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น (ต่อ1 ซ้ำ) แล้วนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ย
2. วัดความหนาของตัวอย่างชิ้นแป้งหลังอบ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ จุดริมซ้าย ริมขวา และจุดกึ่งกลางชิ้น ของตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น (ต่อ1 ซ้ำ) แล้วนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ย
3. นำค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่งมาคำนวณสัดส่วนการพองตัวตามสมการ

$$\text{สัดส่วนการพองตัว} = \frac{\text{ความหนาของตัวอย่างหลังอบ}}{\text{ความหนาของตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ง.4 ความหนาแน่น (bulk density) (ดัดแปลงจากวิธีของ Park *et al*., 1993)

<u>อุปกรณ์</u>

1. บีกเกอร์ ขนาด 1000 มล.
2. กระบอกตวง ขนาด 1000 มล.
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น A200S , Switzerland)
3. เมล็ดงา
4. ไม้บรรทัด

<u>วิธีทดลอง</u>

1. วัดปริมาตรบีกเกอร์ด้วยเมล็ดงา เทเมล็ดงาจนล้นปากบีกเกอร์ ใช้ไม้บรรทัดเคาะรอบๆ บีกเกอร์ 10 ครั้ง ปาดเมล็ดงาให้เรียบเสมอขอบบีกเกอร์ แล้ววัดปริมาตรเมล็ดงาในบีกเกอร์ด้วยกระบอกตวง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างจำนวน 5 ชิ้น แล้วใส่ลงบีกเกอร์ที่วัดปริมาตรแล้ว
3. เทเมล็ดงาลงในบีกเกอร์ใส่ตัวอย่างจนล้นปากบีกเกอร์ ใช้ไม้บรรทัดเคาะรอบๆ บีกเกอร์ 10 ครั้ง ปาดเมล็ดงาให้เรียบเสมอขอบบีกเกอร์
4. เทเมล็ดงาออกมาวัดปริมาตรด้วยกระบอกตวง
5. คำนวณความหนาแน่นจากสมการ

$$\text{ความหนาแน่น } (g/cm^3) = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}{\text{(ปริมาตรของบีกเกอร์เปล่า- ปริมาตรบีกเกอร์ที่มีตัวอย่าง) } (cm^3)}$$

ง.5 การวัดค่าสี

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR 300 series , Japan)

<u>วิธีทดลอง</u>

1.Calibrate เครื่องวัดสีด้วยกระเบื้องสีขาว ตั้งเครื่องให้วัดค่า L (ความสว่าง) a (ค่าสีแดง) b (ค่าสีเหลือง)

2. วัดค่าโดยนำหัววัดไปสัมผัสไปสัมผัสกับผิวของตัวอย่าง 6 ตำแหน่งต่อ 1 ตัวอย่าง โดยวัด 5 ตัวอย่างต่อ 1 ซ้ำ

ง.6 การวัดค่าเนื้อสัมผัส (ดัดแปลงจากวิธีของ Noomhorm *et al*., 1997)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Instron texture analyzer (รุ่น 5565 , USA)

