การผลิตข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าว

Production of Puffed Rice Fortified with Dietary Fiber from Rice Bran

ณัฐนันทน์ ชุมแก้ว

Nuttanun Chumkaew

ก

เลขหมู่ TX809.R5 ณ63 ณ43 ก.1

Bib Key 204666

15 S.A. 2543

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Food Technology

Prince of Songkla University

2543

ชื่อวิทยานิพนธ์	การผลิตข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าว
ผู้เขียน	นางณัฐนันทน์ ชุมแก้ว
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร

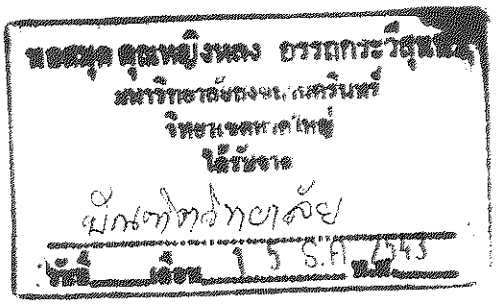
คณะกรรมการที่ปรึกษา	คณะกรรมการสอบ
.....ประธานกรรมการ	.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก)	(รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก)
.....กรรมการ	.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ นัยวิกุล)	(รองศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล)
	.....ลาศึกษาต่อ.....กรรมการ
	(อาจารย์วรัญญู ศรีเดช)
	.....กรรมการ
	(ดร.อุตส่าห์ จันทร์อำไพ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติ ทฤษฎิคุณ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ชื่อวิทยานิพนธ์	การผลิตข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าว
ผู้เขียน	นางณัฐนันทน์ ชุมแก้ว
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

การผลิตข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าว ดำเนินการโดยทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมและคุณลักษณะของข้าวพองที่ได้ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตข้าวพอง โดยใช้เครื่องผลิตข้าวพองได้แก่ ความชื้นของข้าวนึ่ง อุณหภูมิของแม่พิมพ์และเวลาที่ใช้ในการผลิต ข้าวนึ่งที่มีความชื้นร้อยละ 13 อุณหภูมิของแม่พิมพ์ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง จะได้ข้าวพองที่มีการพองตัวสูงสุด เท่ากับ 4.4 มล./ก. มีค่าความสว่าง และค่าความกรอบเท่ากับ 84.96 และ 3370 กรัม ตามลำดับ และผลการเปรียบเทียบปริมาณข้าวหัก (ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20) ต่อการพองตัวของข้าวในสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวข้าวต้น พบว่าปริมาณข้าวหักร้อยละ 5-20 ไม่มีผลต่อการพองตัว ค่าความสว่าง และค่าความกรอบของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การเติมใยอาหารที่สกัดจากรำข้าวในผลิตภัณฑ์ข้าวพอง ด้วยปริมาณร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าว แล้วทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสในปัจจัย การพองตัวของข้าว สี กลิ่นหอมของข้าว ความกรอบ ความรู้สึกหลังการกลืน และความชอบรวม พบว่าปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือมีคะแนนการพองตัวและกลิ่นหอมของข้าวลดลง ในขณะที่ค่าสีและความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้น ส่วนคะแนนด้านความชอบรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ข้าวพองเสริมใยอาหารที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ คือ ข้าวพองที่มีการเติมใยอาหารร้อยละ 1.5 ซึ่งประกอบด้วย ใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เท่ากับ ร้อยละ 4.57 4.09 และ 0.97 ตามลำดับ เมื่อนำข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ทดสอบความชอบรวมของผู้บริโภคทั่วไป พบว่ามีคะแนนความชอบในระดับปานกลางถึงชอบมาก หลังจากทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 บรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิดฟิล์มประกบ 2 ชั้น ระหว่าง พอลิเอทิลีน/พอลีแอไมด์ (PE/PA) พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีผลต่อ

ปริมาณ ความชื้น ค่า Aw ค่าทีบีเอเพิ่มขึ้น และความกรอบลดลง ในขณะที่คะแนนด้านการยอมรับของผู้บริโภคลดลง อย่างไรก็ตามผู้บริโภคยังยอมรับผลิตภัณฑ์แม้เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Thesis Title	Production of Puffed Rice Fortified with Dietary Fiber from Rice Bran
Author	Mrs. Nuttanun Chumkaew
Major Program	Food Technology
Academic Year	2000

Abstract

Production of puffed rice fortified with dietary fiber from rice bran was carried out by studying the effect of moisture content of steamed milled rice, temperature of mold and time on the puffed volume and characteristics of the product. The optimum condition for puffing the rice by puffed rice machine was 13 % moisture content, mold temperature at 170 $^{\circ}C$ and 6 sec. The puffed rice cake had puffed volume 4.4 ml./g, the crispness in term of compression force equivalent to 3370 g. and the color in term of L-value equal to 84.96. The effect of broken milled rice percentage on the physical properties (0, 5, 10, 15 and 20) were studied at optimum condition. The results showed that the broken milled rice added between 5-20 percent gave the puffed volume, color and crispness for puffed rice were not significantly difference ($P>0.05$).

The puffed rice cake was fortified by dietary fiber from rice bran at the level of 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 % of milled rice (w/w). The effect of puffed volume, color, rice flavor and after taste feeling were determined with QDA method by trained panelists. It was found that the increasing dietary fiber content caused the average score of color and after test increased as well as decreasing puffed volume and rice flavor. The acceptability of the products were decreased significantly ($P<0.05$). The puffed rice contained 1.5 % dietary fiber compose of 4.57, 0.49 and 0.97 of total dietary fiber, insoluble dietary fiber and soluble dietary fiber, respectively. The acceptability of the product was moderate to high by the consumer. The puffed rice with 1.5 % dietary fiber packed in laminate film bag

(PA/PE) were stored at room temperature for 9 weeks. It was found that the moisture content, Aw and TBA increased and crispness in term of compression force decreased. Nevertheless, the product was accepted within 4 weeks by trained panelists.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ นัยวิกุล กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ระหว่างทำการวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ ดร. อุตส่าห์ จันทร์อำไพ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาตรวจแก้ไขและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณบุญเลิศ มณฑารักษ์ ผู้จัดการบริษัทเอ็นอาร์ อินดัสทรี เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด และวิศวกรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการผลิตเครื่องทำข้าวพอง ขอขอบคุณสำหรับความช่วยเหลือของเพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีอาหาร ทุกท่าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เงินทุนในการทำวิจัย บริษัทปทุมไรซ์ มิลล์ แอนแกรนารี จำกัด และบริษัท เบทาโกรอาหารสัตว์ภาคใต้ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบในการวิจัย ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณสุรศักดิ์ คุณสิริวุฒิ คุณสกรรจ์ คุณพรรณรัตน์ คุณจงศิริ คุณมณฑิรา และน้องสาวทั้งสองของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดการศึกษา

ณัฐนันทน์ ชุมแก้ว

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการตารางผนวก	(11)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	26
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	27
3 ผลและวิจารณ์	34
4 บทสรุป	71
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	83
ประวัติผู้เขียน	119

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว	5
2. การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะมิโลส	8
3. การแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก	9
4. การแบ่งประเภทข้าวตามอุณหภูมิแป้งสุก	10
5. ส่วนประกอบทางโภชนาการและค่าพลังงานของรำข้าวและรำข้าวปราศจากน้ำมัน	21
6. ปริมาณใยอาหารรวมในอาหารประเภทต่าง ๆ (กรัมต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม)	22
7. ส่วนประกอบทางโภชนาการเคมีของรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว	35
8. ส่วนประกอบทางโภชนาการของใยอาหารที่สกัดได้จากรำข้าว	37
9. ส่วนประกอบทางโภชนาการของข้าวหอมมะลิ	39
10. การพองตัวของข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้เกิดการพองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	41
11. ค่า L ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้เกิดการพองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ7 วินาที	46
12. ค่าความกรอบ (แรง-กรัม) ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	48
13. ความยาว ความกว้าง และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวที่เปอร์เซนต์หักต่าง ๆ	49
14. คะแนนเฉลี่ยของปัจจัยคุณภาพของข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าวที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการทดสอบแบบ QDA	54
15. ค่าการพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0	55

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
16. ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคในเขต อ.เมือง จ. สงขลา จำนวน 100 คน	58
17. ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้าวพองและใยอาหารของผู้บริโภคใน อ.เมือง จ. สงขลา จำนวน 100 คน	59
18. ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคข้าวพองเสริมใยอาหาร ของผู้บริโภค ใน อ.เมือง จ.สงขลา จำนวน 100 คน	61
19. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหาร ร้อยละ 1.5	64
20. ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมใยอาหาร ร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา	70

รายการตารางภาคผนวก

ตารางผนวก	หน้า
ง1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการพองตัวของข้าวพอง เมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 แล 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	109
ง2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่า L ของข้าวพอง เมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้น ร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	110
ง3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่าความกรอบ ของข้าวพอง เมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้น ร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	111
ง4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของการพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองที่ทำจากข้าวหักร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20	112
ง5. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านการพองตัวของข้าวพองเสริมใยอาหาร	113
ง6. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้าน สีของข้าวพองเสริมใยอาหาร	113
ง7. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้าน กลิ่นหอมของข้าวในพองเสริมใยอาหาร	114
ง8. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหาร	114
ง9. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความรู้สึกหลังการกลืนของข้าวพองเสริมใยอาหาร	115
ง10. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความชอบรวมของข้าวพองเสริมใยอาหาร	115
ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน การพองตัวของข้าวพองเสริมใยอาหาร	116

รายการตารางผนวก (ต่อ)

ตารางผนวก	หน้า
ง.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่า L ของข้าวพองเสริมใยอาหาร	116
ง.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหาร	116
ง.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา	117
ง.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างเก็บรักษา	118

รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
1. โครงสร้างของเมล็ดข้าว	3
2. โครงสร้างของอะมิโลส	7
3. โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน	7
4. เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine	16
5. เครื่องทำข้าวพอง	28
6. กระบวนการสกัดใยอาหารจากรำข้าว	30
7. รำข้าวและใยอาหารจากรำข้าว	38
8. การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 11 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	43
9. การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 12 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	44
10. การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	45
11. การพองตัวของข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซนต์หัก 5 ระดับ	50
12. ค่า L ของข้าวพองที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซนต์หัก 5 ระดับ	51
13. ค่าความกรอบ (แรง- กรัม) ของข้าวพองที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซนต์หัก 5 ระดับ	51
14. ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0	56
15. การเปลี่ยนแปลงค่า ทีบีเอ, ปริมาณความชื้น, ค่า Aw ของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา	68
16. การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา	69

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ข้าวเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญยิ่งชนิดหนึ่งสำหรับประชากรโลก ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวเปลือกโดยรวมปีละประมาณ 20-21 ล้านตัน ส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ และข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยปัจจุบันข้าวที่ขายอยู่ในตลาดโลกมีประมาณ 11 ล้านตันต่อปี ในจำนวนนี้เป็นข้าวไทย 4-5 ล้านตัน ทำรายได้ให้กับประเทศมากกว่าสองหมื่นล้านบาทต่อปี (อัจฉรา วิรัตน์พงษ์, 2541) แต่การส่งออกข้าวสารของไทยประสบกับภาวะการแข่งขันที่สูงเนื่องจากต้องแข่งขันกับประเทศอื่น ๆ ที่มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า เช่น เวียดนาม อินโดนีเซีย (ณรงค์ มีนนันทน์, 2536) และในปัจจุบันการส่งออกข้าวกำลังประสบปัญหาอย่างหนัก ทำให้ราคาข้าวตกต่ำลงจากที่เคยอยู่ในระดับตันละ 8,000 – 8,300 บาทในปลายปี 2541 ลดลงเหลือตันละ 4,900-5,100บาทในต้นปี 2542 และมีแนวโน้มที่จะลดต่ำลงอีก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542) การเพิ่มปริมาณการใช้ข้าวภายในประเทศเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ แต่ผลจากการศึกษาตลอดระยะเวลา 15 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยใช้ข้าวเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นก๋วยเตี๋ยวและขนมอบกรอบประมาณ 0.8-1 ล้านตันต่อปี ในปัจจุบันประเทศไทยยังใช้ข้าวเพียง 1 ล้านตันเศษ ๆ สำหรับแปรรูปข้าว และยังคงเป็นผลิตภัณฑ์อย่างเดิม แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเทคโนโลยีการแปรรูปข้าวไทยยังไม่ก้าวหน้า (ธีระ สูตะบุตร, 2542) ดังนั้นการนำข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ นอกจากเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ข้าวภายในประเทศแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรอีกทางหนึ่งด้วย

ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (puffed rice product) เป็นการพัฒนาการแปรรูปข้าวชนิดหนึ่ง โดยทำให้ข้าวเกิดการพองตัวรวมกันโดยไม่ต้องใช้ตัวจับยึด (binder) มีลักษณะแบน พอง กรอบ ให้พลังงานต่ำประมาณ 35-40 กิโลแคลอรี่ น้ำหนักต่อชิ้นประมาณ 9-10 กรัม สามารถพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้ เช่นการเสริมใยอาหาร แร่ธาตุ หรือวิตามิน ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในหลายประเทศเช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อินเดีย

และออสเตรเลีย เป็นต้น (Hsieh, *et al.*, 1989) สำหรับการผลิตข้าวพองในประเทศไทยได้ทำกันมานานแล้ว แต่เนื่องจากผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นชาวชนบท และทำกันเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว กรรมวิธีการผลิตอาศัยการเรียนรู้สืบทอดกันมาแต่บรรพบุรุษ และใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบหลัก ทำให้พองโดยการทอดจึงทำให้มีปัญหาด้านกลิ่นหืน และมีปริมาณไขมันสูง จึงยังไม่เป็นที่ยอมรับ (มาลี ซิ้มศรีสกุล, 2535) ประกอบกับพฤติกรรมการบริโภคของคนไทยเริ่มเปลี่ยนแปลงไป โดยนิยมบริโภคอาหารแบบตะวันตกประเภทแฮมเบอเกอร์ พิซซ่า ไก่ทอดกันมากขึ้น เนื่องจากอาหารเหล่านี้ให้ความสะดวกรวดเร็ว ง่ายต่อการบริโภคเปรียบเทียบกับอาหารไทยซึ่งใช้เวลาในการเตรียม และการปรุงค่อนข้างมาก ขณะที่ชีวิตของคนเมืองใหญ่ต้องเร่งรีบตลอดเวลา หากคนไทยส่วนใหญ่เลือกอาหารจานด่วนแบบตะวันตก ทดแทนอาหารหลักเป็นประจำแล้วจะทำให้เกิดภาวะความไม่สมดุลทางโภชนาการ (เพลินใจ ตังคณะกุล, 2538) ผลิตภัณฑ์ข้าวพองสามารถใช้เป็นอาหารเช้าจากธัญพืช (breakfast cereal) ซึ่งเป็นอาหารที่นิยมรับประทานในต่างประเทศมานานแล้ว เนื่องจากสะดวกในการบริโภคและมีคุณค่าทางอาหาร จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพสูงและน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง (ปริศนา สุวรรณาภรณ์ และคณะ, 2538) ในปี 2533 ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราคิดเป็นมูลค่า 52 ล้านบาทเนื่องจากการนำเข้าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูป ซึ่งมีปริมาณถึง 503 ตัน (กรมศุลกากร, 2534) และในปี 2536 เพิ่มสูงขึ้นเป็น 200 ล้านบาท และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (อรอนงค์ นัยวิกุล และ ลินดา พงศ์ผาสุก, 2537)

จากการที่ประเทศไทยมีความพร้อมทางด้านวัตถุดิบและแรงงาน ดังนั้นการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหารเพื่อใช้เป็นอาหารเช้าพร้อมบริโภคจากธัญพืช เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่มีใยอาหารสูง จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าว เป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ข้าวในประเทศ และสามารถส่งเป็นสินค้าออกไปจำหน่ายต่างประเทศได้ เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์อาหารเช้าจากต่างประเทศ และพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยการเสริมใยอาหารจากรำข้าว ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว การเติมรำข้าวลงในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเป็นการเพิ่มใยอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวและเป็นการใช้ผลพลอยได้จากข้าวให้เกิดประโยชน์สูงสุด

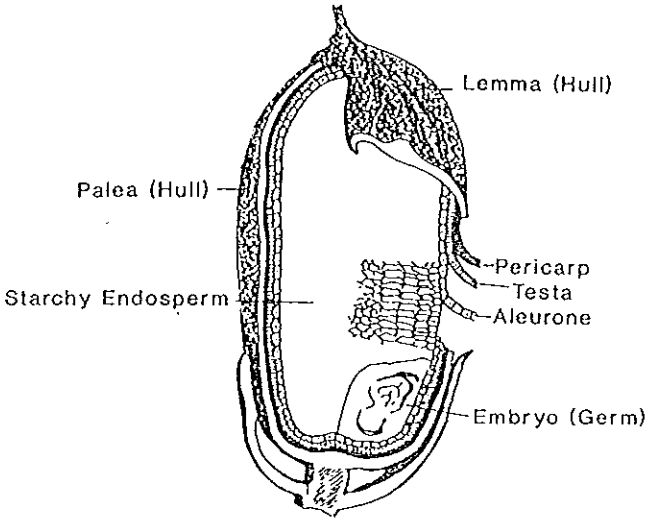
ตรวจเอกสาร

1. ข้าว

ข้าว (Oryzae spp.) มีการปลูกมากกว่า 100 ประเทศ โดยอยู่ในช่วงละติจูด 53 องศาเหนือถึง 40 องศาใต้ และที่ระดับน้ำสูงกว่าระดับน้ำทะเล 3,000 เมตร เช่น ประเทศในแถบเอเชีย บราซิล แอฟริกาตอนใต้ (Luh, 1991) โดยเฉพาะประเทศไทยข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ (ชาญ มงคล, 2536)

2. โครงสร้างของเมล็ดข้าว

Champagne (1994) ได้แสดงโครงสร้างของเมล็ดข้าวดังแสดงภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา : Champagne (1994)

Juliano (1985) กล่าวว่าเมล็ดข้าวเปลือกเป็นผลของข้าวที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ จากด้านนอกเข้าไปดังต่อไปนี้

1. non – flowering glume จะอยู่ด้านนอกสุด ตรงส่วนที่เมล็ดติดกับรวงข้าว มีอยู่ 2 – ข้าง

2. flowering glume ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) และเปลือกเล็ก (palea)ซึ่งมีลักษณะแข็ง เป็นเปลือกที่หุ้มอยู่ภายนอกเมล็ด

3. เยื่อหุ้มผล (pericarp) ประกอบด้วยเยื่อ 3 ชั้นคือ epicarp , mesocarp และ endocarp

4. เยื่อหุ้มเมล็ด (tasta)

5. ชั้นแอลูโรน (aleurone layer) เป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูง

6. เอนโดสเปิร์ม (endosperm) เป็นส่วนเนื้อของเมล็ดข้าวมีอยู่ประมาณร้อยละ 82 ของเมล็ด ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งอยู่ในรูปแป้ง

7. คัพพะ (embryo) เป็นส่วนเล็ก ๆ อยู่ที่มุมล่างของเมล็ด ส่วนนี้มีสารอาหารหลายชนิด และจะเจริญเป็นต้นต่อไป

3. การจำแนกข้าว

ข้าวจำแนกได้หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัย และสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การปลูก การเก็บเกี่ยว ตลอดจนการเก็บรักษา การจำแนกข้าวสามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

3.1 จำแนกตามลักษณะรูปร่างของเมล็ด ตามวิธีของ IRRI (1993)