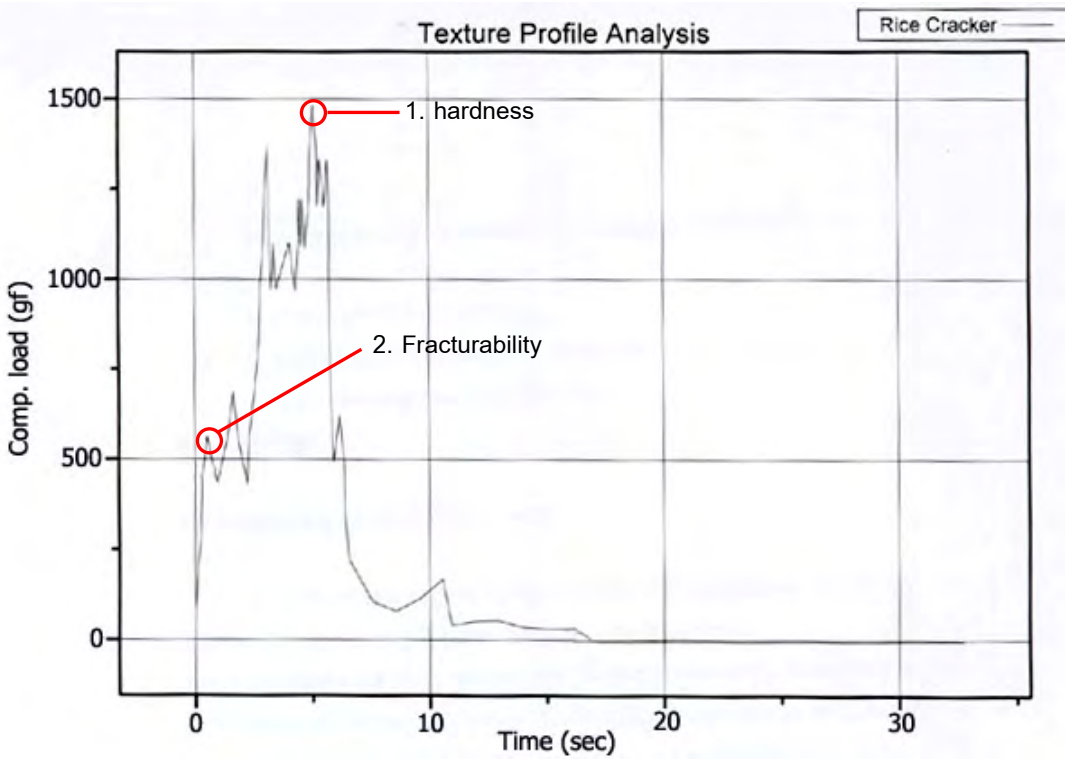
<u>วิธีทดลอง</u>

1. เปิดเครื่อง และคอมพิวเตอร์ ประกอบอุปกรณ์วัดค่าโดยใช้ Load cell ขนาด 500 นิวตัน หัววัดแบบ cylinder probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร และใช้ฐานวัดแบบเจาะทะลุมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูขนาด 1.6 เซนติเมตร
2. ตั้งความสูงของหัวเข็ม 50 มิลลิเมตร ความเร็วหัววัดก่อนและหลังสัมผัสตัวอย่าง 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วหัววัดขณะสัมผัสตัวอย่าง 100 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้หัววัดกดทะลุตัวอย่าง
3. นำตัวอย่างวางลงบนฐานวัดของเครื่อง Instron แล้ววัดเนื้อสัมผัสโดยใช้แรงกด (compression) คอมพิวเตอร์จะวัดค่าแรงตามที่ตั้งโปรแกรมไว้ ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเปราะ (fracturability) โดยแสดงหน่วยเป็นกรัม

ภาคผนวก จ.

Texture Profile

การวัดค่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะใช้เครื่อง Instron texture analyzer 5565 ในการวัดค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเปราะ (fracturability) ซึ่งจุดที่ใช้ในการบันทึกค่าแรงดังกล่าวแสดงไว้ดังรูปที่ จ.1



รูปที่ จ.1 Texture profile จาก เครื่อง Instron texture analyzer 5565

1. ค่าความแข็งจะวัดที่จุดยอดของพีค (peak) ที่สูงที่สุด หมายถึงค่าแรงที่มากที่สุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกหัก

2. ค่าความเปราะจะวัดที่จุดยอดของพีคแรก หมายถึงค่าแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกร้าวขึ้น

ภาคผนวก ฉ.

ระยะเวลาการอบกรอบผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมขนมกรอบจากธัญชาติ (มอก.1534-2541) จึงต้องอบกรอบชิ้นแป้งตามเวลาที่แสดงไว้ดังตาราง ฉ.1

ตารางที่ ฉ.1 ระยะเวลาการอบกรอบผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว ให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 4

ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ระยะเวลาการอบกรอบ (นาที)			
	ปริมาณความชื้นร้อยละ 15	ปริมาณความชื้นร้อยละ 20	ปริมาณความชื้นร้อยละ 25	ปริมาณความชื้นร้อยละ 30
9	35	40	40	40
13	35	40	40	40
18	25	25	25	30
22	20	25	25	30
24	20	25	25	30

ภาคผนวก ช.

การประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ช.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (ไม่ใส่ผัก)

วันที่.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

ตัวอย่างที่ทดสอบหมายเลข.....