3.1.1 เมล็ดยาวมาก (extra long) มีความยาวมากกว่า 7.50 มิลลิเมตร

3.1.2 เมล็ดยาว (long) มีความยาวตั้งแต่ 6.61- 7.50 มิลลิเมตร

3.1.3 เมล็ดยาวปานกลาง (medium) มีความยาวตั้งแต่ 5.51- 6.60 มิลลิเมตร

3.1.4 เมล็ดสั้น (short) มีความยาวน้อยกว่า 5.50 มิลลิเมตร

3.2. การจำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด ซึ่งอรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น (2530) แบ่งไว้ดังนี้

3.2.1 ข้าวเจ้า (non glutinous rice) ประกอบด้วยสตาร์ชประมาณร้อยละ 90 ซึ่งแป้งนี้มีส่วนประกอบใหญ่ ๆ 2 ส่วนด้วยกันคือ อะมิโลสร้อยละ 10-30 และอะมิโลเพกทินร้อยละ 60-90 อะมิโลสประกอบด้วยหน่วยย่อยของกลูโคส 250 – 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกัน

ด้วยพันธะ $\alpha(1\rightarrow4)$ แตกต่างจากอะมิโลเพกทินที่หน่วยย่อยของกลูโคสประมาณร้อยละ 4-5 ยึดติดกับหมู่ไฮดรอกซิลของอีกหน่วยหนึ่งด้วยพันธะ $\alpha(1\rightarrow6)$ ในลักษณะเป็นกิ่งหรือสาขา

3.2.2 ข้าวเหนียว (glutinous rice) มีปริมาณอะมิโลเพกทินมากกว่าร้อยละ 95 และมีปริมาณอะมิโลสอยู่เพียงเล็กน้อย บางครั้งอาจไม่พบเลย

4. ส่วนประกอบทางโภชนาการของเมล็ดข้าว

สารประกอบสำคัญของเมล็ดข้าวคือ คาร์โบไฮเดรต นอกจากนั้นยังมีสารประกอบโภชนาการอื่น ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารประกอบทางโภชนาการของข้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ(ร้อยละ)
คาร์โบไฮเดรต	88.9
โปรตีน	9.8
ไขมัน	0.5
เถ้า	0.6
เยื่อใย	0.3

ที่มา : ดัดแปลงจาก อรอนงค์ นัยวิกุล (2540)

5. คุณภาพของเมล็ดข้าว

คุณภาพของเมล็ดข้าว ปกติจะพิจารณาตามความเหมาะสมที่ผู้บริโภคจะตัดสินว่าตรงตามความต้องการหรือไม่ ซึ่งรวมถึงคุณภาพในการเก็บรักษา คุณภาพการสี คุณภาพในการหุงต้ม การนำไปรับประทานและคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าว โดยอาจแบ่งตามคุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวเป็น 2 พวก (Webb, 1972)

5.1 คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ

หมายถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ชั่ง ตวง หรือวัดได้ เช่น สีของข้าวเปลือก สีของข้าวกล้อง ขนาดรูปร่างของเมล็ด น้ำหนักเมล็ด ลักษณะของท้องไข่ ความใสของเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และคุณภาพการสี

คุณภาพทางกายภาพ ส่วนใหญ่จะใช้ประเมินราคาข้าวที่ซื้อขายกันในท้องตลาด

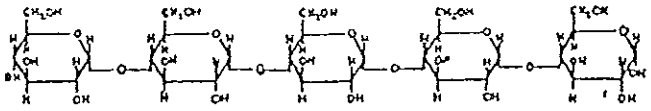
5.2 คุณภาพเมล็ดทางเคมี

หมายถึง คุณสมบัติ และส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมล็ดทางเคมี เช่น ชนิด และปริมาณสตาร์ช โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และอื่น ๆ รวมตลอดถึงคุณภาพการหุงต้ม การรับประทาน และการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

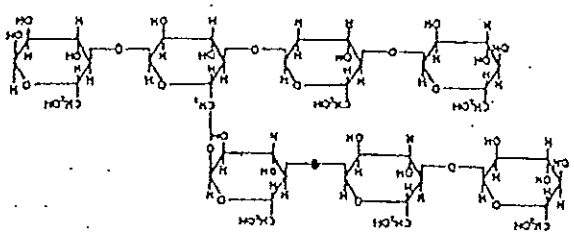
คุณภาพทางเคมี มีความสัมพันธ์ และสำคัญยิ่งต่อคุณลักษณะการหุงต้ม การรับประทาน การนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ และสมบัติของสตาร์ชในเมล็ดข้าว แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ

1.อะมิโลส (amylose) ประกอบด้วยหน่วยย่อย (monomer) ของ D – glucopyranose มาต่อกันเป็นเส้นตรงโดยพันธะ $\alpha(1\rightarrow4)$ glycosidic จำนวนหน่วยย่อยอาจมีได้ตั้งแต่น้อย ๆ หน่วยขึ้นไปถึง 3,000 หน่วย (Webb and Stermer, 1972) ดังภาพที่ 2 มีคุณสมบัติแตกต่างจากอะมิโลเพกทิน (amylopectin) คือ เมื่อสุกจะทำให้ความเหนียวของข้าวสุกลดลง และหากทิ้งไว้ให้เย็น อะมิโลสนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ข้าวสุกแข็งกระด้างและร่วนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ อะมิโลสยังทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ดีกว่าอะมิโลเพกทิน จึงทำให้ข้าวสุกไม่แฉะง่าย (ปราณี วราสวัสดิ์, 2536)

2. อะมิโลเพกทิน (amylopectin) ประกอบด้วยหน่วยย่อย (monomer) ของ D – glucopyranose ต่อกันด้วยพันธะ 2 แบบคือ $\alpha(1\rightarrow4)$ และ $\alpha(1\rightarrow6)$ glycosidic ทำให้อะมิโลเพกทินมีโครงสร้างของโมเลกุลที่แยกออกเป็นกิ่ง โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว จะมี D – glucopyranose ประมาณ 24-30 หน่วย (Weeb and Stermer, 1972) ดังภาพที่ 3 เมื่อทำให้สุกแล้วจะมีลักษณะเหนียว และดูดซึมน้ำไว้ในตัวได้จำกัด ดังนั้นอะมิโลเพกทินจึงมีส่วนทำให้ข้าวสุกเหนียว และนุ่ม ถ้าใส่น้ำในการหุงมากเกินไป น้ำส่วนเกินจะมาเกาะอยู่ตามผิวเมล็ดและทำให้ข้าวสุกมีลักษณะแฉะ (ปราณี วราสวัสดิ์, 2536)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะมิโลส
ที่มา : Webb และ Stermer (1972)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของอะมิโลเพกทิน
ที่มา: Webb และ Stermer (1972)

โมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์ชจะจัดเรียงตัวกันเป็นกลุ่ม แบ่งได้ 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบเหมือนผลึก ซึ่งเป็นส่วนของอะมิโลสมีการพองตัวจำกัด เรียกส่วนนี้ว่า crytalline region อีกกลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ดูดน้ำได้ดี เรียกส่วนนี้ว่า amorphous region เป็นส่วนที่อยู่รอบ ๆ ผลึก ซึ่งประกอบด้วยอะมิโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในสตาร์ชที่มีอะไมโลเพกทินสูงจะมีส่วนที่เป็น crytalline region น้อย จึงสามารถดูดน้ำได้รวดเร็ว พองตัวได้ดีเมื่อเทียบกับแป้งที่มีอะมิโลสสูง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

6. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าว

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพนี้มีความสำคัญต่อการประเมินคุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เมล็ดข้าวมีคุณสมบัติการหุงต้มและการรับประทานต่างกันได้แก่

6.1 ปริมาณอะมิโลส

ปริมาณอะมิโลสมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการขยายปริมาตร และการดูดซับน้ำในระหว่างการหุงต้ม ในขณะที่มีความสัมพันธ์ทางลบกับความนุ่ม และความเหนียวของข้าวสุก ข้าวที่มีอะมิโลสเท่ากันหรือใกล้เคียงกันก็ยังมีความแตกต่างกันโดยเฉพาะความนุ่มของข้าวสุก ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับค่าการสลายเมล็ดในด่าง (alkali spreading value) หรือค่าความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) หรือทั้งสองค่า (Juliano,1972) สามารถแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะมิโลสได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะมิโลส

ชนิด	ร้อยละของอะมิโลส	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-3	เหนียวมาก
ข้าวเจ้า แบ่งได้เป็น 3 ชนิด		
ข้าวนุ่มเหนียว	12-19 (อะมิโลสต่ำ)	นุ่ม- เหนียว หุงแฉะง่าย
ข้าวอ่อน	20-25 (อะมิโลสปานกลาง)	ค่อนข้างเหนียว- ร่วน
ข้าวแข็ง	26-34 (อะมิโลสสูง)	ร่วน แข็ง หุงขึ้นหม้อ

ที่มา:งามชื่น คงเสรี (2540)

6.2 ความคงตัวของแป้งสุก

แม้ว่าในข้าวบางพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสเท่ากัน แต่ยังมีความแตกต่างในคุณภาพ IRRI (International Rice Research Institute) (1972) จึงได้คิดหาวิธีการทดสอบคุณภาพในการรับประทานให้แน่ชัดขึ้น เรียกว่าการทดสอบความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency test) อาศัยหลักการทำให้แป้ง100 มิลลิกรัมใส โดยการต้มในสารละลายด่างเข้มข้น

0.2 นอร์มาล 2 มิลลิลิตร นาน 8 นาที แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และวัดระยะทางที่แป้งสุกไหลไปเมื่อวางบนพื้นราบนาน 30 นาที Cagampang และคณะ (1973) ได้จัดแบ่งประเภทของข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก ดังตารางที่ 3 ความคงตัวของแป้งสุกมีผลต่อความนุ่ม และแข็งของข้าวนั่นคือ ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน จะนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง แม้ว่าจะมีปริมาณอะมิโลสใกล้เคียงกันก็ตาม (งามชื่น คงเสรี, 2531)

ตารางที่ 3 การแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แข็ง	ต่ำกว่า 35
ค่อนข้างแข็ง	36-40
ปานกลาง	41-60
อ่อน	มากกว่า60

ที่มา : Cagampang และคณะ (1973)

6.3 อุณหภูมิการเกิดเจล (gelatinization temperature)

อุณหภูมิการเกิดเจลคือ อุณหภูมิสุดท้ายที่ทำให้เม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำดูดน้ำและพองตัวขึ้น จนกระทั่งความร้อนทำลายการจัดตัวภายในเม็ดแป้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในอย่างถาวร ทำให้แป้งเปลี่ยนสภาพผลึกหลายเหลี่ยมเป็นลักษณะที่ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน (ปราณี วราสวัสดิ์, 2536) อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม ถ้าข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะหุงสุกช้ากว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2531) ซึ่งแบ่งประเภทของข้าวตามระดับอุณหภูมิของแป้งสุกดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การแบ่งประเภทข้าวตามอุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก (องศาเซลเซียส)	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก
ต่ำกว่า 70	ต่ำ
70-74	ปานกลาง
สูงกว่า 75	สูง

ที่มา : Juliano (1985)

6.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation)

ในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวจะขยายตัวออกรอบด้านโดยเฉพาะด้านข้าง เช่น พันธุ์บาสมาติกของอินเดียจะขยายตัวได้ดีกว่าข้าวขาวดอกมะลิของไทย การที่เมล็ดขยายตัวได้สูงกว่าทำให้เนื้อภายในนุ่ม โปร่ง ไม่อัดแน่น และทำให้ข้าวนุ่มขึ้น (Share,1986)

6.5 โปรตีน

ถึงแม้ว่าในเมล็ดข้าวจะมีปริมาณโปรตีนอยู่น้อยก็ตาม แต่ก็มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มรับประทาน ถ้ามีปริมาณโปรตีนสูง จะทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลง ความนุ่ม ความเหนียว และความเลื่อมมันลดลงด้วย (Bunyan , 1959 ; Chinnaswany and Bhattacharya, 1983 b) และยังทำให้ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น (Villareal and Juliano, 1987)

6.6 สารมีกลิ่นในเมล็ดข้าว

ข้าวบางพันธุ์มีลักษณะที่ทำให้เป็นที่นิยมเป็นพิเศษคือ มีกลิ่นหอม เช่น ข้าวพันธ์ขาวมะลิ 105 หรือข้าวหอมมะลิ กลิ่นหอมนี้ประกอบด้วยสารระเหยไม่ต่ำกว่า 100 ชนิดโดยมีองค์ประกอบหลักเป็น 2- acetyl – 1 – pyrroline (Buttery, 1983) ซึ่งจะไม่พบในข้าวที่ไม่มีกลิ่นหอมและความเข้มข้นของสารจะลดลงเมื่อข้าวมีอายุการเก็บนานขึ้น (Lin *et al.*, 1990)

6.7 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บ

ข้าวเก่า และข้าวใหม่มีคุณภาพการหุงต้ม และรับประทานแตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว 3 – 4 เดือน เมื่อเก็บในที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา อาจมีผลมาจากการปรับสภาพการละลาย และการเกิดเจลของสตาร์ช และโปรตีนในเมล็ดข้าวที่สุกเต็มที่ให้กลาย

เป็นสารที่คงตัว และไม่ละลายในน้ำมากขึ้น ทำให้ข้าวเก่าต้องการน้ำในการหุงต้มมากกว่าข้าวใหม่ ความหนืดและ ความคงตัวของแป้งจะเพิ่มขึ้น ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอันได้แก่ ปริมาณโปรตีน และสตาร์ชจะยังคงใกล้เคียงกับข้าวใหม่ ส่วนปริมาณ reducing sugar, กรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ non - reducing sugar และกรดอะมิโนอิสระลดลง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

7. คุณภาพในการนำข้าวไปทำผลิตภัณฑ์

มาลี ซิ้มศรีสกุล (2535) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวมักใช้ข้าวที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของปริมาณอะมิโลส และอะมิโลเพกทิน ข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะมิโลสอยู่เลย มักใช้เป็นของหวาน ขนมพุดดิงและซอสต่าง ๆ ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำนิยมนำไปผลิตเป็นอาหารเช้าจากธัญพืช (dry breakfast cereal) และอาหารสำหรับเด็กอ่อน เนื่องจากปริมาณอะมิโลสต่ำทำให้เกิดความคงอยู่ในสภาพวุ้น (stable gel) ได้นาน ซึ่งจะทำให้แข็งตัวช้าในระหว่างการเก็บรักษา โรงงานผลิตข้าวพองจากข้าวนึ่ง และข้าวตอกซึ่งผลิตจากข้าวสารนิยมใช้ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ เนื่องจากความสามารถในการขยายพองตัวมีมาก ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสปานกลางนิยมใช้ทำซุปกระป๋อง และส่วนผสมซุปแห้ง (dry soup mix) ข้าวอะมิโลสสูงมีคุณลักษณะความคงตัวของวุ้นแข็ง (hard gel consistency) เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเนื่องจากมีความคงตัวสูงมาก ทนทานต่อการสลายในระหว่างการหุงต้มและเป็นแผ่นดีมาก

8. อาหารเช้าจากข้าว (Rice Breakfast Cereal)

อาหารเช้าจากธัญพืชประเภทข้าวแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือชนิดที่ต้องนำมาปรุงก่อนรับประทาน เช่น ฟารินา (farina) ซึ่งทำจากข้าวทั้งเมล็ดผ่านการสี และอีกชนิดหนึ่งคือ ชนิดที่พร้อมบริโภคได้ทันทีจากภาชนะบรรจุ อาจจะทำจากข้าวทั้งเมล็ดอย่างเดียว หรือข้าวที่ผ่านการบดในแบบที่ผ่านการเกิดโด

ข้าวจัดได้ว่าเป็นธัญพืชที่สำคัญ และมีความเหมาะสมในการนำมาทำอาหารเช้า เนื่องจากมีกลิ่นรสพิเศษเฉพาะ และมีคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่ดีเมื่อใช้สูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม (Luh, 1980) การใช้ข้าวเป็นวัตถุดิบในการทำอาหารเช้าจากธัญพืชอาจจะใช้ข้าวอย่างเดียว หรือร่วมกับธัญพืชอื่น ๆ นำมาแปรรูปโดยทำเป็นกึ่งสำเร็จรูป (precooked) การทำ

แห้ง การทำเป็นแผ่นเฟลก (flaked) หรือในรูปแบบที่เป็นโด โดยการนำแป้งผสมกับน้ำในสัดส่วนที่พอเหมาะแล้วนวดเป็นก้อน แล้วผ่านการทำให้เกิดการขยายตัวหรือพองกรอบ การอบ และการทำให้สุก ซึ่งกระบวนการผลิตมีความดันของไอน้ำ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญส่งผลถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ นอกจากนี้ยังรวมถึง กลิ่นรสของวัตถุดิบ วิตามิน แร่ธาตุ และโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ หรือเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารเช้าในท้องตลาดหลาย ๆ โรงงานผลิตโดยการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและดึงดูดความสนใจของลูกค้าโดยการผลิตในรูปแบบพร้อมบริโภค (Horgan, 1977)

9. ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (Puffed Rice Product)

ข้าวพองจัดเป็นอาหารเช้าจากธัญพืชที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ เช่น อินเดีย ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และฟิลิปปินส์ ในประเทศอินเดีย ข้าวพองเป็นอาหารดั้งเดิมที่ได้รับความนิยม เนื่องจากราคาไม่แพง ทำได้ง่ายโดยการนำข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งมาคั่วกับทรายร้อน ข้าวยังคงเป็นเม็ดมีความกรอบและมีสีขาว (Chandrasekhar and Chattopadhyay, 1991) Hsieh และคณะ (1989) กล่าวว่าข้าวพองที่ผลิตในประเทศอเมริกา และออสเตรเลียมีลักษณะเป็นแผ่นแบน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้เกิดการพองตัวโดยไม่ใช้สารช่วยในการจับยึด (binder) สีขาว มีความเป็นรูพรุนมากจึงพองกรอบ มีแคลอรี่ต่ำประมาณ 35-40 กิโลแคลอรี่ มีความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนัก 9-10 กรัมต่อชิ้น มีส่วนผสมหลักคือข้าวสาร หรือข้าวกล้อง

10. การพองตัวของข้าว

งามชื่น คงเสรี (2540) กล่าวว่าการพองตัวของข้าวเกิดจากการนำเมล็ดข้าวมาอัดไว้ระหว่างแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่น ภายในแม่พิมพ์กลม เมื่อคลายแรงอัดโดยการเคลื่อนแผ่นให้ความร้อนออกจากกันไอน้ำภายในจะระเหยออกมาทันทีดันให้เมล็ดข้าวพองและแข็งตัว ผลิตภัณฑ์จึงมีลักษณะพองกรอบ การพองตัวมีผลมาจากการขยายตัวอย่างทันทีทันใดของไอน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างของเมล็ดข้าว อนุภาคที่อยู่ด้านในจะขยายออกเป็นลำดับขั้นโดยอาศัยหลักการทำแห้งจากการที่ไอน้ำแพร่ออกสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว (Luh, 1991) ไอน้ำทำให้เกิดความร้อนและความดันทำให้อุณหภูมิภายในเมล็ดเพิ่มสูงขึ้นจนสตาร์ชภายในเมล็ดสุกเป็น

เจล เมื่อผลิตภัณฑ์ออกมาพบกับความดันต่ำภายนอก น้ำจะระเหยกลายเป็นไออย่างทันที ทันใดทำให้ธัญพืชที่ได้พองตัวและมีความกรอบ (ปริศนา สุวรรณาภรณ์และ คณะ, 2538)

Luh (1980) ได้แบ่งกระบวนการทำให้ข้าวพองตัวออกเป็น 2 รูปแบบ

1. กระบวนการผลิตภายใต้สภาพบรรยากาศปกติ อาศัยการใช้ความร้อนเพื่อให้น้ำในเมล็ดข้าวการกลายเป็นไออย่างทันทีทีใด เช่น การคั่วกับทรายร้อนในกะทะเหล็ก การทอดในน้ำมัน และการอบในตู้อบลมร้อน

1.1 การทอดในน้ำมัน (Oil puffing)

Villareal and Juliano (1987) ทดลองผลิตข้าวพองโดยการใช้ข้าวสารที่ผ่านการนึ่งมาทำให้เกิดการพองตัวในน้ำมันมะพร้าวที่อุณหภูมิ 210-220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-8 วินาที แล้วซับน้ำมันให้แห้งพบว่า ข้าวมีอัตราการพองตัวระหว่าง 1.8-3.0 โดยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว

1.2 การคั่วกับทรายร้อน (Sand heating)

เป็นกรรมวิธีการทำข้าวพองแบบดั้งเดิมในชนบทของอินเดีย ทำได้โดยการนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำข้ามคืนเพื่อปรับความชื้นให้ได้ประมาณร้อยละ 13 คั่วกับทรายสะอาดที่มีอุณหภูมิ 240-250 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 1:2 เป็นเวลา 22 วินาที ร่อนทรายออก ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง ให้ความชื้นลดลงจากนั้นสีเอาเปลือกออกจะได้ข้าวสารที่ผ่านการนึ่งแบบแห้ง และทำให้ข้าวนึ่งพองตัวโดยการคั่วในกะทะที่ไม่มีทรายอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นพักไว้ 30 นาที คั่วซ้ำอีกครั้งด้วยด้วยทรายร้อนอุณหภูมิ 240-540 องศาเซลเซียสในอัตราส่วน 1: 10 เป็นเวลา 11-13 วินาที ร่อนเอาทรายออกจะได้ข้าวพองที่มีความชื้นร้อยละ 1-2 (Chinnaswany and Bhattacharyay 1983 a) Chandrasekhar and Chttopadhyay (1992) กล่าวว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่มีกำลังการผลิตต่ำเพียง 2.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอาจจะแยกทรายออกไม่หมด ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เทคโนโลยีนี้จึงควรมีการปรับปรุง

1.3 การใช้ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

การผลิตข้าวพองโดยการใช้ตู้อบลมร้อนมี 2 ลักษณะคือ

1.3.1 การใช้อากาศร้อนอย่างเดียว

Guraya และ Toledo (1994) กล่าวว่า การทำข้าวพองโดยการใช้แป้งข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นเป็นร้อยละ 10-12 ทำให้เกิดการพองตัวโดยการใช้ตู้อบลมร้อน

อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เวลา 10-20 วินาที Sweintek (1987) อธิบายว่าการผลิตข้าวพองสำหรับเป็นอาหารเช้าทำได้โดยนำแป้งข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 21 ปั้นเป็นลูกกลม ๆ เล็ก ๆ อบในตู้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8-35 วินาที Chandrasekhaw และ Chattopadhyay (1989) ได้ทดลองนำข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำมาทำการนึ่งและอบแห้งจนมีความชื้นเหลือร้อยละ 12-13 จากนั้นสีเอาเปลือกออก นำมานึ่งอีกครั้งโดยใช้ความดัน 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร 20 นาที อบแห้ง ขัดสีเอาเปลือกออก นำมาทำให้เกิดการพองตัวโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสพบว่าข้าวจะเกิดการพองตัวสมบูรณ์เมื่อใช้เวลา 11 วินาที และ Antonio (1973) ศึกษาการผลิตข้าวพองโดยใช้ข้าวเปลือกนึ่งทำให้พองตัวโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16-20 วินาที พบว่าจะทำให้ข้าวมีอัตราการพองตัว 1.05-1.61

1.3.2 การใช้ตู้อบลมร้อนโดยใช้ใบพัดกวนหรือการสั่นสะเทือน

Srinivas และ Desikachar (1973) ศึกษาการทำข้าวพองโดยใช้ข้าวเปลือกความชื้นร้อยละ 20-24 อบแห้งให้ความชื้นเหลือร้อยละ 14 แล้วทำให้พองโดยใช้ electrically-heated rotary roaster ภายในมีอุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40-45 วินาที และ Bhattacharjee และ Nath (1984) ศึกษาการทำข้าวพองโดยใช้ rice puffing machine ภายในตู้อบจะมีใบพัดกวนติดอยู่กับตัวเครื่อง โดยการใช้ข้าวเปลือกที่ผ่านการปรับความชื้นแล้วใส่ในตู้อบที่มีอุณหภูมิระหว่าง 230-280 องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 10-15 วินาที วิธีนี้ข้าวจะมีอัตราการพองตัวประมาณ 2.5 Chandrasekhaw และ Chattopadhyay (1988) ได้พัฒนาเครื่องทำข้าวพองแบบตู้อบลมร้อนธรรมดาให้ภายในมีสายพานร้อนที่สั่นสะเทือนตลอดเวลา ข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นแล้วป้อนเข้าเครื่องบนสายพานที่มีลมร้อนเป่า ข้าวที่ผ่านการพองตัวแล้วจะลอยตัวเนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ และถูกดูดออกไปจากตู้ เป็นการประหยัดพลังงานเพราะลมร้อนจะหมุนเวียนอยู่ในตู้ เป็นวิธีที่ง่าย และข้าวพองที่ได้สะอาดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ทรายร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 50 และ Chandrasekhaw และ Chattopadhyay (1989)ได้ทดลองผลิตข้าวพองโดยใช้เครื่องนี้ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 240-270 องศาเซลเซียส เวลา 7-9.7 วินาที สามารถทำให้ข้าวมีอัตราการพองตัว 8.5-10

2. กระบวนผลิตภายใต้สภาพความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็ว บรรจุวัตถุดิบที่มีความชื้นในภาชนะที่ปิดสนิท เมื่อเคลื่อนภาชนะที่ปิดอยู่ทำให้อนุภาคที่มีความชื้นได้รับความร้อน

อย่างยิ่งยวด ไปสู่ที่ที่มีความดันต่ำกว่าอย่างทันทีทันใด วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเปิดหรือการเคลื่อนอย่างรวดเร็วของภาชนะที่ใช้ปิดซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุดิบภายในที่มีความชื้นเมื่อถูกทำให้มีอุณหภูมิสูง ในภาชนะที่ปิดอย่างแน่นหนา และเมื่อเปิดออกสู่ความดันบรรยากาศภายนอกอย่างทันทีทันใด จะเกิดการพองตัว

2.1 การทำให้พองโดยใช้เครื่อง Gun Puffing

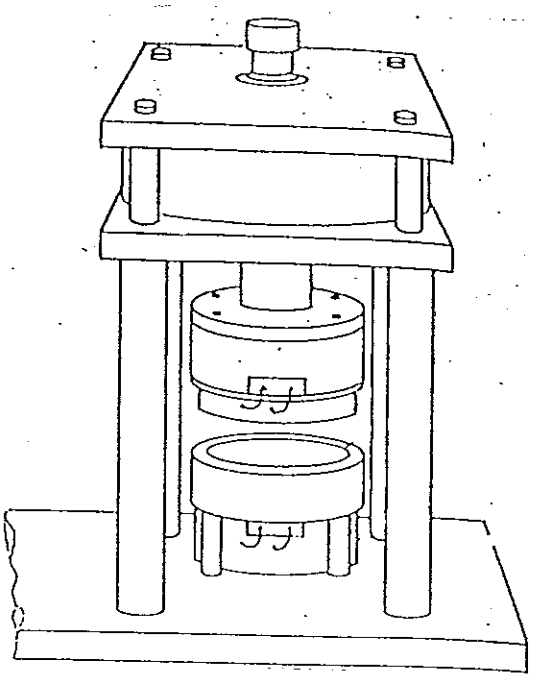
Luh (1991) กล่าวว่า Gun Puffing เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Gun) ภายในเป็นท่อสามารถหมุนได้ ภายในผนังท่อชั้นสุดท้ายจะเคลือบด้วยเหล็กกล้าเพื่อรองรับความดันที่สูงและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เป็นเครื่องมือที่สามารถปลดปล่อยความดันได้อย่างรวดเร็ว วิธีนี้ทำได้โดยนำข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นแล้วป้อนเข้าเครื่อง ข้าวจะได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วในท่อที่ปิดสนิทภายในท่อมีความร้อนประมาณ 200-210 องศาเซลเซียส เวลา 3-5 นาที หรือเมื่อความดันถึง 11.3 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร วาล์วนิรภัยจะเปิดออก ความดันภายในจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว และเมล็ดข้าวจะสัมผัสกับความดันที่ต่ำกว่าภายนอก เป็นผลให้เมล็ดข้าวพอง ข้าวจะมีอัตราการพองตัวสูงถึง 8.8-16.3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว (Delose- Lewis, 1992)

2.2 การทำให้พองโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูชัน (Puffing by Extrusion)

การทำให้พองโดยวิธีนี้จะได้ผลิตภัณฑ์คล้ายกับอาหารขบเคี้ยว (snacks food) นำแป้งข้าวมาปรับความชื้นด้วยน้ำ หรือไอน้ำจนมีความชื้นร้อยละ 60-70 แป้งจะมีความเหนียว เมื่อป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะทำให้เกิดแรงเฉือนสูงมากภายในเกลียวสกรู และร่องที่ผนังด้านในของบาเรล ทำให้เกิดความดันและความร้อนสูง แป้งจะถูกบดอัดและได้รับความร้อนสูงทำให้แป้งเปลี่ยนสภาพเป็นเจลหรือเกิดการสุก และเปลี่ยนสภาพจากผงแป้งเป็นของเหลวข้นหนืด และเมื่อผ่านออกมาทางรูเปิดหน้าแปลน (die) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ภายในระเหยกลายเป็นไอทันที ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะสุกพองและกรอบ แต่ความชื้นสูงประมาณร้อยละ 8-10 (Luh,1991) จึงต้องนำไปผ่านขั้นตอนการลดความชื้น โดยการทอดในน้ำมัน หรืออบ หลังจากนั้นนิยมนำผลิตภัณฑ์ไปเคลือบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้สุดท้ายจะเบา มีความหนาแน่นต่ำ (44 - 60 กรัมต่อลิตร) มีความชื้นต่ำร้อยละ 1-2 (อภิญญา เจริญกุล, 2538)

2.3 การทำให้พองโดยใช้เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine

Hsieh และคณะ 1989 a.; Huff และคณะ (1992) อธิบายว่าการทำข้าวพองชนิดเป็นแผ่น ทำได้โดยนำข้าวกล้องหรือข้าวสารและน้ำมาปรับความชื้นโดยการใส่ในเครื่องที่หมุนด้วยความเร็ว 24 รอบต่อนาที ทำให้ข้าวมีความชื้นเป็นร้อยละ 12.5 จากนั้นทำให้พองโดยเติมข้าวในพิมพ์ของเครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine (ภาพที่ 4) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่นและพิมพ์ ข้าวจะได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน และเมื่อเคลื่อนแผ่นให้ความร้อนออกจากกันอย่างรวดเร็ว น้ำในข้าวซึ่งร้อนจัดจะกลายเป็นไออย่างทันที และเชื่อมเข้าด้วยกันเป็นแผ่น โดยไม่ต้องใช้สารเชื่อม และยังสามารถคงโครงสร้างของเมล็ดอยู่ Hsieh และคณะ (1990) ได้ทดลองใช้เครื่องนี้โดยใช้ข้าวโพดเป็นวัถตุดิบ พบว่าข้าวโพดสามารถพองตัวได้ดีเช่นเดียวกับข้าว และยังพบว่าเมื่อผลิตข้าวพองโดยใช้เครื่องนี้ที่อุณหภูมิ 170-210 องศาเซลเซียส สามารถทำลายแบคทีเรียชนิดทนความร้อนสูงคือ *Bacillus sterothermophillus* ได้ถึงร้อยละ 99.9 จากจำนวนเริ่มต้น (Hsieh *et al.*, 1989 b)



ภาพที่ 4 เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine

ที่มา : Hsieh และคณะ (1990)

10. ปัจจัยและสภาวะที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว

Huff และคณะ (1992) กล่าวว่า ปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของธัญพืชขึ้นอยู่กับ โปรตีน ไขมัน ปริมาณและชนิดของสตาร์ช และอัตราส่วนระหว่างอะมิโลสกับอะมิโลเพกทินในเมล็ดข้าว และจากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการพองตัวของข้าวสรุปได้ ดังนี้

1. องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

1.1 ขนาดของเมล็ดข้าว

Huff และคณะ (1992) ศึกษาขนาดของเมล็ดข้าวที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว โดยใช้ข้าวกล้อง 2 ขนาดคือข้าวเมล็ดยาว และเมล็ดปานกลาง ทำให้พองโดยใช้เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่าข้าวเมล็ดยาวพองตัวได้ดีกว่าข้าวเมล็ดปานกลาง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chandrasekhar และChattpadhyay (1991) ซึ่งพบว่าข้าวจะพองตัวน้อยลงเมื่ออัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวลดลง

1.2 ความหนาของชั้นแอลูโรน (aleurone layer)

ชั้นแอลูโรน เป็นชั้นที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีผนังหนา มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโปรตีน ห่อหุ้มส่วนที่เป็นสตาร์ช (ปราณี วราสวัสดิ์, 2536) Srinivas and Deskachar (1973) ได้ทดลองนำข้าวเปลือกมาปรับความชื้นเป็นร้อยละ 14 ก่อนนำไปทำให้เกิดการพองตัวใน electrically - heated rotary roaster ที่ปรับอุณหภูมิไว้ 275 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างคุณภาพการพองตัว และความหนาเฉลี่ยของชั้นแอลูโรน แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวที่ให้คุณภาพในการพองตัวที่ดีจะมีชั้นแอลูโรนที่อ่อนและบาง ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพการพองตัวที่ไม่ดีจะมีความหนาของชั้นแอลูโรน เกือบสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งเมล็ด

1.3 ช่องว่างระหว่างเปลือกและเมล็ดข้าว

Srinivas และ Deskachar (1973) พบว่าในการผลิตข้าวพองโดยการใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ ถ้าข้าวมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกข้าวกว้างจะให้คุณภาพการพองตัวที่ดีกว่าข้าวที่มีช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าว และเปลือกแคบ

2 องค์ประกอบทางเคมี

2.1 ปริมาณอะมิโลส Chinnaswany และ Bhattacharya (1983 b) ตรวจสอบการพองตัวของข้าว 35 ชนิดประกอบด้วยข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 5-32 พบว่าข้าวที่มีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 27 จะมีอัตราการพองตัวเกิดขึ้นสูงสุด สอดคล้องกับ

Chardrasekhar และChattopadhyah (1991) ซึ่งใช้ข้าวเจ้า 12 พันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 23.95-31.55 ทำให้พองโดยการใช้ตู้อบลมร้อน พบว่าพันธุ์ข้าวที่พองตัวดีที่สุดมีปริมาณอะมิโลสอยู่ประมาณร้อยละ 28.5 ในขณะที่ Villareal และ Juliano (1987) ซึ่งศึกษาปริมาณอะมิโลสโดยแบ่งข้าวตามปริมาณอะมิโลสออกเป็น 4 ประเภทโดยมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 2.8-28.6 ทำให้พองโดยใช้ Gun puffing อุณหภูมิ 200-210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 นาที พบว่าการพองตัวของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริ มาณอะมิโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะมิโลสอยู่เลยมีคุณภาพการพองตัวที่สูง เช่นเดียวกับ Antonio (1973) ศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสต่อการพองตัวของข้าวโดยใช้ข้าวเหนียว 2 พันธุ์ และข้าวเจ้าที่มีปริมาณร้อยละ 18-28 จำนวน 5 พันธุ์ทำให้พองโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เวลา 16-20 นาที พบว่าข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะมิโลสเลยพองตัวได้ดีที่สุด และข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีอะมิโลสสูงสุดคือร้อยละ 28 พองตัวได้น้อยที่สุด

2.2 ปริมาณโปรตีน โดยทั่วไปข้าวมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 8 – 10 Channaswany และ Bhattacharya (1983) พบว่า ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้อัตราการพองตัวลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการมีปริมาณโปรตีนสูง ทำให้ส่วนประกอบในส่วนที่เป็นแป้งลดลง ทำให้อัตราการพองตัวของข้าวลดลง สอดคล้องกับ Villaerl และ Juliano (1987) ที่กล่าวว่าปริมาณโปรตีนมีผลทางลบต่อการขยายตัวของเมล็ดข้าว เมื่อใช้ข้าวที่มีโปรตีนตั้งแต่ร้อยละ 5.8-11.3 พบว่าเมล็ดข้าวที่มีโปรตีนต่ำจะพองตัวได้ดีกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูง Murugesan และ Bhattcharyay (1990) กล่าวว่าปริมาณโปรตีนไม่มีความสัมพันธ์ต่อการพองตัวของข้าวเนื่องจากโปรตีนส่วนใหญ่เป็นชั้นที่อยู่ภายนอก และถูกกำจัดออกไปแล้ว

3. อายุการเก็บและวิธีการเก็บรักษาข้าว

Chinnswany และ Bhattacharya (1983 a) กล่าวว่าอายุของข้าวมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการพองตัวของข้าว โดยทำการทดลองเก็บข้าวเป็นเวลา 60 วัน และนำมาทดสอบการพองตัวทุก ๆ 15 วัน พบว่าในช่วง 10 เดือนแรกอัตราการพองตัวจะค่อนข้างเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นจะลดลงตามลำดับซึ่งน่าจะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านการดูดซับน้ำและความหนืดของเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บ และ Bhattacharjee และ Nath (1984) ทดลองเก็บรักษาข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวกล้องนึ่งในถุงพลาสติก 3 ชนิด คือ polyethylene, polyethylene impregnated jute bags และ jute bags เป็นเวลา 120 วัน เมื่อนำมาทำให้พองตัวโดยการใช้ตู้

อบลมร้อนอุณหภูมิ 230-250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10-15 วินาที พบว่าข้าวนึ่ง และข้าวกล้องนึ่งที่เก็บในถุง polyethylene และ polyethylene impregnated jute bags จะมีอัตราการพองตัวดีขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บ ทั้งนี้อาจจะเป็นไปได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านเคมีฟิสิกส์ระหว่างการเก็บรักษา ส่วนข้าวที่เก็บใน (jute bags) ถูกแมลงทำลายเมื่อเก็บรักษาได้ 60 วัน

สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าว จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการพองตัวของข้าวได้แก่

1. ความชื้นของข้าวก่อนการพองตัว

Murugesan และ Bhattacharya (1991) กล่าวว่าความชื้นของข้าวก่อนนำมาทำให้เกิดการพองตัวมีความสำคัญต่อคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวเป็นอย่างมาก ถ้าข้าวมีความชื้นต่ำเกินไปจะพองตัวได้น้อย เนื่องจากความดันไอ (steam pressure) ไม่เพียงพอ และถ้าข้าวมีความชื้นสูงเกินไปก็จะให้คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวต่ำเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องหาความชื้นที่เหมาะสมที่จะให้ข้าวมีคุณภาพการพองตัวสูง โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมของข้าวอยู่ในช่วง 13.5-14.5 เช่นเดียวกับรายงานของ Hsieh และคณะ (1989) ที่ได้ทดลองใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 14, 16, 18 และ 20 ทำให้พองตัวโดยใช้เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่าข้าวจะพองตัวได้ดีเมื่อมีความชื้นร้อยละ 14 Huff และคณะ (1992) ยังพบว่าความชื้นนอกจากมีผลต่อปริมาตรแล้ว ยังมีผลต่อสีของข้าวพอง เมื่อทดลองใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 14, 16 และ 18 พบว่าข้าวที่มีการพองตัวน้อยจะมีสีขาวสว่างกว่า เนื่องจากว่าการพองตัวของข้าวเกิดจากข้าวมีความเป็นรูพรุนสูง มีช่องว่างเล็ก ๆ จำนวนมากในข้าวแต่ละเมล็ด ดังนั้นข้าวที่มีการพองตัวสูงค่าความสว่างที่วัดได้จึงน้อยเนื่องจากความสามารถในการทะลุผ่านของแสง Roberts, *et al.*,(1951) อ้างโดย Chinnaswany และ Bhattacharya (1983 a) ความชื้นที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวโดยการทอดและการอบเท่ากับร้อยละ 8-14 และ 8-9 ตามลำดับ