คำชี้แจง : โปรดทดสอบระดับการยอมรับตัวอย่าง โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ เพื่อแสดงระดับความพอใจของท่านต่อตัวอย่างที่ทดสอบ

1. กรุณาบอก**ระดับความชอบ**ต่อคุณลักษณะต่างๆของตัวอย่าง

1.1 **ความชอบด้านลักษณะปรากฏ**

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก

1.2 **ความชอบด้านเนื้อสัมผัส** ขณะกัด(เมื่อรับประทาน)

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก

2. กรุณาบอก**ระดับความรู้สึก**ต่อคุณลักษณะต่างๆของตัวอย่าง

2.1 **ระดับความกรอบ** (การแตกกระจายของตัวอย่างขณะกัด)

☐	☐	☐	☐	☐
กรอบน้อย	กรอบค่อนข้างน้อย	กรอบปานกลาง	กรอบค่อนข้างมาก	กรอบมาก

2.2 **ระดับความแข็ง** (แรงที่ใช้ในการกัด)

☐	☐	☐	☐	☐
แข็งน้อย	แข็งค่อนข้างน้อย	แข็งปานกลาง	แข็งค่อนข้างมาก	แข็งมาก

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

ช.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างผลิตภัณฑ์แบบใส่ผัก

วันที่.....

ชื่อผู้ทดสอบ.....

ตัวอย่างที่ทดสอบหมายเลข.....

คำชี้แจง : โปรดทดสอบระดับการยอมรับตัวอย่าง โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ เพื่อแสดงระดับความพอใจของท่านต่อตัวอย่างที่ทดสอบ

1. กรุณาบอก**ระดับความชอบ**ต่อลักษณะต่างๆของตัวอย่าง

1.1 **ความชอบด้านลักษณะปรากฏ**

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก

1.2 **ความชอบด้านเนื้อสัมผัส** ขณะกัด (เมื่อรับประทาน)

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบเล็กน้อย	เฉยๆ	ชอบเล็กน้อย	ชอบปานกลาง	ชอบมาก

2. กรุณาบอก**ระดับความรู้สึก**ต่อลักษณะต่างๆของตัวอย่าง

2.1 **ระดับความกรอบ** (การแตกกระจายของตัวอย่างขณะกัด)

☐	☐	☐	☐	☐
กรอบน้อย	กรอบค่อนข้างน้อย	กรอบปานกลาง	กรอบค่อนข้างมาก	กรอบมาก

2.2 **ระดับความแข็ง** (แรงที่ใช้ในการกัด)

☐	☐	☐	☐	☐
แข็งน้อย	แข็งค่อนข้างน้อย	แข็งปานกลาง	แข็งค่อนข้างมาก	แข็งมาก

2.3 **ระดับความเข้มสีของชิ้นแป้ง**

☐	☐	☐	☐	☐
เข้มน้อย	เข้มค่อนข้างน้อย	เข้มปานกลาง	เข้มค่อนข้างมาก	เข้มมาก

2.4 **ระดับความเข้มสีของชิ้นผัก**

☐	☐	☐	☐	☐
เข้มน้อย	เข้มค่อนข้างน้อย	เข้มปานกลาง	เข้มค่อนข้างมาก	เข้มมาก

3. กรุณาบอก**การยอมรับ**ที่มีต่อตัวอย่าง (ถ้านำไปปรุงรส)

☐ ยอมรับ ☐ ไม่ยอมรับ

กรุณาบอกเหตุผลที่ไม่ยอมรับ .....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ .....

.....

.....

ภาคผนวก ซ.

รูปขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

ซ.1 ขั้นตอนการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

1. นวดส่วนผสมเข้าด้วยกัน 3 นาที

2. นึ่งโดที่ได้เป็นเวลา 30 นาที

3. รีดโดเป็นแผ่นแล้วโรยผักให้ทั่ว

4. นวดด้วยเครื่อง 5 นาที

5. รีดเป็นแผ่นหนา 0.5 cm. ด้วยไม้นวด

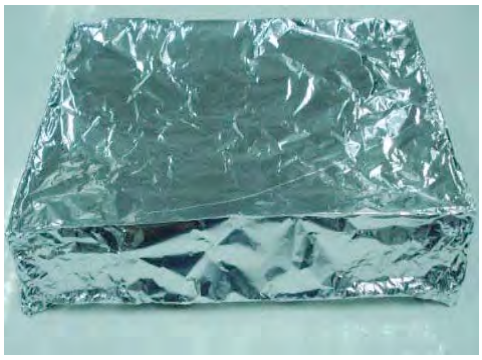
6. นำแผ่นแป้งแช่ตู้เย็น

7. ตัดเป็นชิ้นขนาด 8 x 4 x 0.5 cm.