2. อุณหภูมิ

โดยทั่วไปกระบวนการพองตัวของข้าวจะใช้อุณหภูมิประมาณ 200-270 องศาเซลเซียส เมื่อใช้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะทำให้กระบวนการพองตัวเพิ่มขึ้นด้วย (Huff *et al.*, 1992) Murugesan และ Bhattacharya (1986) พบว่าถ้าอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไปอาจทำให้ข้าวไม่พองหรือพองน้อยลง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวก็ต่ำเช่นกัน ทั้งนี้

CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้ข้าวไหม้ก่อนที่จะพอง ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการพองตัวของข้าวจะเป็นอุณหภูมิที่ข้าวมีการพองตัวสูงเมื่อใช้วิธีการผลิตเดียวกัน และข้าวแต่ละพันธุ์จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน Hsieh และคณะ (1989) ทดลองใช้อุณหภูมิ 4 ระดับคือ 200, 210, 220 และ 230 องศาเซลเซียสใช้เวลา 8 วินาทีโดยเครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่าที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียสข้าวพองตัวได้ดีที่สุด Channaswany และ Bhattacharya (1983 a) ทำข้าวพองจากข้าวเปลือกนึ่งโดยการคั่วกับทรายร้อนที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 เวลา 1 นาที พบว่าข้าวมีอัตราการพองตัวสูงขึ้นตามลำดับคือ 4.9, 5.3 และ 6.2

3. ระยะเวลาของการพองตัว

เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการดูดซับน้ำมากขึ้นซึ่งมีผลต่อการพองตัวของข้าวเช่นเดียวกับอุณหภูมิ (Huff *et al.*, 1992) เมล็ดข้าวที่ดูดน้ำ และพองตัวเต็มที่เมื่อ ให้ความร้อนต่อไปอีก ความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งแตกออกเป็นผลให้อัตราการพองตัวลดลง (Chandrasekhar and Chattopahayay , 1991)

4. การเติมเกลือ

Chinnaswany และ Bhattachayay (1983 a) พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์จะสามารถเพิ่มการขยายตัวของข้าวได้ ช่วยทำให้อัตราการพองตัวของข้าวเพิ่มขึ้น Murugesan และ Bhattacharya (1986) จึงได้ทดสอบว่า เกลือจะมีผลต่อการพองตัวของข้าวหรือไม่ โดยแช่ข้าวเปลือกในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 3 วัน จากนั้นนำข้าวไปปรับความชื้น และทำให้พอง พบว่าเกลือจะช่วยเพิ่มคุณภาพการพองตัวของข้าว และในขณะเดียวกันก็จะมีผลทำให้ความชื้นที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวเปลี่ยนจากร้อยละ 14 เมื่อไม่มีเกลือ เป็นร้อยละ 17 เมื่อเติมเกลือความเข้มข้นร้อยละ 2 ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม และนอกจากเกลือโซเดียมคลอไรด์แล้ว เกลืออื่น ๆ เช่น $CaCl_2$ ก็สามารถเพิ่มอัตราส่วนการพองตัวของข้าวได้เช่นเดียวกัน

11. รำข้าว

รำข้าว (rice bran) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสีข้าวกล้อง สีน้ำตาลอ่อนปนเหลือง อยู่ภายนอกเมล็ดถูกขัดออกโดยการขัดสี ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดข้าวกล้อง และสตาร์ชจำนวนเล็กน้อยจากบางส่วนของเอนโดสเปิร์ม (อรวินทร์ อินทรโกรก,

2538) รำข้าวที่นำมาใช้กับมนุษย์หลังจากผ่านการขัดสีแล้ว ต้องนำมาผ่านการทำให้คงตัวเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ลิเพส รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวเรียกว่า full – fat stabilized rice bran หรือรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกเพื่อสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีประโยชน์ รำข้าวส่วนที่เหลือเรียกว่า รำข้าวปราศจากน้ำมัน (defatted rice bran) (Keith, 1995)

11.1 การใช้ประโยชน์จากรำข้าว

Keith (1994) กล่าวว่า รำข้าวปราศจากน้ำมัน หรือกากรำ ได้จากการนำรำข้าวมาผ่านกรรมวิธีการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน กระบวนการนี้สามารถให้ผลผลิตน้ำมันรำข้าวสูง กากรำที่ได้มีคุณภาพดี ปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่น้อยมากคือ ประมาณร้อยละ 0.5-1.5 สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นหืน ทั้งรำข้าวและรำข้าวสกัดปราศจากน้ำมันนอกจากใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์แล้วยังสามารถใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทขนมอบได้เป็นอย่างดี ส่วนประกอบทางโภชนาการและค่าพลังงานของรำข้าวและรำข้าวปราศจากน้ำมัน แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบทางโภชนาการและค่าพลังงานของรำข้าวและรำข้าวปราศจากน้ำมัน

ส่วนประกอบทางโภชนาการ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	รำข้าว	รำข้าวปราศจากน้ำมัน
ความชื้น	8-12	6-9
โปรตีน	12-16	15-20
ไขมัน	17-22	0.5-1.5
เยื่อใย	8-12	10-15
เถ้า	7-10	9-12
ใยอาหารทั้งหมด	20-25	24-28
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	1.8-2.6	2.0-2.4
กิโลแคลอรี่/กรัม	3.5	2.1

ที่มา : Keith (1994)

Saunders (1990) กล่าวว่า รำข้าวสามารถใช้เป็นแหล่งใยอาหารได้ดี เนื่องจากประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส ในรำข้าวมีรายงานว่ามีร้อยละ 8.7-11.4 เซลลูโลส ร้อยละ 9.6-12.8 เบต้า กลูแคน (Beta-glucans) น้อยกว่าร้อยละ 1 ในรำข้าวมีส่วนประกอบของน้ำตาลโมเลกุลเล็กร้อยละ 3-8 ได้แก่ กลูโคส (glucose), ฟรักโทส (fructose), ซูโครส(sucrose) และ ราฟฟิโนส (raffinose) เมื่อเปรียบเทียบรำข้าวกับอาหารหลายประเภทที่สามารถใช้เป็นแหล่งใยอาหารได้ เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช และถั่วต่าง ๆ พบว่า รำข้าวมีส่วนประกอบของใยอาหารรวม (total dietary fiber) อยู่ในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบอาหารอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 6 (Carool , 1996)

ตารางที่ 6 ปริมาณใยอาหารรวมในอาหารประเภทต่าง ๆ (กรัมต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม)

วัตถุดิบ	ความชื้น	ใยอาหารรวม
รำข้าว	37.7	8.5
ถั่วเหลือง	37.7	3.5
ผักกาดขาว	36.7	3.9
ทุเรียน	64	4.1
ฝรั่งเวียดนาม	89	3.7
กล้วยน้ำว้า	68	2.5
เห็ดหูหนู	93	7.9
หัวปลี	91	4.6

ที่มา : วันเพ็ญ มีสมญา (2541)

11.2 การนำรำข้าวมาใช้เป็นแหล่งใยอาหาร

ใยอาหาร (dietary fiber) หมายถึง ส่วนที่เหลือของเซลล์พืชหลังจากการย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะรวมถึงผนังเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกทิน ลิกนิน รวมทั้ง กัมและ มิวซิเลจ (วันเพ็ญ มีสมญา, 2541)

ส่วนเยื่อใย (crude fiber) หมายถึงส่วนที่เหลือของเซลล์พืชจากการย่อยด้วยกรดและเบส ซึ่งจะมีปริมาณน้อยกว่าใยอาหารประมาณร้อยละ 1.6-15.7 เท่า (วิชัย ตันไพจิตร, 2522)

ใยอาหารตามความสามารถในการละลายน้ำออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1.ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และแวกซ์ (Schneemann, 1986) อาหารที่มีใยอาหารจำพวกนี้ คือ รำข้าวสาลี ผลิตภัณฑ์จากเมล็ดข้าวทั้งหมด และผัก ใยอาหารประเภทนี้ช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณอุจจาระ และจำนวนครั้งของการถ่ายอุจจาระ และช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ (สันธนา อมรไชย, 2535) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ทำให้ลำไส้ทำงานได้ดีขึ้น ส่งเสริมการย่อยและการดูดซึมสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย เพิ่มปริมาตร และความชื้นของอุจจาระ ลดอาการท้องผูก ช่วยลดอาการระคายเคืองของผนังลำไส้ใหญ่ที่เป็นสาเหตุของอาการท้องร่วง โดยทั่วไปแล้วปริมาณใยอาหารที่ร่างกายควรได้รับต่อวันประมาณ 25-35 กรัม (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2539)

2. ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) ประกอบด้วย เพกทิน กัม มิวซิเลจส์ และเฮมิเซลลูโลสบางตัว (Schneemann, 1986) ด้วยคุณสมบัติที่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการกระจายตัวของโครงสร้างที่อัดแน่น และสามารถแลกเปลี่ยนประจุ โดยจับกับไอออนของโลหะบางตัวหรือโมเลกุลที่มีประจุไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ใยอาหารประเภทนี้มีผลให้อาหารผ่านกระบวนการย่อยช้าลง ซึ่งเชื่อกันว่าคุณสมบัติดังกล่าวมีผลในการลดระดับคอเลสเทอรอลในเลือด น้ำตาลในเลือด และขจัดสารพิษโลหะบางชนิดได้ ใยอาหารประเภทนี้ที่พบได้แก่ ถั่วแห้ง ข้าวโพด ข้าวบาร์เล่ และผักผลไม้บางชนิด (สันธนา อมรไชย, 2535)

จากคุณสมบัติของใยอาหารเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า การบริโภคใยอาหารที่มีปริมาณ และคุณภาพเหมาะสมกับสภาวะของร่างกาย จะช่วยลดโอกาสในการเกิดโรคเหล่านี้ นอกจากนี้ใยอาหารยังใช้เป็นสารควบคุมน้ำหนักตัวได้ดี เนื่องจากทำให้ผู้บริโภครู้สึกอิ่มแต่ไม่ให้พลังงาน จากบทบาทของใยอาหารต่อสุขภาพ ทำให้อาหารที่มีปริมาณใยอาหารสูงได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป ในส่วนของนักวิชาการและนักโภชนาการอาหารก็ได้พยายามค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณใยอาหารสูง และได้มีการผลิตใยอาหารบริสุทธิ์จากพืชที่บริโภคได้ขึ้นมาหลายชนิด โดยการพัฒนาคุณภาพทั้งในด้านสี

กลิ่น รส ปริมาณใยอาหาร ขนาดอนุภาค รวมทั้งคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กว้างขวางขึ้น (วิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ, 2542)

11.3 การใช้รำข้าวเป็นแหล่งใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร

มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการนำรำชนิดต่าง ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทต่าง ๆ ได้แก่

1. เค้ก Shafer และ Zabix (1978) เปรียบเทียบคุณภาพของเค้กชั้น (layer cake) ที่เติมรำข้าวสาลี และรำชนิดอื่น ๆในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร ผลการทดลองสรุปว่า การเติมรำชนิดต่าง ๆ เช่น รำข้าวโพด รำข้าวโอต รำถั่วเหลือง ทำให้เนยแข็งมีความหนืดสูงกว่าการเติมรำข้าวสาลี แต่เค้กที่เติมรำชนิดอื่น ๆ มีปริมาตรลดลงมากกว่าเค้กที่เติมรำข้าวสาลี นอกจากนี้ผู้บริโภคจะยอมรับเค้กที่เติมรำข้าวสาลี และรำข้าวโพดมากกว่าเค้กที่เติมรำชนิดอื่น ๆ เพราะผู้บริโภคคุ้นเคยกับกลิ่นรสของข้าวสาลี และข้าวโพด ส่วนเค้กที่เติมรำข้าวโอต และรำถั่วเหลือง นอกจากมีกลิ่นรสที่ไม่ดีแล้วยังได้คะแนนการยอมรับในเรื่องความรู้สึกขณะกลืนต่ำ เนื่องจากลักษณะที่หยาบเป็นทราย

2. คุกกี้ Jeltema และคณะ(1983) ใช้รำข้าวสาลี รำข้าวโอต รำข้าวโพด ถั่ว navy และเปลือกถั่วเหลือง เติมใน sugar snap cookies โดยการทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร พบว่าคุกกี้มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น สี ความชื้น การกระจายตัว และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ที่เติมแหล่งใยอาหารต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างกัน คุกกี้ที่เติมรำข้าวสาลี และรำข้าวโพด จะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าคุกกี้ที่เติมรำชนิดอื่น ๆ Artz และคณะ (1990) ใช้รำข้าวโพดที่ผ่านการเอกซ์ทรูดและไม่ผ่านเติมลงใน sugar – snap cookies โดยการทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 15 การเอกซ์ทรูดรำข้าวโพดเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของรำ ข้าวโพด ให้สามารถเติมในผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ผลการศึกษาพบว่าการเติมรำข้าวโพดทั้งสองแบบในคุกกี้ ทำให้สีของคุกกี้คล้ำขึ้น และผู้บริโภคสามารถรับรู้ความแตกต่าง ระหว่างคุกกี้ผสมรำข้าวโพดทั้งสองแบบจากชุดควบคุม

3. ขนมปัง Ranhotra และคณะ (1991) ทำการเพิ่มปริมาณใยอาหารในแป้งทำขนมปัง และแป้งทำแพนตรีโดยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่ความดันสูง มีผลทำให้สามารถเพิ่มปริมาณใยอาหารในแป้งเพิ่มขึ้น 3-4 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเปลี่ยนสภาพเป็น resistant starch ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายใยอาหาร เมื่อนำใยอาหารไปทดแทนแป้งในการทำคุกกี้ชอกโก

เลตชิบและคุกกี้ข้าวโอตใส่ลูกเกดพบว่า สามารถทดแทนได้ถึงร้อยละ 75 และ 50 ตามลำดับ โดยมีการยอมรับทั้งลักษณะปรากฏและคุณภาพทางประสาทสัมผัสอื่น ๆ

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพโดยการเสริมใยอาหารจากรำข้าว
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวพองเสริมใยอาหาร
3. เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้ประกอบการและผู้ที่สนใจทั่วไป

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

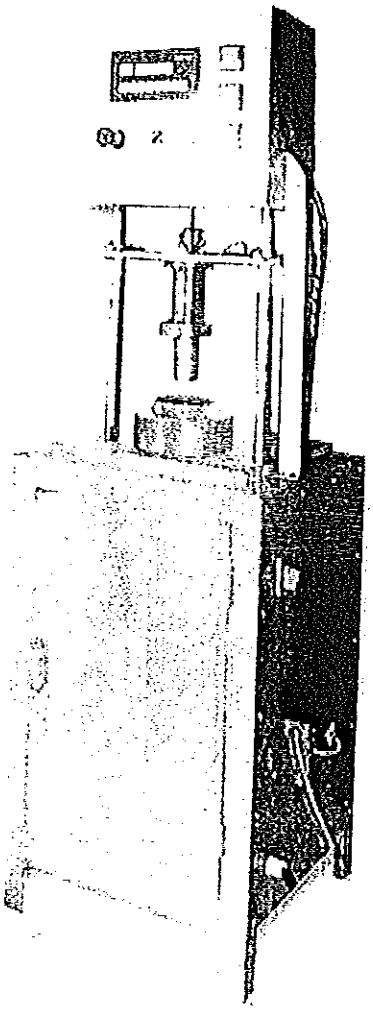
วัสดุ

1. รำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว จากบริษัทเบทาโกรอาหารสัตว์ ภาคใต้ (มหาชน) จำกัด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
2. ข้าวสารพันธุ์หอมมะลิ 105 จากบริษัทปทุมไรซ์มิลล์ แอนด์แกรนารี จำกัด จังหวัดปทุมธานี
3. บรรจุภัณฑ์ ถุงพลาสติกชนิดลามิเนตประกบ 2 ชั้นระหว่าง พอลีแอไมด์กับ พอลีเอทิลีน (PA/PA) จากบริษัทยูโรแพค จำกัด
4. สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ โปรตีน ไขมัน ปริมาณอะมิโลส ปริมาณใยอาหาร และค่าทีบีเอ
5. สารเคมีต่าง ๆที่ใช้ในการสกัดใยอาหาร

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ Mettler Delter รุ่น 350
2. เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Juki รุ่น JP 7100F
3. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XT 2i
4. ตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด
5. เครื่องบรรจุสุญญากาศ ยี่ห้อ Hankovac รุ่น 1000
6. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวีตี (Aw) ยี่ห้อ Novasina รุ่นTH 200
7. ชุดอุปกรณ์กวนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า
8. อ่างน้ำแบบคุมอุณหภูมิได้
9. เครื่องผลิตข้าวพอง (ภาพที่ 5) ประกอบด้วยพิมพ์ที่มีฮีตเตอร์ฝังอยู่ภายใน

10. ชุดเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า ใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ
11. ชุดอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส



ภาพที่ 5 เครื่องทำข้าวพอง

วิธีการทดลอง

1. วิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของรำข้าว

นำรำข้าวมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช เพื่อแยกสิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนออก วิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของรำข้าว ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า โดยวิธี A.O.A.C. (1990) วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยวิธีของ Lee และคณะ (1992)

2. การสกัดใยอาหารจากรำข้าว

นำรำข้าวที่ผ่านการร่อนมาทำการสกัดใยอาหารโดยวิธีดัดแปลงจาก Chou และคณะ (1990) ดังภาพที่ 6 โดยมีรายละเอียดดังนี้

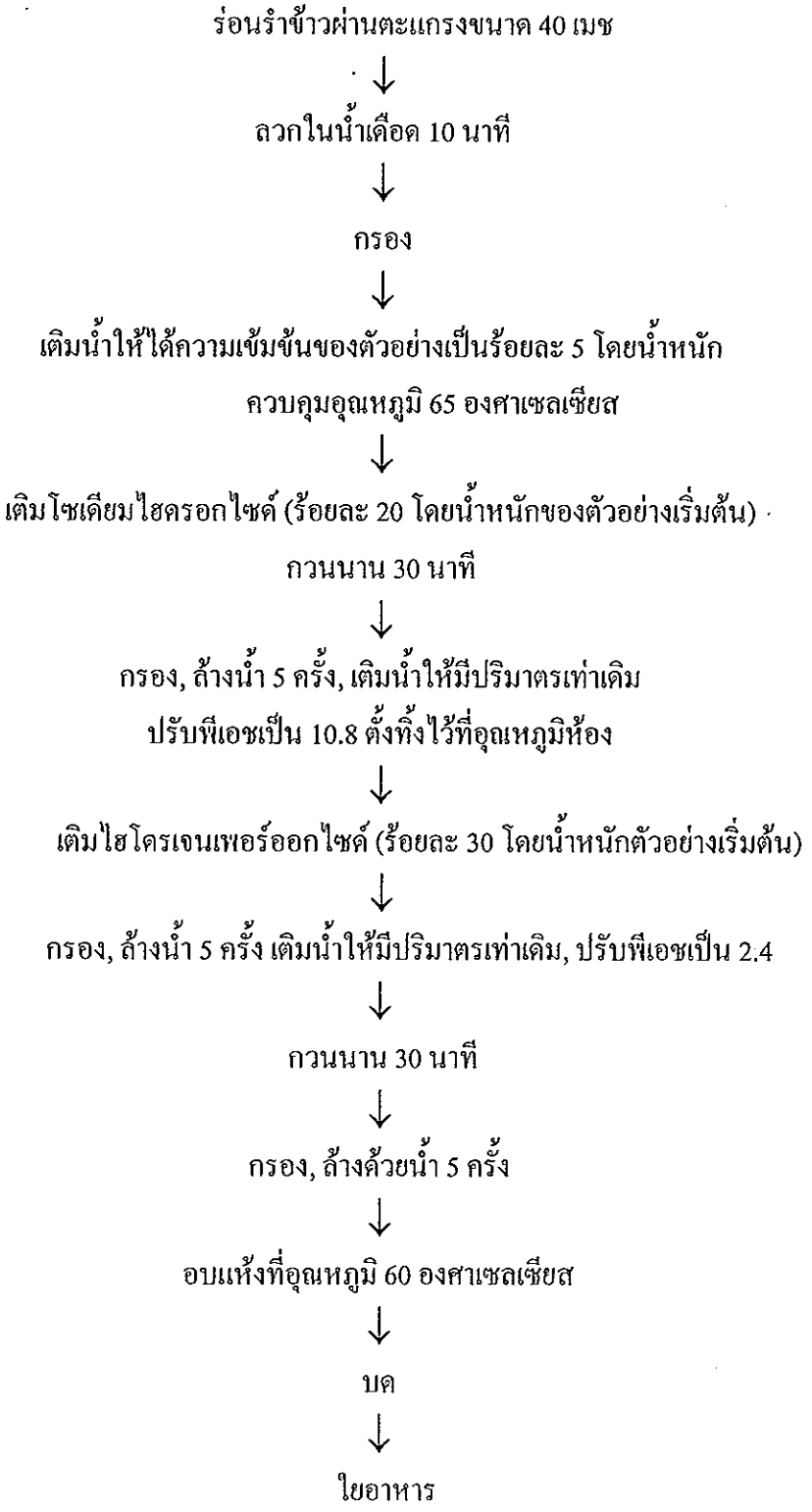
2.1 นำรำข้าวที่ผ่านการร่อนมาลวกในน้ำเดือด 10 นาที กวน ตลอดเวลา กรอง เติมน้ำให้ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก กวน และควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ของผสมมีความเข้มข้นร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น แช่นาน 30 นาที

2.2 กรองส่วนที่ละลายน้ำทิ้ง ล้างด้วยน้ำ 5 ครั้ง (ในแต่ละครั้งเติมน้ำให้มีปริมาตรเท่าเดิม กวน แล้วกรองน้ำทิ้ง)

2.3 เติมน้ำลงในตัวอย่างให้มีปริมาตรเท่าเดิม ปรับพีเอชของสารละลายตัวอย่างให้ได้ 10.8 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เติมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง เพื่อฟอกสี และกำจัดลิกนิน

2.4 กรองตัวอย่าง ล้างด้วยน้ำ 5 ครั้ง (ในแต่ละครั้งเติมน้ำให้มีปริมาตรเท่าเดิม กวน แล้วกรองน้ำทิ้ง) เติมน้ำให้มีปริมาตรเท่าเดิม ปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 2.4 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก กวนนาน 30 นาที กรอง ล้างด้วยน้ำ 5 ครั้ง อบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10

2.5 นำใยอาหารที่ได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช จะได้ใยอาหารจากรำข้าว



ภาพที่ 6 กระบวนการสกัดใยอาหารจากรำข้าว

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Chou และคณะ (1990)

2.6 วิเคราะห์คุณสมบัติของใยอาหารที่สกัดได้

นำใยอาหารที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณสมบัติดังนี้

2.6.1 คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยวิธีดัดแปลงของ Ning และคณะ (1991) และ วัดค่าสีในระบบ Hunter Lab เป็น tristimulus colorimeter ที่ใช้ filter-photodetector และแหล่งกำเนิดแสงที่มีเลนซ์และกระจกเงาที่ปล่อยแสงไปยังตัวอย่าง filter จะแปลงค่าเป็น L, a และ b

2.6.2 คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า โดยวิธี A.O.A.C. (1990) ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยวิธีของ Van Soest และWine (1967) และ วัดพีเอชโดยใช้เครื่องวัดพีเอช

3. หาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าว

3.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนาการของข้าว

นำข้าวสารพันธุ์หอมมะลิ 105 มาทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ด้วยวิธี A.O.A.C. (1990) และปริมาณอะมิโลส โดยวิธี Juliano (1971)

3.2 สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าว

นำข้าวสารพันธุ์หอมมะลิ 105 มาแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง สะเด็ดน้ำ นึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เมื่อเย็นแล้วใส่ในขวดพลาสติกปิดให้สนิท ปรับให้มีความชื้นร้อยละ 11,12, 13 ทำให้พองตัวโดยการนำข้าวนึ่ง 3.5 กรัม ใส่ในพิมพ์ของเครื่องทำข้าวพอง (ภาพที่ 5) ที่อุณหภูมิ 160, 170, 180 เป็นเวลา 5, 6 และ7 วินาที นำข้าวพองที่ได้มาวัดการพองตัวของข้าวโดยวิธีของ Hsieh และคณะ (1989) วัดค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่องวัดสี วัดความกรอบโดยวัดแรงกดที่ทำให้ชิ้นข้าวพองแตกหัก ด้วยเครื่อง Texture Analyzer เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial 3x3x3)ใน CRD มีทั้งหมด 27 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองทำ 8 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance และความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. ศึกษาเปอร์เซ็นต์ข้าวหักต่อความสามารถในการพองตัวของข้าว

4.1 วัดความยาว ความกว้าง และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของตัวอย่างข้าวสารพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักต่างกัน 5 ขนาด คือมีเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก 0, 5, 10, 15, 20 โดยใช้เวอร์เนีย

4.2 นำตัวอย่างข้าวมาทำให้เกิดการพองตัวด้วยวิธีการและสภาวะที่คัดเลือกได้จากข้อ 3จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรวจสอบเพื่อหาข้าวที่มีเปอรเซ็นต์หักที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง โดยวัดการพองตัวของข้าว โดยวิธี Hsieh และคณะ (1989) วัดค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่อง วัดสี วัดความกรอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer

วางแผนการทดลองแบบ CRD มีทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองทำ 8 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of Variance และความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.ศึกษาอัตราส่วนของใยอาหารที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหาร

5.1 นำข้าวสารที่มีเปอร์เซ็นต์หักที่คัดเลือกได้จากข้อ 4 มาแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง นึ่งด้วยไอน้ำ 15 นาที เติมใยอาหารร้อยละ 0, 0.5, 1, 1.5, และ 2 ของน้ำหนักข้าวสาร ผสมใยอาหารให้กระจายอย่างทั่วถึงในข้าว จากนั้นนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างข้าวที่เติมใยอาหารทำให้เกิดการพองตัวโดยเครื่องทำข้าวพองและใช้สภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้จากข้อ 3

5.2 ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมใยอาหารในด้านลักษณะการพองตัว สี กลิ่น ความกรอบ ความรู้สึกหลังการกลืนด้วย โดยวิธีการทดสอบแบบพรรณาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis : QDA) และความชอบรวมด้วยวิธี Hedonic scale แบบ 9 สเกล โดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกในห้องปฏิบัติการจำนวน 10 คน วางแผนการทดลองแบบ CRD มีทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง

5.3 นำข้าวพองเสริมใยอาหารที่ได้รับการยอมรับจากผู้ประเมินในห้องปฏิบัติการ มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คนในอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยออกแบบสอบถามเพื่อหาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ และข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภค

5.4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวพองเสริมใยอาหาร

5.4.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณความชื้น โดยวิธี A.O.A.C. (1990) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Aw) โดยใช้ Aw-meter วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยวิธีของ Lee และคณะ (1992)

5.4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่องวัดสี ความกรอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer การพองตัวของข้าวโดยวิธีของ Hsieh และคณะ (1989)

6.ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

นำผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารที่คัดเลือกได้มาเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ลามิเนต PA/PE ขนาด 6x10 นิ้ว บรรจุแบบสุญญากาศ ถุงละ 12 ชิ้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือน โดยมีการสุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพดังนี้

6.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในปัจจัย ความชื้น โดยวิธี A.O.A.C. (1990) ค่าทีบีเอตามวิธีของ Egan และคณะ (1981) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี โดยใช้ Aw-meter

6.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยวัดค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่องวัดสี วัดความกรอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer

6.3 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีทดสอบแบบ QDA ในปัจจัยคุณภาพสี กลิ่นผิดปกติ ความกรอบ ความรู้สึกหลังการกลืน และการยอมรับรวม โดยใช้วิธี Hedonic scale โดยใช้ผู้บริโภคที่ผ่านการฝึกจำนวน 10 คน

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. ส่วนประกอบทางโภชนาการของรำข้าวที่สกัดน้ำมันออกแล้ว

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 7 แสดงค่าปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Gnanasambandam และ Hettiarachchy (1995) ซึ่งรายงานว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้าเท่ากับร้อยละ 10.05, 13.32, 2.63 และ 11.87 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างรำข้าวมีปริมาณ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า เท่ากับร้อยละ 10.74, 16.37, 2.91 และ 13.87 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ นอกจากนี้ในรำข้าวประกอบด้วยปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 28.27, 26.43, และ 1.56 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ รำข้าวสามารถใช้เป็นแหล่งใยอาหารที่ดีได้ เนื่องจากมีปริมาณใยอาหารใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นิยมใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมใยอาหาร เช่น รำข้าวโอต (Lee, *et al.*, 1992) รำข้าวเจ้า (Hudson, *et al.*, 1992) รำข้าวสาลี (Ranhotra, *et al.*, 1990) และรำข้าวสาลี (เพลินใจ ตังคณะกุล, 2538) ซึ่งมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 18.28, 22.89, 44.03 และ 20.42 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบทางโภชนาการของรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง [1]
ความชื้น [2]	10.74 ± 0.48
โปรตีน	16.37 ± 0.10
ไขมัน	2.91 ± 0.09
เถ้า	13.87 ±0.03
ใยอาหารทั้งหมด	28.27 ± 0.28
- ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	26.43 ± 0.05
- ใยอาหารที่ละลายน้ำ	1.56 ± 0.01

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าเฉลี่ย 4 ซ้ำ)
[2] คิดจากน้ำหนักเปียก

2. สมบัติของใยอาหารที่สกัดได้

การสกัดใยอาหารจากรำข้าวสามารถทำได้โดยการลวกในน้ำร้อนเพื่อกำจัดแป้ง ใช้สารละลายโซดียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดโปรตีน หลังจากนั้นทำการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ใยอาหารที่สกัดได้มีสมบัติทางกายภาพและเคมีดังนี้

2.1 สมบัติทางกายภาพ

2.1.1 ค่าสี

ก่อนการวัดค่าสีของใยอาหาร นำใยอาหารมาบด และคัดขนาดที่ต่ำกว่า 40 เมช ใยอาหารที่ได้หลังการบด และคัดขนาดแล้ว มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ดังภาพที่ 7

การวัดค่าสีด้วยระบบ Hunter ค่า L จะเป็นค่าความสว่างเริ่มจากความสว่างน้อยที่สุดมีค่า L เป็น 0 จนกระทั่งความสว่างมากที่สุดที่มีค่า L เท่ากับ 100 ค่า a หมายถึงค่าสีแดงถึงค่าสีเขียว เมื่อค่า a เป็นบวกแสดงค่าของสีแดง ค่า a เป็น ลบแสดงค่าของสีเขียว ในขณะที่ค่าสี b เป็นค่าของสีเหลือง เมื่อค่า b เป็นบวก และเป็นค่าของสีน้ำเงินเมื่อค่า b เป็นลบ (Baker , *et al.*, 1988)

ผลของการวัดค่าสีของใยอาหารในระบบ Hunter พบว่ามีค่า L a และ b เท่ากับ 59.17, 2.03 และ15.89 ตามลำดับ (ภาพที่ 7) พบว่า ค่าความสว่างของใยอาหารมากกว่าค่าความสว่างของรำข้าวซึ่งมีค่า L, a และ b เท่ากับ 71.19, –0.18 และ 15.41 ตามลำดับ แสดงว่าใยอาหารมีความขาวมากขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการสกัด จากคุณสมบัติของใยอาหารที่ Hansen and Balle (1991) กล่าวไว้ว่า ลักษณะของใยอาหารที่ได้ควรมีสีขาว เนื่องจากนิยมใช้ในอาหารแทนแป้ง เช่น การทำขนมปัง หรือการทำคุกกี้ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการฟอกสี เพื่อมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลิตภัณฑ์

2.1.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำ

เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำ ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าใยอาหารสามารถจับกับน้ำได้ดี คือมีลักษณะเป็น hygroscopic กับน้ำ จากการทดลองพบว่าใยอาหารจากรำข้าวมีความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับ 6.02 กรัมต่อกรัมใยอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งใยอาหารอื่น ๆ พบว่ามีความสามารถในการดูดซับน้ำแตกต่างกัน เช่น รำข้าวเจ้า (เพลินใจ ตังคณะกูลและคณะ, 2538) รำข้าวโพด (Ning, *et al.*, 1991) รำข้าวโอต รำข้าวสาลี และใยอาหารจากแอปเปิล (Chen, *et al.*, 1988) มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับ 1.86, 2.94, 2.10, 5.03 และ 9.30 กรัมต่อกรัมใยอาหาร ตามลำดับ ความแตกต่างนี้น่าจะเกิดจากความแตกต่างของโครงสร้างและรูพรุนของผนังเซลล์ของแหล่งใยอาหารแต่ละชนิด โดยแหล่งใยอาหารที่มีโครงสร้างโมเลกุลของผนังเซลล์จับตัวกันแน่น หรือมีโครงสร้างของโมเลกุลยุบตัว และแหล่งใยอาหารที่ผนังเซลล์มีรูพรุนน้อย จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ (Chen, *et al.*, 1988 ; Gould, *et al.*, 1989 ; Jasberg, *et al.*, 1989 ; Ning, *et al.*, 1991)

2.2 คุณสมบัติทางเคมี

จากตารางที่ 8 พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของใยอาหารจากรำข้าวที่ผ่านกระบวนการสกัด เป็นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 84.36 โดยน้ำหนักแห้ง แบ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 82.85 และ 1.19 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับสารอาหารได้แก่ โปรตีนและ ไขมัน ร้อยละ 5.74 และ 0.31 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ นอกจากนี้ใยอาหารยังประกอบด้วย เถ้า เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในปริมาณร้อยละ 1.79, 36.95, 33.74 และ15.67 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับใยอาหารทางการค้า Fibrex ซึ่งมี

ปริมาณใยอาหารทั้งหมด โปรตีน ไขมัน เถ้า ลิกนิน และเซลลูโลสเท่ากับ ร้อยละ 81.11, 11.10 0.33, 3.3 - 4.4, 20 และ 44 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (รุ่งนภา ประกอบกิจ, 2538) ทั้งใยอาหารที่สกัดได้และใยอาหารทางการค้ามีค่าพีเอชเท่ากันคือ 4.5 จะเห็นได้ว่ารำข้าวมีปริมาณใยอาหารมากพอที่จะใช้เป็นแหล่งใยอาหารได้

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบทางโภชนาการของใยอาหารที่สกัดได้จากรำข้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง [1]
ความชื้น[2]	7.44 ± 0.11
โปรตีน	5.74 ± 0.20
ไขมัน	0.31 ± 0.06
เถ้า	1.79 ± 0.07
ใยอาหารทั้งหมด	84.36 ± 0.41
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	82.85 ± 0.54
- เซลลูโลส	36.95 ± 0.03
- เฮมิเซลลูโลส	33.74 ± 0.24
- ลิกนิน	15.67 ± 0.15
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	1.19 ± 0.55
พีเอช	4.5

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าเฉลี่ย 4 ซ้ำ)

[2] คิดจากน้ำหนักเปียก

ภาพที่ 7 รำข้าวและใยอาหารจากรำข้าว

3. การพองตัวของข้าว

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวหอมมะลิ 105

ข้าวหอมมะลิ 105 มีส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับ วิไลลักษณ์ กมลธรรม (2538) ซึ่งรายงานว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และอะมิโลส เท่ากับร้อยละ 12.76, 8.53, 0.35 และ14.98 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ สำหรับปริมาณโปรตีนซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่น้อยกว่า และปริมาณอะมิโลสให้ผลการวิเคราะห์ที่มากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมา

จากความแตกต่างของสภาพบรรยากาศ แหล่งที่ปลูก สภาพการบำรุงรักษา ทำให้องค์ประกอบทางเคมีที่ได้แตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบทางทางโภชนาการของข้าวหอมมะลิ

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง[1]
ความชื้น[2]	13.14 ± 0.04
โปรตีน	6.65 ± 0.11
ไขมัน	0.25 ± 0.06
เถ้า	0.25 ± 0.13
อะมิโลส	16.69 ± 0.34

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ค่าเฉลี่ย 4 ซ้ำ)
[2] คิดจากน้ำหนักเปียก

3.2 สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าว

นำข้าวหอมมะลิ มาผ่านกระบวนการผลิตข้าวพองด้วยเครื่องผลิตข้าวพอง (ภาพที่ 5) โดยเตรียมข้าวให้มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ13 ทำให้ข้าวพองตัวที่อุณหภูมิ 160,170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาทีนำข้าวพองที่ได้มาวัดการพองตัว ค่าสี และความกรอบ จากการทดลองให้ผลดังนี้

3.2.1 การพองตัวของข้าว

สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตข้าวพองโดยการใช้เครื่องผลิตข้าวพอง ตารางที่ 10 แสดงปริมาณการพองตัวของข้าวพองที่สภาวะต่าง ๆ พบว่า ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย คือ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตข้าวพองมีอิทธิพลต่อการพองตัวของข้าว พบว่าข้าวจะพองตัวได้ดีที่สุดเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองตัวที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที ซึ่งแตกต่างจากสภาวะอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ดังแสดงในตารางที่ 10 ปริมาณความชื้นเป็นอิทธิพลหลักที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว ผลของความชื้นและอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิและเวลา การพองตัวของข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5, 6 และ7 วินาที แสดงในภาพที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความชื้นของข้าวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11, 12 และ 13 การพองตัวจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความชื้นของข้าวเป็นปัจจัยหลักในข้าวที่มีความสัมพันธ์กับสภาวะที่ใช้ในการผลิตข้าวพอง Chinnaswamy and Bhattacharya (1983) รายงานว่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวพองโดยการคั่วกับทรายคือร้อยละ 10.5 และ Robert (1951) (อ้างโดย Chinnaswamy and Bhattacharya (1983)) รายงานว่าการผลิตข้าวพองโดยการทอดในน้ำมันและโดยการอบ ตัวอย่างข้าวควรมีความชื้นร้อยละ 8-14 และ8-9 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะใช้วิธีการในการทำข้าวพองต่างกันแต่ปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน ข้าวที่มีความชื้นต่ำ (ร้อยละ11) จะพองตัวได้น้อยเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ (160 องศาเซลเซียส) และเมื่อความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การพองตัวก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งให้น้ำในเมล็ดข้าวระเหยกลายเป็นไอเร็วขึ้น และเวลาที่นานขึ้นทำให้ปริมาณไอน้ำมีมากขึ้นส่งผลให้แรงดันที่ใช้ในการพองตัวของข้าวมีมาก (Huff, *et al.*, 1992) แต่ที่อุณหภูมิสูงมาก (180 องศาเซลเซียส) การพองตัวของข้าวลดลง เช่นเดียวกับเวลาที่ใช้ในการทำข้าวพอง กล่าวคือ แม้ข้าวจะพองตัวดีขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น แต่ถ้าเวลานานเกินไปการพองตัวของข้าวก็จะลดลง จำนวนไอน้ำที่เกิดขึ้นมีผลต่อการพองตัวของข้าว ไอน้ำจะทำให้เกิดแรงที่ใช้ในการทำให้เมล็ดข้าวพองตัว ปริมาณไอน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในข้าว เมื่อทำให้ร้อนในภาชนะที่ปิดสนิทน้ำจะกลายเป็นไอ และมีแรงดัน ถ้าปริมาณไอน้ำมาก แรงดันจะมีมากทำให้ข้าวพองตัวดี แต่ถ้าอุณหภูมิสูง และเวลานานเกินไปจะทำให้บริเวณรอบนอกของเมล็ดข้าวเกิดขอบแข็งและไหม้ทำให้น้ำภายในออกมาภายนอกได้น้อยลง การพองตัวของข้าวจึงน้อยลง (Huff, 1992) สอดคล้องกับรายงานของ Hsieh และคณะ (1989) การพองตัวของข้าวโดยการใช้ข้าวที่ผ่านการแช่น้ำและปรับความชื้น การพองตัวของข้าวมีผลมาจากคุณสมบัติการยืดหยุ่น (elasticity) ของแป้งในเมล็ดข้าว ที่อุณหภูมิสูงเวลานานแป้งจะมีคุณสมบัติการยืดหยุ่นที่ดีเหมาะต่อการพองตัวของข้าว แต่ถ้าอุณหภูมิสูงและเวลานานเกินไปแป้งจะสูญเสียคุณสมบัตินี้ทำให้การพองตัวลดลง