8. อบลมร้อนลดความชื้นเหลือร้อยละ 20

9. อบแบบเปิดฝาภาชนะ

10. ปิดภาชนะอบจนครบเวลาที่กำหนด



11. ได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

ช.2 ขั้นตอนการผลิตขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักแบบปรับปรุงขนาด และกรรมวิธีการอบ

ขั้นตอนที่ 1 – 5 เหมือนการผลิตตามข้อ ฌ.1 แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากขั้นตอนที่ 5 ดังต่อไปนี้

1. ตัดเป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm. หนา 0.5 cm.

2. หลังจากอบลดความชื้น แล้วนำมาอบด้วยเตาไมโครเวฟ 2 นาที

3. อบด้วยเตาไฟฟ้า 1.5 นาที

4. ได้เป็นผลิตภัณฑ์แบบปรับปรุง

ภาคผนวก ฌ.

ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ฌ.1 สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลางของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: EXP2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	137.117[a]	19	7.217	176.570	.000
Intercept	757.713	1	757.713	18538.83	.000
AMYLOSE	127.356	4	31.839	778.998	.000
MOISTURE	7.914	3	2.638	64.547	.000
AMYLOSE * MOISTURE	1.847	12	.154	3.766	.001
Error	1.635	40	.041		
Total	896.465	60			
Corrected Total	138.752	59			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .983)

ฌ.2 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: EXP1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	79.008[a]	19	4.158	119.561	.000
Intercept	505.354	1	505.354	14530.03	.000
AMYLOSE	72.767	4	18.192	523.054	.000
MOISTURE	4.635	3	1.545	44.419	.000
AMYLOSE * MOISTURE	1.606	12	.134	3.849	.001
Error	1.391	40	.035		
Total	585.754	60			
Corrected Total	80.399	59			

a. R Squared = .983 (Adjusted R Squared = .974)

ฌ.3 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 ของชิ้นแป้งหลังผ่านการอบกรอบ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: EXP3

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	79.949[a]	19	4.208	111.966	.000
Intercept	486.325	1	486.325	12940.47	.000
AMYLOSE	73.149	4	18.287	486.603	.000
MOISTURE	4.798	3	1.599	42.553	.000
AMYLOSE * MOISTURE	2.002	12	.167	4.440	.000
Error	1.503	40	.038		
Total	567.777	60			
Corrected Total	81.452	59			

a. R Squared = .982 (Adjusted R Squared = .973)

ฌ.4 ความหนาแน่นของชิ้นแป้งหลังการอบกรอบ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DENSITY

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.062[a]	19	.056	77.261	.000
Intercept	11.886	1	11.886	16431.05	.000
AMYLOSE	.921	4	.230	318.423	.000
MOISTURE	.098	3	.033	45.213	.000
AMYLOSE * MOISTURE	.042	12	.004	4.885	.000
Error	.029	40	.001		
Total	12.977	60			
Corrected Total	1.091	59			

a. R Squared = .973 (Adjusted R Squared = .961)

ฌ.5 ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HARDNESS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	66558674.839[a]	19	3503088.149	103.534	.000
Intercept	532544474.1	1	532544474	15739.40	.000
AMYLOSE	50785632.156	4	12696408.0	375.243	.000
MOISTURE	7309072.996	3	2436357.665	72.007	.000
AMYLOSE * MOISTURE	8463969.686	12	705330.807	20.846	.000
Error	5413619.010	160	33835.119		
Total	604516767.9	180			
Corrected Total	71972293.849	179			

a. R Squared = .925 (Adjusted R Squared = .916)

ฌ.6 ค่าความเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: FRACTURE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	24465654.373[a]	19	1287666.020	78.369	.000
Intercept	171735369.3	1	171735369	10451.99	.000
AMYLOSE	12579618.016	4	3144904.504	191.402	.000
MOISTURE	6403925.267	3	2134641.756	129.917	.000
AMYLOSE * MOISTURE	5482111.090	12	456842.591	27.804	.000
Error	2628939.752	160	16430.873		
Total	198829963.4	180			
Corrected Total	27094594.125	179			

a. R Squared = .903 (Adjusted R Squared = .891)

ฌ.7 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: APP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	229.880[a]	53	4.337	3.057	.000
Intercept	4410.000	1	4410.000	3107.867	.000
RECIPE	46.280	4	11.570	8.154	.000
PANEL	183.600	49	3.747	2.641	.000
Error	278.120	196	1.419		
Total	4918.000	250			
Corrected Total	508.000	249			

a. R Squared = .453 (Adjusted R Squared = .304)

ฌ.8 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TEXTURE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	388.240[a]	53	7.325	6.371	.000
Intercept	3686.400	1	3686.400	3206.134	.000
RECIPE	193.840	4	48.460	42.147	.000
PANEL	194.400	49	3.967	3.450	.000
Error	225.360	196	1.150		
Total	4300.000	250			
Corrected Total	613.600	249			

a. R Squared = .633 (Adjusted R Squared = .533)

ฌ.9 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: FRAC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	159.568[a]	53	3.011	6.125	.000
Intercept	3748.096	1	3748.096	7625.673	.000
RECIPE	14.864	4	3.716	7.560	.000
PANEL	144.704	49	2.953	6.008	.000
Error	96.336	196	.492		
Total	4004.000	250			
Corrected Total	255.904	249			

a. R Squared = .624 (Adjusted R Squared = .522)

ฌ.10 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HARDNESS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	136.268[a]	53	2.571	6.503	.000
Intercept	3587.236	1	3587.236	9072.704	.000
RECIPE	71.304	4	17.826	45.085	.000
PANEL	64.964	49	1.326	3.353	.000
Error	77.496	196	.395		
Total	3801.000	250			
Corrected Total	213.764	249			

a. R Squared = .637 (Adjusted R Squared = .539)

ฌ.11 ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AW

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.692[a]	8	.087	2336.275	.000
Intercept	1.302	1	1.302	35164.90	.000
OPEN	.028	2	.014	372.400	.000
CLOSE	.612	2	.306	8256.700	.000
OPEN * CLOSE	.053	4	.013	358.000	.000
Error	.001	18	3.704E-05		
Total	1.995	27			
Corrected Total	.693	26			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ฌ.12 ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MOIST

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	20.674[a]	8	2.584	201.424	.000
Intercept	43.879	1	43.879	3420.140	.000
OPEN	1.637	2	.818	63.797	.000
CLOSE	18.166	2	9.083	707.987	.000
OPEN * CLOSE	.870	4	.218	16.955	.000
Error	.231	18	.013		
Total	64.784	27			
Corrected Total	20.904	26			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .984)

ฌ.13 สัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลางชิ้นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: EXP.C

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.730[a]	8	.591	4.168	.006
Intercept	1197.761	1	1197.761	8442.975	.000
OPEN	4.299	2	2.150	15.152	.000
CLOSE	.391	2	.195	1.377	.278
OPEN * CLOSE	.040	4	.010	.070	.990
Error	2.554	18	.142		
Total	1205.045	27			
Corrected Total	7.284	26			

a. R Squared = .649 (Adjusted R Squared = .494)

ฌ.14 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: EXP.L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.607[a]	8	.076	.666	.714
Intercept	643.467	1	643.467	5645.301	.000
OPEN	.051	2	.026	.226	.800
CLOSE	.029	2	.015	.128	.881
OPEN * CLOSE	.527	4	.132	1.155	.363
Error	2.052	18	.114		
Total	646.126	27			
Corrected Total	2.659	26			

a. R Squared = .228 (Adjusted R Squared = -.115)

ฌ.15 สัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: EXP.R

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.287[a]	8	.161	.867	.561
Intercept	610.670	1	610.670	3289.137	.000
OPEN	.263	2	.132	.709	.506
CLOSE	.395	2	.197	1.063	.366
OPEN * CLOSE	.629	4	.157	.847	.513
Error	3.342	18	.186		
Total	615.300	27			
Corrected Total	4.629	26			

a. R Squared = .278 (Adjusted R Squared = -.043)