ตารางที่ 10 การพองตัวของข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ13 ที่อุณหภูมิ 160, 170 และ180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ7 วินาที

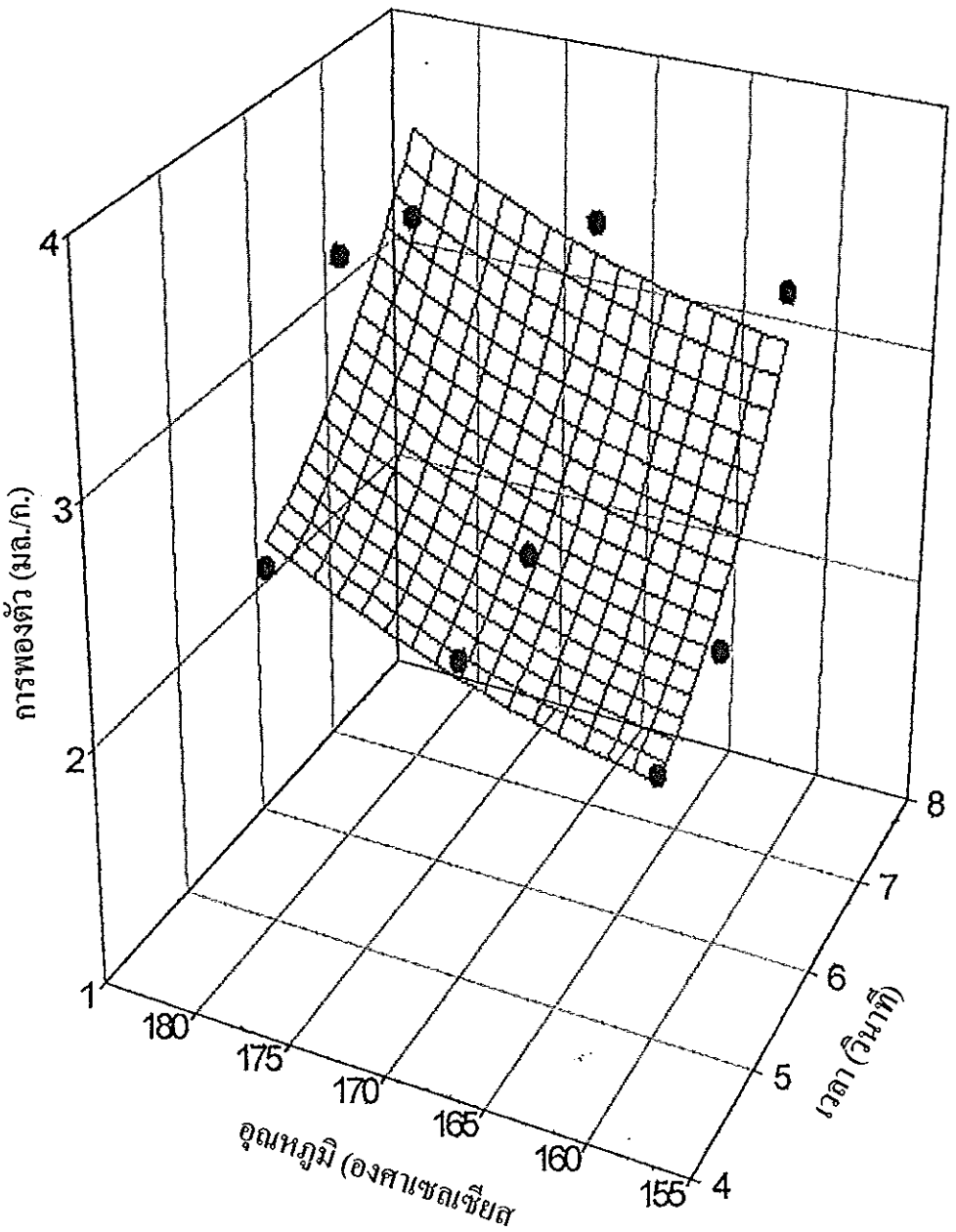
ความชื้น (ร้อยละ)	เวลา (วินาที)	การพองตัว (มล./ก.) ที่อุณหภูมิ		
		160 °ซ	170°ซ	180°ซ
11	5	2.11 p	2.35 n	2.53 m
	6	2.27 o	2.46 m	3.51 ij
	7	3.44 jk	3.56 hi	3.16 jk
12	5	2.98 l	2.45 m	3.69 fg
	6	3.40 k	3.64 gh	3.67 fg
	7	3.40 k	4.11 b	3.93 d
13	5	2.46 m	3.81 e	3.51 ij
	6	3.64 gh	4.40 a	3.99 cd
	7	3.55 I	4.03 c	3.75 ef

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a b c ...เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

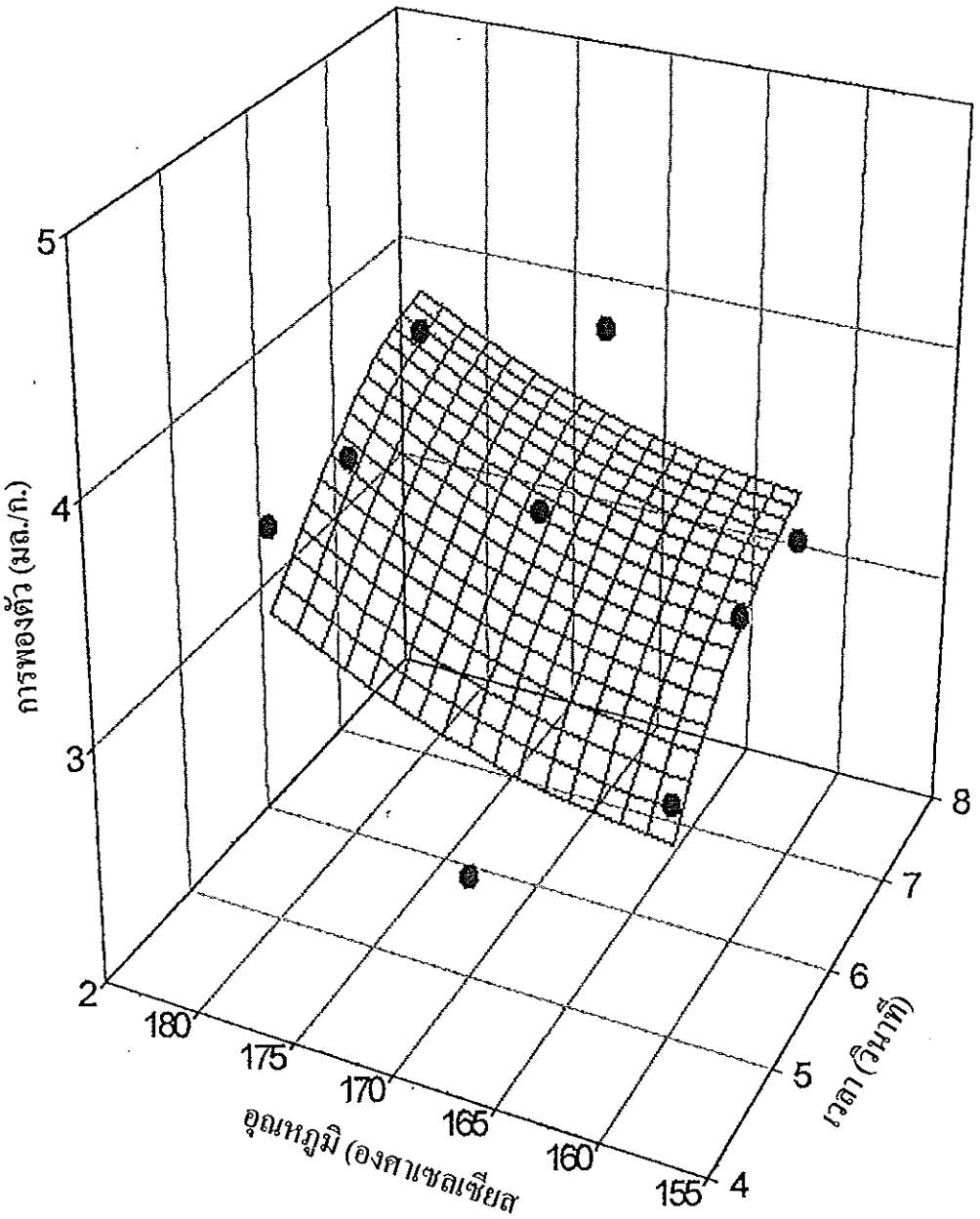
3.2.2 ค่าสี

สี เป็นลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง ในสภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีสีที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 11 และจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ ง.2) พบว่าความชื้นของข้าว อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ให้ความร้อนกับข้าวมีผลต่อค่าสีของข้าวพอง อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและอุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้น และอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่าสีของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P <0.05) โดยพบว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิต่ำและระยะเวลาสั้น เปรียบเทียบกับข้าวมีความชื้นสูงทำให้พองตัวที่อุณหภูมิสูงเวลานาน ค่า L ของผลิตภัณฑ์จะลดลง สภาวะที่ข้าวมีความชื้นต่ำ (ร้อยละ 11) ใช้อุณหภูมิต่ำ และระยะเวลาสั้น (160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5

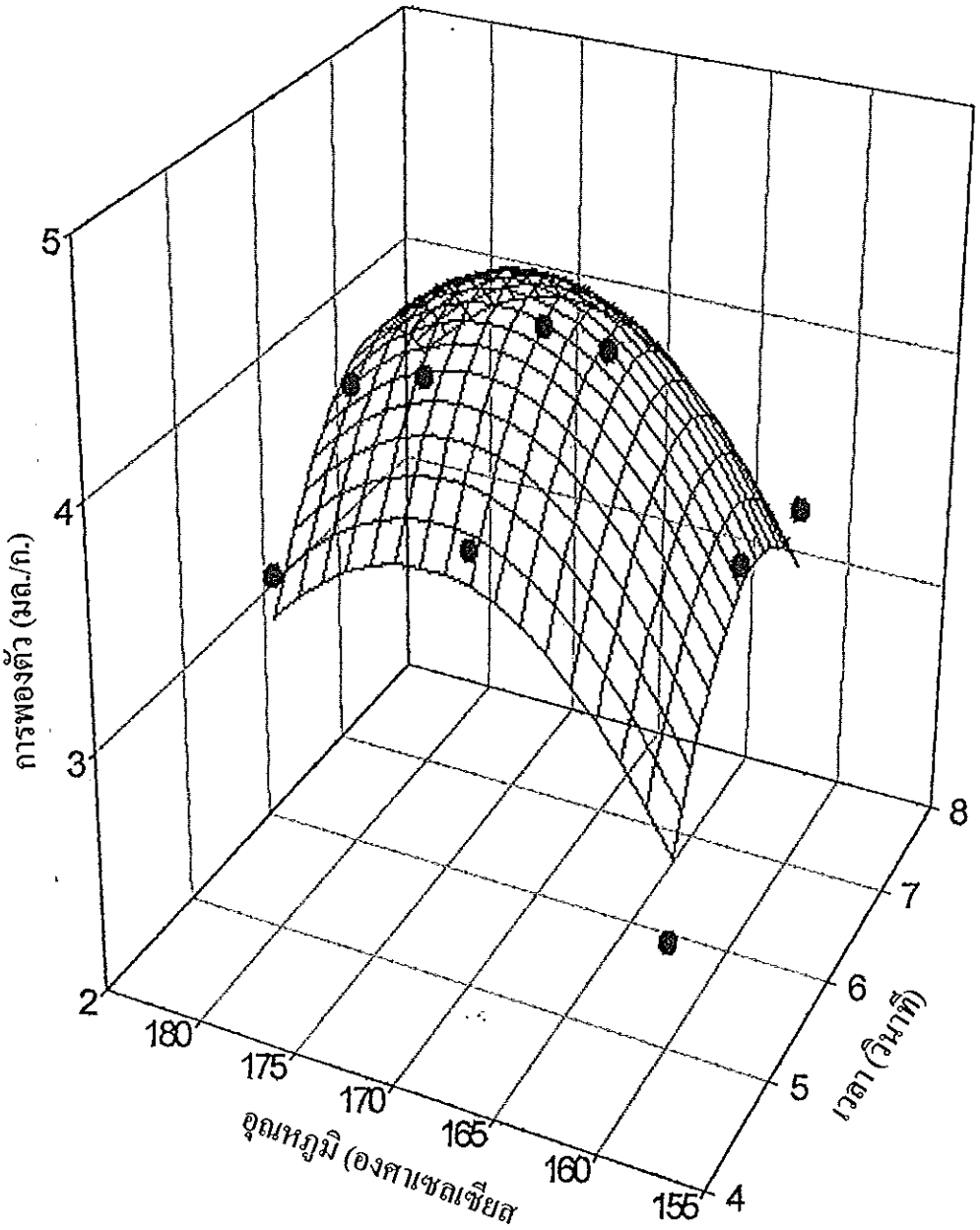
วินาที) และข้าวที่มีความชื้นสูง (ร้อยละ 13) ใช้อุณหภูมิสูงเวลานาน (180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วินาที) มีค่า L ต่ำกว่าสภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือมีค่า L เท่ากับ 77.4 และ 79.49 ตามลำดับ ส่วนสภาวะที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง (170 องศาเซลเซียส) ค่า L ของผลิตภัณฑ์จะใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงค่า L เท่ากับ 83.17-84.16 ค่า L ของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับ Huff และคณะ (1992) ซึ่งรายงานว่าการผลิตข้าวพองที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน จะทำให้ค่า L ของผลิตภัณฑ์ลดลงตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปและระยะเวลาที่นาน จะทำให้บริเวณรอบ ๆ เมล็ดข้าวได้รับความร้อนสูงทำให้ไหม้เกรียมและมีสีเข้ม เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Hsieh และคณะ (1989) ซึ่งใช้อุณหภูมิ 200, 210, 220 และ 230 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วินาทีในการผลิตข้าวพอง พบว่าค่า L ของผลิตภัณฑ์ลดลงตามลำดับคือมีค่า L เท่ากับ 73, 72, 69 และ 58 ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการผลิตนานขึ้นมากกว่า 5 วินาที พบว่าค่า L ของผลิตภัณฑ์จะลดลงตามระยะเวลาที่นานขึ้นทุกระดับอุณหภูมิ และพบว่าค่า L ของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับการพองตัว และจากการทดลองยังพบว่าค่า L ของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับการพองตัวของข้าว คือข้าวที่มีอัตราการพองตัวดีจะมีค่าความสว่างมาก และข้าวที่มีการพองตัวน้อยจะมีค่าความสว่างน้อย ในขณะที่การทดลองของ Huff และคณะ (1992) รายงานว่า ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีความสัมพันธ์กับอัตราการพองตัวของข้าวกล่าวคือข้าวที่มีการพองตัวดีจะมีค่า L ลดลง โดยพบว่าข้าวที่มีการพองตัว 7.31, 7.68 และ8.42 มล./ก. มีค่า L เท่ากับ 60.6, 58.7 และ 57.64 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการพองตัวของข้าว จะทำให้ภายในเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ดมีช่องว่างของอากาศเป็นจำนวนมาก ช่องว่างของอากาศจะทำให้เมล็ดข้าวมีความโปร่งเพิ่มขึ้น และทำให้ความสว่างในเมล็ดข้าวลดลง



ภาพที่ 8 การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 11 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที



ภาพที่ 9 การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 12 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที



ภาพที่ 10 การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที

ตารางที่ 11 ค่า L ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ13 ทำให้เกิดการพองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที

ความชื้น (ร้อยละ)	เวลา(วินาที)	ค่า L ที่อุณหภูมิ		
		160 °ซ	170°ซ	180°ซ
11	5	77.40 a	83.43 ij	81.61 efg
	6	80.60 cde	82.90 hij	81.53 efg
	7	82.47 ghi	84.02 jk	78.96 b
12	5	82.55 ghi	83.17 ij	81.90 fgh
	6	84.06 jk	83.44 ij	81.17 def
	7	83.93 jk	83.23 ij	80.67 de
13	5	80.08 bcd	83.37 ij	81.02 def
	6	83.65 ij	84.16 jk	79.49 bc
	7	82.94 hij	83.30 ij	79.99 bc

หมายเหตุ ตัวอักษร a b c ...ที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

3.2.3 ค่าความกรอบ

ความกรอบของข้าวพองวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยวัดแรงกดที่ทำให้ชิ้นข้าวพองแตก ถ้าแรงที่ใช้น้อยแสดงว่าข้าวพองมีความกรอบมาก ในขณะเดียวกันถ้าใช้แรงมากแสดงว่ามีความกรอบน้อย จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของข้าว อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต มีอิทธิพลต่อความกรอบของข้าวพอง อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของข้าวกับอุณหภูมิและระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตข้าวพอง มีผลต่อค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ ($P<0.05$) โดยพบว่า ตัวอย่างข้าวที่มีความชื้นสูง ใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมาก ความกรอบมีความสัมพันธ์กับอัตราการพองตัว กล่าวคือข้าวที่พองตัวดีจะมีความกรอบมาก สภาวะที่ข้าวพองมีความกรอบมากคือ สภาวะที่ข้าวมีความชื้นร้อย

ละ 13 ทำให้พองที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที และสภาวะที่ข้าวมีความชื้นร้อยละ 12 ทำให้พองที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วินาที มีค่าแรงเท่ากับ 3278 และ 3222 กรัม ตามลำดับ และในขณะเดียวกันสภาวะที่ใช้ข้าวความชื้นร้อยละ 11 ใช้อุณหภูมิในการผลิตต่ำเป็นระยะเวลาสั้น (160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที) ค่าแรงที่ใช้มากคือ เท่ากับ 8504 กรัม และสภาวะที่ใช้อุณหภูมิสูง (180 องศาเซลเซียส) ค่าแรงจะมากเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตข้าวพองที่อุณหภูมิต่ำเวลาสั้น เป็นสภาวะที่ข้าวมีการพองตัวได้น้อย ปริมาณน้ำยังคงหลงเหลืออยู่ในเมล็ดข้าว เนื่องจากน้ำระเหยกลายเป็นไอไม่หมด ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหนียวและนิ่ม เกาะติดกันเป็นแผ่นแน่น ปริมาณน้ำมีผลต่อคุณลักษณะในด้านความกรอบมาก โดยน้ำจะทำให้มีความยืดหยุ่น (plascizing) และนิ่ม (softening) (Katz and Labuza, 1981) ถ้ามีปริมาณน้ำอยู่มาก ทำให้ต้องใช้แรงมากในการทำให้ชิ้นข้าวพองแตกหัก จากผลการทดลองจะเห็นว่าความกรอบของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับการพองตัวของข้าว คือข้าวที่มีการพองตัวดีจะมีความกรอบมาก เนื่องจากการพองตัวของเมล็ดข้าวจะทำให้ภายในเมล็ดของข้าวมีความโปร่ง และมีความเป็นรูพรุนอยู่สูง ส่งผลให้ข้าวมีความกรอบ และเปราะ จึงใช้แรงน้อยในการทำให้แตกหัก