ฌ.16 ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DENSITY

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.125[a]	8	.016	183.174	.000
Intercept	2.816	1	2.816	33060.17	.000
OPEN	.124	2	.062	729.957	.000
CLOSE	5.185E-05	2	2.593E-05	.304	.741
OPEN * CLOSE	.000	4	.000	1.217	.338
Error	.002	18	8.519E-05		
Total	2.943	27			
Corrected Total	.126	26			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .982)

ฌ.17 ความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HARDNESS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12218027.702[a]	8	1527253.463	71.448	.000
Intercept	229558457.4	1	229558457	10739.21	.000
OPEN	5994000.742	2	2997000.371	140.206	.000
CLOSE	6170256.096	2	3085128.048	144.329	.000
OPEN * CLOSE	53770.864	4	13442.716	.629	.643
Error	1539052.429	72	21375.728		
Total	243315537.5	81			
Corrected Total	13757080.131	80			

a. R Squared = .888 (Adjusted R Squared = .876)

ฌ.18 ความเปราะของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: FRAC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6973066.014[a]	8	871633.252	84.354	.000
Intercept	88666768.465	1	88666768.5	8580.861	.000
OPEN	2202622.719	2	1101311.360	106.581	.000
CLOSE	4618034.294	2	2309017.147	223.459	.000
OPEN * CLOSE	152409.000	4	38102.250	3.687	.009
Error	743982.135	72	10333.085		
Total	96383816.614	81			
Corrected Total	7717048.148	80			

a. R Squared = .904 (Adjusted R Squared = .893)

ฌ.19 ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	27.333[a]	8	3.417	8.625	.000
Intercept	133595.355	1	133595.355	337257.9	.000
OPEN	1.951	2	.975	2.462	.113
CLOSE	23.305	2	11.652	29.416	.000
OPEN * CLOSE	2.078	4	.520	1.312	.303
Error	7.130	18	.396		
Total	133629.819	27			
Corrected Total	34.464	26			

a. R Squared = .793 (Adjusted R Squared = .701)

ฌ.20 ค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: A

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11.855[a]	8	1.482	139.216	.000
Intercept	38.640	1	38.640	3630.097	.000
OPEN	.037	2	.019	1.738	.204
CLOSE	11.773	2	5.887	553.023	.000
OPEN * CLOSE	.045	4	.011	1.051	.409
Error	.192	18	.011		
Total	50.687	27			
Corrected Total	12.047	26			

a. R Squared = .984 (Adjusted R Squared = .977)

ฌ.21 ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: B

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	73.478[a]	8	9.185	6.643	.000
Intercept	13569.033	1	13569.033	9814.194	.000
OPEN	1.886	2	.943	.682	.518
CLOSE	65.429	2	32.714	23.662	.000
OPEN * CLOSE	6.163	4	1.541	1.114	.380
Error	24.887	18	1.383		
Total	13667.397	27			
Corrected Total	98.365	26			

a. R Squared = .747 (Adjusted R Squared = .635)

ฌ.22 เปรียบเทียบค่า Water activity ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยเวลาอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที กับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

ANOVA

AW

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.092	3	.031	918.250	.000
Within Groups	.000	8	.000		
Total	.092	11			

ฌ.23 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยเวลาอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที กับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

ANOVA

MOISTURE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.404	3	.801	209.660	.000
Within Groups	.031	8	.004		
Total	2.435	11			

ฌ.24 เปรียบเทียบสัดส่วนการพองตัวที่จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยเวลาอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที กับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

ANOVA

EXPC

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.518	3	.173	2.542	.130
Within Groups	.543	8	.068		
Total	1.061	11			

ฌ.25 เปรียบเทียบสัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยเวลาอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที กับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

ANOVA

EXP1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.330	3	.110	.833	.512
Within Groups	1.057	8	.132		
Total	1.388	11			

ฌ.26 เปรียบเทียบสัดส่วนการพองตัวที่ตำแหน่งริมที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยเวลาอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที กับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

ANOVA

EXR2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.120	3	.040	.440	.731
Within Groups	.729	8	.091		
Total	.849	11			

ฌ.27 เปรียบเทียบความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยเวลาอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที กับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

ANOVA

DENSITY

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.018	3	.006	66.424	.000
Within Groups	.001	8	.000		
Total	.019	11			