จากผลการศึกษาในด้าน การพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวพอง คือใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 13 ให้พองตัวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 วินาที จึงเลือกสภาวะนี้เพื่อใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 12 ค่าความกรอบ (แรง-กรัม) ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที

ความชื้น (ร้อยละ)	เวลา(วินาที)	ค่าความกรอบ (แรง-กรัม)ที่อุณหภูมิ		
		160 °ซ	170°ซ	180°ซ
11	5	8504 h	5636 e	5489 e
	6	7406 g	3695 ab	4606 cd
	7	3498 ab	3471 ab	4361 c
12	5	6424 f	3848 b	4865 d
	6	3431 b	3521 ab	5614 e
	7	3399 ab	3278 a	5340 e
13	5	7546 g	4657 cd	5478 e
	6	5351 e	3222 a	5659 e
	7	4656 cd	3543 ab	5788 e

หมายเหตุ ตัวอักษร a b c ...ที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

4 ผลของเปอร์เซ็นต์ข้าวหักต่อการพองตัวของข้าว

นำข้าวหอมมะลิ ที่มีเปอร์เซ็นต์หัก 5 ระดับคือ ข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 มาวัดความยาว ความกว้าง และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าว พบว่า เมื่อเมล็ดข้าวมีเปอร์เซ็นต์หักมากขึ้น จะมีความยาว และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างลดลงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ความยาว, ความกว้าง และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวที่เปอร์เซ็นต์หักต่าง ๆ

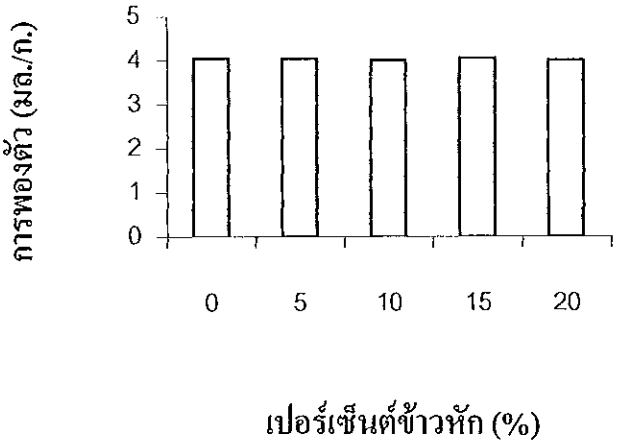
เปอร์เซนต์หักของข้าว	ความยาว (มม.)[1]	ความกว้าง (มม.)[1]	อัตราส่วนความยาว/ความกว้าง (มม.)[1]
0	7.037	1.942	3.632
5	6.792	1.979	3.432
10	6.351	1.960	3.240
15	6.117	1.914	3.196
20	5.939	1.970	3.015

หมายเหตุ [1] ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างข้าว 20 เมล็ด

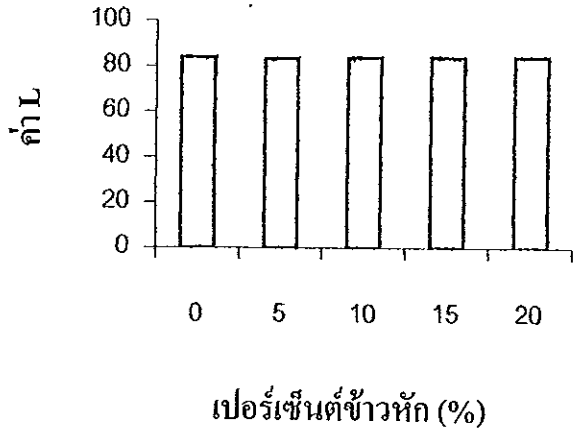
4.2 ผลของเปอร์เซ็นต์หักของข้าวต่อการพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

นำข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักทั้ง 5 ระดับ มาผ่านกระบวนการผลิตข้าวพองโดยใช้ข้าวนึ่งที่ผ่านการปรับความชื้นให้มีความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที นำข้าวพองที่ได้มาวัดการพองตัว ค่าสี และค่าความกรอบ จากผลการทดลองในตารางที่ 14 และการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักทุกระดับไม่มีความแตกต่างกันในด้านการพองตัว ค่าสี และค่าความกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่ Chinnaswany และ Bhattacharya (1983) รายงานว่าการแตก หรือหักของข้าวจะทำให้อัตราการพองตัวของข้าวลดลง เนื่องจากไอน้ำที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดข้าวจะแทรกผ่านได้ทางรอยแตกของเมล็ดข้าว ทำให้ความดันที่ใช้ในการพองตัวของข้าวมีน้อยลง ข้าวจึงพองตัวได้น้อย โดยที่ข้าวเต็มเมล็ดมีอัตราการพองตัวเท่ากับ 7.3 เท่า และเมล็ดที่แตกมีอัตราการพองตัวลดลงเหลือ 5.3 เท่า ในการทดลองครั้งนี้ เป็นการผลิตข้าวพองโดยใช้เครื่องทำข้าวพอง ซึ่งประกอบด้วยพิมพ์ที่ปิดสนิท เมล็ดข้าวได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อนที่ฝังอยู่ในพิมพ์ทั้ง 3 ด้าน คือด้านบน ด้านล่าง

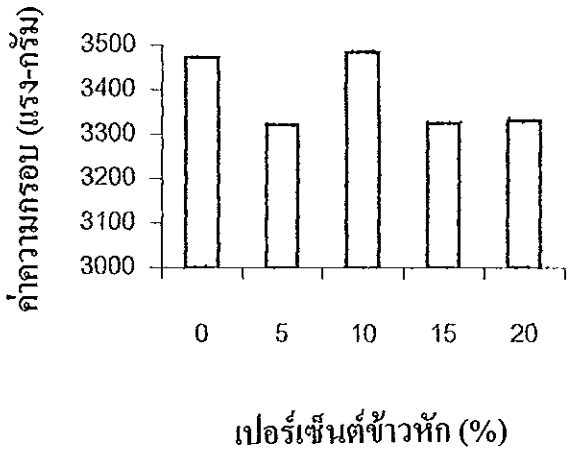
และด้านข้าง พร้อม ๆ กันในระยะเวลาสั้น ทำให้โอกาสที่จะมีการสูญเสียไอน้ำออกไปมีน้อยมาก และเมื่อเคลื่อนพิมพ์ออกจากกันจะทำอย่างรวดเร็ว ไอน้ำที่ถูกกักอยู่ในเมล็ดข้าวจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างทันทีทันใดพร้อม ๆ กัน ส่งผลให้การพองตัวของข้าว (ภาพที่ 11) ค่า L (ภาพที่ 12) และค่าความกรอบ (ภาพที่ 13)ไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าข้าวจะมีเปอร์เซ็นต์หักที่ต่างกัน ทั้งนี้เพราะมีปริมาณความชื้นเท่ากัน และถูกกักอยู่ในภาชนะที่ปิดสนิทเช่นเดียวกัน จึงทำให้การพองตัวของข้าวไม่แตกต่างกัน และ Chandrasekhar และ Chatopadhyay (1991) กล่าวว่าการแตกหักที่เกิดจากการสีข้าว ไม่มีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าว แต่ระดับในการสีข้าวมีผลต่อปริมาณรำที่หุ้มรอบ ๆ เมล็ดข้าว โดยรำข้าวจะขัดขวางการปลดปล่อยความดันไอของน้ำภายในเมล็ดข้าว ในขณะที่พองตัว



ภาพที่ 11 การพองตัวของข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซนต์หัก 5 ระดับ



ภาพที่ 12 ค่า L ของข้าวพองที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซนต์หัก 5 ระดับ



ภาพที่ 13 ค่าความกรอบ(แรง-กรัม) ของข้าวพองที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซนต์หัก 5 ระดับ

5. อัตราส่วนของใยอาหารที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหาร

5.1 ผลของปริมาณใยอาหารที่มีต่อคุณภาพข้าวพอง

ใช้ข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักร้อยละ 20 มาทำการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหาร โดยเติมใยอาหารในอัตราส่วนร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าว พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มขึ้นตามปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 14 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบแบบ QDA ประเมินคุณลักษณะทางด้านการพองตัวของข้าว สี ความกรอบ ความรู้สึกหลังการกลืน และความชอบรวมด้วยใช้วิธี Hedonic 9 scale (ตารางภาคผนวก ค.1) ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 14

ลักษณะการพองตัวของเมล็ดข้าว พิจารณาถึงความสม่ำเสมอของการพองตัวของเมล็ดข้าวและจำนวนเมล็ดข้าวที่ไม่พองตัว พบว่าปริมาณใยอาหารที่เติมมีผลต่อการพองตัวของเมล็ดข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือเมื่อเติมใยอาหารมากขึ้นผู้ทดสอบชิมจะให้คะแนนน้อยลง แต่การเติมใยอาหารร้อยละ 1.5 ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม และค่าการพองตัวของข้าวพองที่วัดได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 15) การเติมใยอาหารร้อยละ 2.0 แตกต่างจากระดับการเติมใยอาหารอื่น ๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณใยอาหารที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลถึงความสามารถในการเกาะติดกันเป็นแผ่นของข้าวพอง กล่าวคือเมื่อปริมาณใยอาหารเพิ่มมากขึ้นเมล็ดข้าวบริเวณขอบของข้าวพองจะเปราะหัก และหลุดง่าย ทำให้แผ่นข้าวพองที่ได้ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากใยอาหารจากรำข้าวมีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลสซึ่งโมเลกุลยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกว่าอะมิโลสในแป้ง โดยโมเลกุลของเซลลูโลสจะรวมตัวกันเป็นเส้นใย และมีลักษณะเป็นผลึกที่ไม่ละลายน้ำ (Stauffer,1993) อาจจะขัดขวางการเชื่อมเกาะกันของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ด

สี ข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 2.0 ของน้ำหนักข้าวมีคะแนนเท่ากับ 2.17 สูงกว่าข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 1.06, 1.16, 1.49 และ 1.89 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) สอดคล้องกับผลการวัดค่า L ด้วยเครื่องวัดสี (ตารางที่ 15) ข้าวพองจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อเติมใยอาหารมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากใยอาหารมีสีเหลืองอ่อน เมื่อเติมใยอาหารลงในข้าวจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ

Artz และคณะ (1990) ได้ทดลองเติมรำธัญพืชต่าง ๆเช่น รำข้าวโพด รำข้าวสาลี รำข้าวโอต ในผลิตภัณฑ์คุกกี้พบว่า สีของผลิตภัณฑ์คุกกี้มีค่า L ลดลง

กลิ่นหอมของข้าว เมื่อเติมใยอาหารมากขึ้น พบว่าผู้ประเมินให้คะแนนกลิ่นหอมของข้าวลดลง ข้าวพองที่ไม่เติมใยอาหารมีคะแนนเท่ากับ 0.89 สูงกว่าข้าวพองที่เติมใยอาหารทั้ง 4 ระดับคือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ซึ่งมีคะแนน 0.84, 0.81, 0.76 และ 0.64 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่าข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 0, 1.0, 1.5 มีคะแนนกลิ่นหอมของข้าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P> 0.05$) ในข้าวหอมมะลิมีสารให้กลิ่นหอมของข้าวคือ 2-acetyl-1-pyrroline อยู่ประมาณ 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม เป็นสารที่ระเหยได้ง่าย (Lin, *et al.*, 1990) จึงทำให้กลิ่นหอมของข้าวลดลง ประกอบกับใยอาหารที่เติมเป็นใยอาหารที่สกัดจากรำข้าว ซึ่งยังคงมีกลิ่นของรำข้าวอยู่ เมื่อเติมในข้าวพองจะไปบดบังกลิ่นหอมของข้าว ทำให้ผู้ประเมินกลิ่นหอมของข้าวลดลง

ความกรอบ พบว่าปริมาณใยอาหารที่เติม ไม่มีผลต่อค่าความกรอบของข้าวพองที่เติมใยอาหารในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับการวัดค่าความกรอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer ตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่า ใยอาหารที่เติมไม่มีผลต่อความกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คะแนนความกรอบสอดคล้องกับการพองตัวของข้าว คือข้าวมีการพองตัวไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกับความกรอบ ปริมาณใยอาหารที่เติมลงไปไม่มีผลต่อแรงที่ใช้ในการขบเคี้ยว และแรงที่ทำให้ชิ้นข้าวพองแตกหัก

ความรู้สึกหลังการกลืน ผู้ประเมินสามารถรับรู้ความรู้สึกเป็นผงเล็ก ๆ ระคายคอค้างบริเวณลิ้น และลำคอภายหลังการกลืนเพิ่มขึ้น เมื่อมีใยอาหารในข้าวพองเพิ่มขึ้น โดยพบว่าข้าวพองที่ไม่เติมใยอาหารมีคะแนน 0.99 ไม่แตกต่างจากข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 1.12, 1.22 และ 1.25 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 2 มีคะแนนเท่ากับ 1.40 สอดคล้องกับผลการทดลองของรุ่งนภา ประกอบกิจ (2538) ซึ่งเมื่อเติมใยอาหารที่สกัดจากเปลือกโกโก้ลงในผลิตภัณฑ์คุกกี้มากขึ้นผู้ทดสอบมีความรู้สึกหยาบ และเป็นผงภายในปาก และลำคอภายหลังการกลืนเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากเถ้าที่ยังเหลืออยู่ในใยอาหาร (Chou *et al.*, 1990 ; Pomeranz, *et al.*, 1977)

ความชอบรวม เมื่อเติมใยอาหารมากขึ้นคะแนนที่ได้น้อยลง ผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์น้อยลง ข้าวพองที่ไม่เติมใยอาหารมีคะแนนสูงสุดคือ 7.2 ไม่แตกต่างจากข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 ซึ่งมีคะแนน 7.12 , 7.10, 6.90 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 2 มีคะแนน 5.4 แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คะแนนด้านการยอมรับรวมเป็นผลมาจากคะแนนด้านการพองตัว ความกรอบ ส่วนคะแนนการไม่ยอมรับ สี กลิ่นหอมของข้าว และความรู้สึกหลังการกลืน อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับรวมของข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 1.5 ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ดังนั้นจึงเลือกเติมใยอาหารในข้าวพองในปริมาณร้อยละ 1.5 ในการผลิตข้าวพองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 14 คะแนนเฉลี่ยของปัจจัยคุณภาพของข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าวที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธีทดสอบแบบ QDA

คะแนนการชิม	คะแนนเฉลี่ยข้าวพองที่เติมใยอาหาร (ร้อยละ)				
	0	0.5	1.0	1.5	2.0
ลักษณะการพองตัวของเมล็ดข้าว	0.88 b	0.86 b	0.83 b	0.82 b	0.76 a
สี	1.06 a	1.16 a	1.48 b	1.89 c	2.17 d
กลิ่นหอมของข้าว	0.89 c	0.84 b	0.81 b	0.76 ab	0.64 a
ความกรอบ	0.93 a	0.93 a	0.92 a	0.92 a	0.93 a
ความรู้สึกหลังการกลืน	0.99 a	1.12 ab	1.22 ab	1.25 bc	1.40 c
ความชอบรวม	7.20 b	7.10 b	7.10 b	6.90 b	5.40 a

หมายเหตุ ; ตัวอักษร a, b, c ที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 15 ค่าการพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

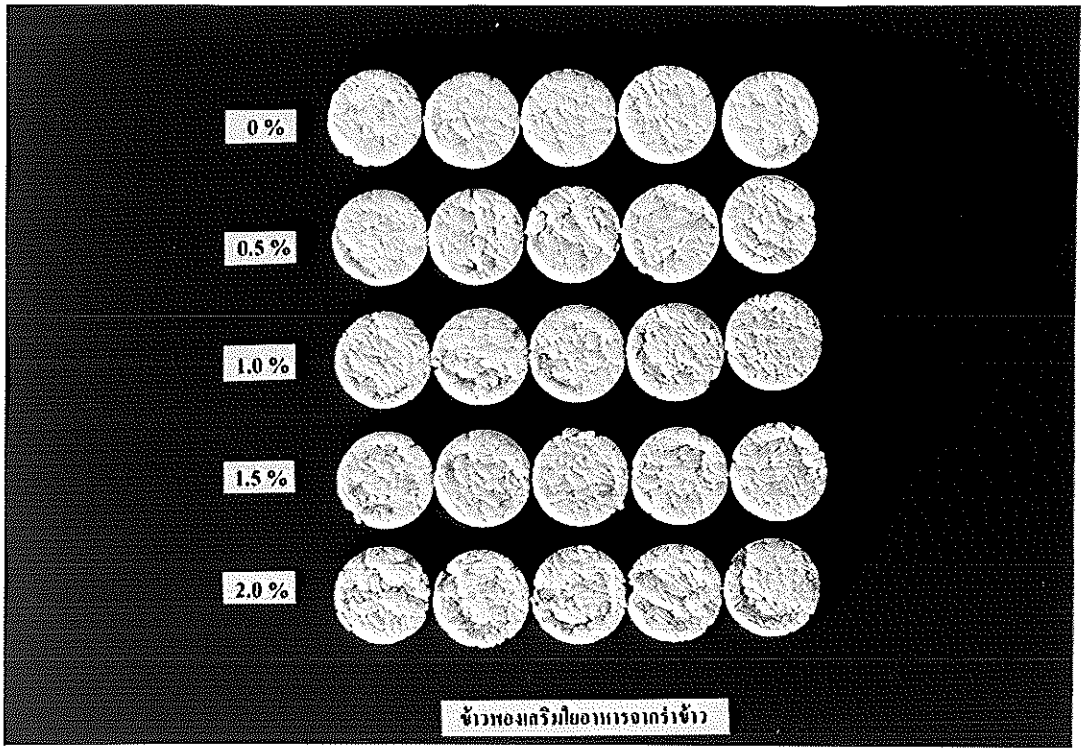
ร้อยละของใยอาหาร	การพองตัว(มล./ก.)	ค่า L	ค่าความกรอบ (แรง-กรัม)
0	4.28 a	84.76 d	3450 a
0.5	4.28 a	82.73 c	3421 a
1	4.26 a	80.49 b	3484 a
1.5	4.26 a	78.99 ab	3324 a
2	4.30 a	77.69 a	3396 a

หมายเหตุ ตัวอักษร ที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

5.2 การสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าวร้อยละ 1.5

5.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

นำข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในเขตเทศบาลเมือง จ.สงขลา จำนวน 100 คน โดยทำการสอบถามเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ และข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคข้าวพอง รายละเอียดแบบสอบถามแสดงในภาคผนวก ค.2



ภาพที่ 14 ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารในปริมาณร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2

ลักษณะของผู้ตอบแบบสอบถาม

ลักษณะของผู้ตอบจำนวน 100 คน ประกอบด้วยร้อยละ 70 มีอายุ 26-40 ปี ร้อยละ 68 มีการศึกษาระดับปริญญาตรี มีรายได้อยู่ในช่วง 6,000-10,000 บาท ถึงร้อยละ 48 ประกอบด้วยอาชีพลูกจ้างร้อยละ 50 (ตารางที่16)

5.2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้าวพองและใยอาหาร

ผู้บริโภคร้อยละ 96 รู้จักและเคยรับประทานข้าวพอง โดยพบว่าผู้บริโภคร้อยละ 66 เคยรับประทานข้าวพองที่ทำจากข้าวเหนียวทอด และร้อยละ 24 เคยรับประทานข้าวพองรังเล็ด ผู้บริโภคร้อยละ 76 รู้จักใยอาหารและร้อยละ 70 เคยรับประทานใยอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่มีใยอาหารเป็นส่วนประกอบ โดยผู้บริโภคร้อยละ 48 คิดว่าใยอาหารมีประโยชน์ในการช่วยให้ระบบขับถ่ายเป็นปกติ ร้อยละ 22 คิดว่าใยอาหารช่วยลดความอ้วน และร้อยละ 14 คิดว่ารับประทานแล้วช่วยลดไขมัน (ตารางที่ 17)