ฌ.28 เปรียบเทียบค่าทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยเวลาอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที กับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
HARD	Between Groups	2865553	3	955184.344	77.224	.000
	Within Groups	395808.1	32	12369.002		
	Total	3261361	35			
FRAC	Between Groups	2270112	3	756703.865	65.879	.000
	Within Groups	367558.5	32	11486.202		
	Total	2637670	35			

ฌ.29 เปรียบเทียบค่าสี L a b ของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผักที่อบด้วยเวลาอบแบบเปิด 7.5 9 และ 10 นาที/เวลาอบรวม 40 นาที กับการอบแบบเปิด 9 นาที/เวลาอบรวม 45 นาที

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
L	Between Groups	18.365	3	6.122	4.884	.032
	Within Groups	10.028	8	1.253		
	Total	28.393	11			
a	Between Groups	.178	3	.059	14.253	.001
	Within Groups	.033	8	.004		
	Total	.212	11			
b	Between Groups	1.209	3	.403	.274	.843
	Within Groups	11.785	8	1.473		
	Total	12.994	11			

ฌ.30 คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: liking App.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	74.600[a]	50	1.492	1.421	.110
Intercept	1713.960	1	1713.960	1632.660	.000
RECIPE	2.560	1	2.560	2.439	.125
PANNEL	72.040	49	1.470	1.400	.121
Error	51.440	49	1.050		
Total	1840.000	100			
Corrected Total	126.040	99			

a. R Squared = .592 (Adjusted R Squared = .175)

ฌ.31 คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: liking texture

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	107.460[a]	50	2.149	1.613	.048
Intercept	1190.250	1	1190.250	893.280	.000
RECIPE	15.210	1	15.210	11.415	.001
PANNEL	92.250	49	1.883	1.413	.115
Error	65.290	49	1.332		
Total	1363.000	100			
Corrected Total	172.750	99			

a. R Squared = .622 (Adjusted R Squared = .236)

ฌ.32 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CRIPNESS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	89.620[a]	50	1.792	2.517	.001
Intercept	1176.490	1	1176.490	1652.279	.000
RECIPE	3.610	1	3.610	5.070	.029
PANNEL	86.010	49	1.755	2.465	.001
Error	34.890	49	.712		
Total	1301.000	100			
Corrected Total	124.510	99			

a. R Squared = .720 (Adjusted R Squared = .434)

ฌ.33 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความแข็งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: HARDNESS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	48.280[a]	50	.966	1.680	.036
Intercept	1339.560	1	1339.560	2330.911	.000
RECIPE	4.840	1	4.840	8.422	.006
PANNEL	43.440	49	.887	1.543	.066
Error	28.160	49	.575		
Total	1416.000	100			
Corrected Total	76.440	99			

a. R Squared = .632 (Adjusted R Squared = .256)

ฌ.34 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของสีเนื้อแป้งของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CBODY

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	30.380[a]	50	.608	1.391	.125
Intercept	835.210	1	835.210	1911.504	.000
RECIPE	.090	1	.090	.206	.652
PANNEL	30.290	49	.618	1.415	.114
Error	21.410	49	.437		
Total	887.000	100			
Corrected Total	51.790	99			

a. R Squared = .587 (Adjusted R Squared = .165)

ฌ.35 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความเข้มของสีผักของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบจากแป้งข้าวเสริมชิ้นผัก

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Cvegetable

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	32.780[a]	50	.656	1.284	.191
Intercept	1689.210	1	1689.210	3309.528	.000
RECIPE	.490	1	.490	.960	.332
PANNEL	32.290	49	.659	1.291	.187
Error	25.010	49	.510		
Total	1747.000	100			
Corrected Total	57.790	99			

a. R Squared = .567 (Adjusted R Squared = .126)

ฌ.36 ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้กับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
HARD	Between Groups	1595616	3	531871.898	48.259	.000
	Within Groups	352677.0	32	11021.155		
	Total	1948293	35			
FRAC	Between Groups	950255.3	3	316751.768	75.615	.000
	Within Groups	134048.3	32	4189.009		
	Total	1084304	35			

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสรัญ บินมิตตอร์ เกิดวันที่ 31 มกราคม 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2546