5.2.3 ทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคข้าวพอง

เมื่อให้ผู้บริโภคทดสอบชิมข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 แล้วให้คะแนนความชอบแก่ผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้บริโภคร้อยละ 18 มีความชอบมากที่สุด ร้อยละ 38 รู้สึกชอบเล็กน้อย ร้อยละ 42 รู้สึกเฉย ๆ และร้อยละ 2 มีความรู้สึกไม่ชอบเล็กน้อย นอกจากนี้พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ร้อยละ 32 ชอบข้าวพองเพราะว่า มีความกรอบ ร้อยละ 30 ชอบข้าวพองเพราะคิดว่ามีคุณค่าทางโภชนาการ ส่วนความรู้สึกไม่ชอบข้าวพองมีสาเหตุเนื่องจากไม่มีรสชาติ ถึงร้อยละ 42 และไม่คุ้นเคยร้อยละ 20 ผู้บริโภคส่วนใหญ่ร้อยละ 54 คิดว่าจะรับประทานข้าวพองเพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพ และรับประทานเป็นของว่างร้อยละ 27 ผู้บริโภคนิยมรับประทานข้าวพองโดยทาน้ำพริกเผามากที่สุดคือร้อยละ 64 รองลงมาคือทาแยม และอื่น ๆ ร้อยละ 12 ผู้บริโภคร้อยละ 68 ซื้อผลิตภัณฑ์ถ้ามีวางจำหน่าย และซื้อเนื่องจากคุณค่าทางโภชนาการถึงร้อยละ 46 รองลงมาคือ ซื้อเนื่องจากความสะดวกในการบริโภค ลักษณะของการจัดจำหน่ายที่ต้องการคือบรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศร้อยละ 52 (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 16 ข้อมูลประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคในเขต อ.เมือง จ.สงขลา จำนวน 100 คน

ข้อมูล		ผู้บริโภคทั่วไป (ร้อยละ)
เพศ		
	ชาย	40
	หญิง	60
อายุ		
	15-20 ปี	12
	21-25 ปี	10
	26-30 ปี	20
	31-35 ปี	20
	35-40 ปี	18
	มากกว่า 40 ปี	20
รายได้ต่อเดือน		
	4000-6000	24
	6000-10000	24
	10000-15000	24
	15000-30000	20
	มากกว่า 30000	8
อาชีพ		
	นักศึกษา	8
	ข้าราชการ	18
	ลูกจ้าง	50
	แม่บ้าน	6
	อื่น ๆ	12

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ข้อมูล	ผู้บริโภคทั่วไป (ร้อยละ)
ระดับการศึกษา	
ม.3	0
ม.6 หรือ ปวช.	12
ปวส. หรืออนุปริญญา	20
ปริญญาตรีขึ้นไป	68

ตารางที่ 17 ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตภัณฑ์ข้าวพองและใยอาหารของผู้บริโภคใน อ. เมือง จ.สงขลา จำนวน 100 คนผู้บริโภค

ข้อมูล	ผู้บริโภคทั่วไป (ร้อยละ)
รู้จักผลิตภัณฑ์ข้าวพองหรือไม่	
รู้จัก	96
ไม่รู้จัก	4
อื่น ๆ	0
เคยรับประทานข้าวพองหรือไม่	
เคย	94
ไม่เคย	4
อื่น ๆ	0

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ข้อมูล	ผู้บริโภคทั่วไป (ร้อยละ)
ลักษณะข้าวพองที่เคยรับประทาน	
ข้าวพองทำจากข้าวเหนียวทอด	66
ข้าวพองชนิดแท่ง	4
ขนมรังเล็ด	24
ข้าวพองไขมันต่ำ	3
อื่น ๆ	3
รู้จักใยอาหารหรือไม่	
รู้จัก	76
ไม่รู้จัก	24
อื่น ๆ	0
เคยบริโภคใยอาหารหรืออาหารที่มีใยอาหารเป็นส่วนประกอบหรือไม่	
เคย	70
ไม่เคย	28
อื่น ๆ	2

ตารางที่ 18 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคข้าวพองเสริมใยอาหาร ของผู้บริโภคในเขต อ.เมือง จ.สงขลา

ข้อมูล	ผู้บริโภคทั่วไป (ร้อยละ)
ความชอบข้าวพองเสริมใยอาหาร	
ชอบมาก	18
ชอบเล็กน้อย	38
เฉย ๆ	42
ไม่ชอบเล็กน้อย	4
ไม่ชอบมาก	0
ชอบผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพราะ	
อร่อย	6
กรอบ	32
มีคุณค่าทางโภชนาการ	30
สะดวกในการบริโภค	22
อื่น ๆ	10
สาเหตุที่ไม่ชอบผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหาร	
ไม่คุ้นเคย	34
ไม่มีรสชาติ	42
กลิ่นรสผิดปกติ	16
อื่น ๆ	8

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ข้อมูล	ผู้บริโภคทั่วไป (ร้อยละ)
ลักษณะการบริโภคข้าวพอง	
อาหารเช้า	8
อาหารว่าง	36
อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ	54
อื่น ๆ	2
รูปแบบการบริโภคข้าวพอง	
ทาเนย	10
ทาแยม	12
ทาน้ำพริกเผา	64
อื่น ๆ	14
ซื้อหรือไม่ถ้ามีวางขายในท้องตลาด	
ซื้อ	68
ไม่ซื้อ	16
อื่น ๆ	16
สาเหตุที่ซื้อข้าวพองเสริมใยอาหาร	
รสชาติ	12
คุณค่าทางโภชนาการ	46
ความสะดวกในการบริโภค	30
อื่น ๆ	12

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ข้อมูล	ผู้บริโภคทั่วไป (ร้อยละ)
ลักษณะการจัดจำหน่ายที่ต้องการ	
บรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ	52
บรรจุในกระป๋อง	10
บรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศและกล่องกระดาษ	28
อื่น ๆ	10

5.3 คุณสมบัติของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5

จากตารางที่ 15 พบว่าข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 มีคุณสมบัติทางด้านกายภาพในด้านการพองตัว และความกรอบใกล้เคียงกัน ส่วนค่า L ของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 เท่ากับ 78.98 ซึ่งเข้มกว่าข้าวพองธรรมดาที่ไม่เติมใยอาหารซึ่งมีค่า L เท่ากับ 84.16 ส่วนคุณสมบัติในด้านเคมีข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหารมีค่าความชื้นและค่า Aw ใกล้เคียงกัน ค่าความชื้นที่ได้ใกล้เคียงกับรายงานของ Baker และ Holden (1992) คือร้อยละ 7.1 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณใยอาหารทั้งหมดในข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหาร เท่ากับร้อยละ 0.13 และ 4.57 โดยน้ำหนักแห้ง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเป็นข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 พบว่ามีปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2.85 และนอกจากนี้ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารมีปริมาณใยอาหารมากกว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองชนิดอื่นที่จำหน่ายในท้องตลาด เช่น ผลิตภัณฑ์ข้าวพองของบริษัท Quaker มีเส้นใยในรูปของ NDF (Neutral Detergent Fiber) เท่ากับร้อยละ 0 (Baker and Holden ,1992) และผลิตภัณฑ์ข้าวพองเคลือบโกโก้ของบริษัทแคลลอกมีใยอาหารร้อยละ 0 เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 19 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5

คุณสมบัติ	ข้าวพอง	ข้าวพองเสริมใยอาหาร ร้อยละ1.5
ด้านกายภาพ		
การพองตัว (มล./ก.)	4.40	4.40
ค่า L	84.96	78.98
ความกรอบ (กรัม)	3370	3305
ด้านเคมี		
ความชื้น [1]	7.69	7.65
Aw	0.445	0.447
ใยอาหารทั้งหมด [2]	1.72	4.57
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ [2]	-	4.09
ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ [2]	-	0.97

หมายเหตุ [1] ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

[2] คิดจากน้ำหนักเปียก

6.การเปลี่ยนแปลงของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าวร้อยละ 1.5 ในถุงพลาสติกลามิเนตระหว่าง PA/PE บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 9 สัปดาห์ ทำการประเมินคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสทุก ๆ 7 วัน ได้ผลดังนี้คือ

6.1 คุณภาพทางเคมี

ข้าวพองที่บรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าคุณภาพทางเคมีของข้าวพองมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 15

6.1.1 ปริมาณความชื้น

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหาร พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นในระดับต่ำกว่าความชื้นในบรรยากาศจึงมีโอกาสดูดความชื้นจากภายในเข้าไปโดยเฉพาะในที่อุณหภูมิสูง (Labuza, 1982) และถุงพลาสติกแม้ว่าจะมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ไอน้ำก็ยังมีโอกาสผ่านเข้าไปได้บ้าง ปริมาณความชื้นของข้าวพองเสริมใยอาหารที่เก็บรักษาจนถึงสัปดาห์ที่ 9 จึงมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9.4 อาจเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความกรอบ

6.1.2 ค่า Aw

การเปลี่ยนแปลงค่า Aw ของข้าวพองที่เก็บรักษา พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่า Aw อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) กล่าวคือค่า Aw ของผลิตภัณฑ์วันที่ 0 มีค่า 0.44 หลังจากนั้น ค่า Aw มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจนถึงสัปดาห์สุดท้าย Aw มีค่าเท่ากับ 0.61

6.1.3 ค่าทีบีเอ

การเปลี่ยนแปลงค่าทีบีเอของข้าวพองเสริมใยอาหารระหว่างการเก็บรักษาพบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าทีบีเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งสัปดาห์ที่ 1 มีค่าทีบีเอเท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมมาโลอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าทีบีเอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากในข้าว และรำข้าวซึ่งวัตถุดิบหลักในการผลิตยังคงมีไขมันอยู่บ้าง เมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตข้าวพองที่ใช้ความร้อนสูง อาจจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของไขมันได้ และเมื่อผ่านการเก็บรักษา เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในกระบวนการออกซิเดชัน ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลหลายชนิดมากขึ้น เช่น แอซิแตลดีไฮด์ โปรพาแนล เพนทาแนล และเฮกซาแนล (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

6.2 คุณภาพทางกายภาพ

ภาพที่ 16 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เมื่อทำการเก็บรักษาข้าวพองในถุงพลาสติกบรรจุแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ดังนี้

6.2.1 ค่าสี

ค่าสีของข้าวพองเสริมใยอาหาร เมื่อวัดค่าสีในระบบ Hunter ที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือข้าวพองเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาและเมื่อผ่านการเก็บรักษาครบ 9 สัปดาห์ มีค่า L ใกล้เคียงกัน (ดังภาพที่ 16) การที่ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารมีการเปลี่ยนแปลงค่า L น้อยมาก เนื่องจากเส้นใยอาหารเป็นสาเหตุหลักที่ทำผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มีคุณสมบัติค่อนข้างทนต่อปฏิกริยาทางเคมีต่าง ๆ จึงทำให้ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ผ่านการเก็บรักษาไม่เปลี่ยนแปลง

6.2.2 ค่าความกรอบ

การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหาร พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ความกรอบของผลิตภัณฑ์จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นจากบรรยากาศทำให้มีค่า ความชื้น และค่า Aw เพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง และมีความเหนียวมากขึ้น และค่า Aw เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความเหนียวของผลิตภัณฑ์ประเภทขนมขบเคี้ยว

6.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 โดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วจำนวน 10 คน โดยวิธีให้คะแนนแบบพรรณาเชิงปริมาณ ในปัจจัยสี กลิ่นผิดปกติ ความรู้สึกหลังการกลืน ส่วนการยอมรับรวมใช้วิธีให้คะแนนความชอบ แบบ 9 สเกล (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 9 = ไม่ชอบมากที่สุด) ให้ผลดังตารางที่ 16

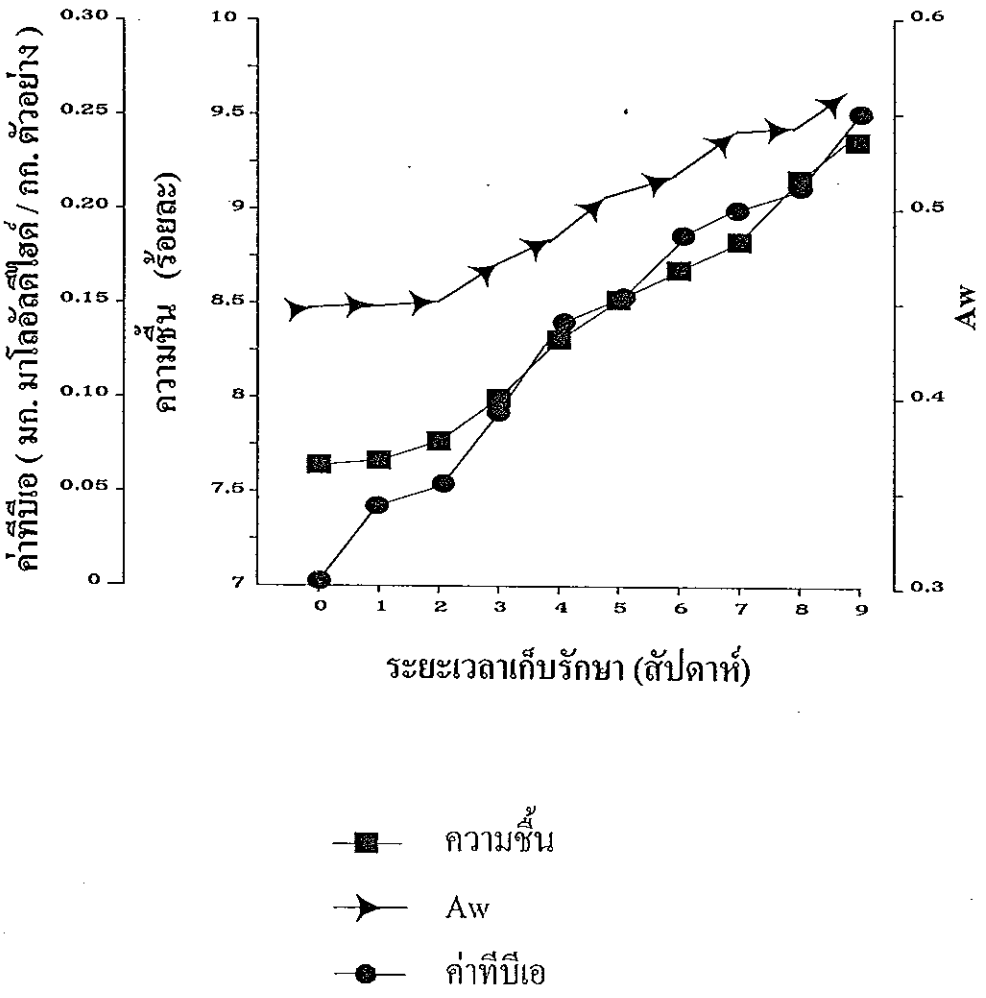
สี ตัวอย่างข้าวพองที่เก็บรักษามีคะแนนเริ่มต้นเท่ากับ 2.32 และคะแนนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาถึงวันสุดท้าย ซึ่งมีคะแนนเท่ากับ 2.43 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับผลการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี

กลิ่นผิดปกติ ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อกลิ่นผิดปกติของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อวันเริ่มต้นพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนน 0.47 และกลิ่นผิดปกติของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยสัปดาห์สุดท้ายมีคะแนนกลิ่นผิดปกติเพิ่มขึ้นเป็น 2.28 สอดคล้องกับค่าทีบีเอที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบรู้สึกได้ถึงกลิ่นผิดปกติ

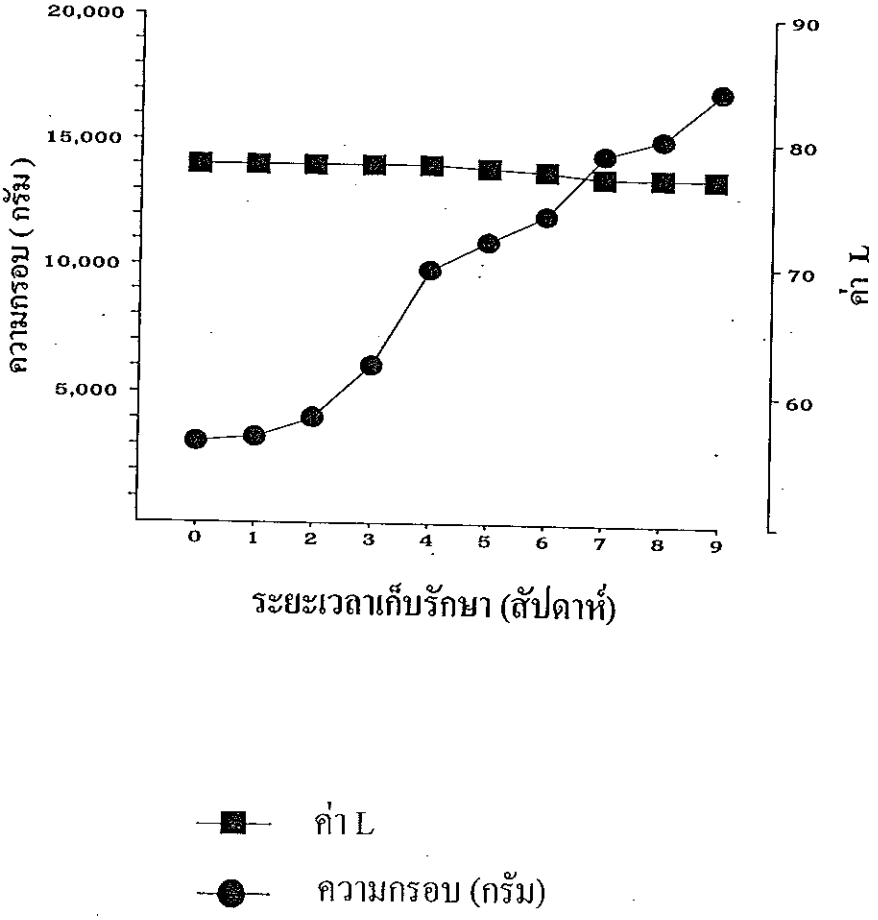
ความกรอบ การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารในระหว่างเก็บรักษา พบว่าความกรอบของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเก็บรักษานานขึ้นผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นจากบรรยากาศทำให้ปริมาณความชื้น และค่า Aw เพิ่มขึ้น Hsieh และคณะ (1991) กล่าวว่าค่า Aw มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง ข้าวพองที่มีค่า Aw อยู่ในช่วง 0.23-0.44 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมาก เคี้ยวง่าย ค่า Aw ที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ข้าวพองสูญเสียความกรอบ และทำให้เกิดความเหนียว ข้าวพองที่มีค่า Aw 0.44-0.57 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่กรอบ ผู้บริโภคยอมรับได้ แต่เมื่อค่า Aw เพิ่มขึ้นเป็น 0.57-0.84 ข้าวพองจะมีความเหนียวมาก เนื้อสัมผัสจะนิ่ม เคี้ยวยาก

ความรู้สึกหลังการกลืน ความรู้สึกหลังการกลืนของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารที่ผ่านการเก็บรักษา พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อความรู้สึกหลังการกลืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยคะแนนความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น การที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้น อาจจะมีสาเหตุมาจากระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง จึงทำให้ผู้บริโภคมีความรู้สึกแห้งและระคายคอมากขึ้น

การยอมรับรวม โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ และใช้คะแนนที่ต่ำกว่า 5 เป็นเกณฑ์กำหนดตัวอย่างที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่ยอมรับ คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าวมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ในวันเริ่มต้นมีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 8.5 และมีคะแนนลดลงตามลำดับเหลือ 5.13 ในสัปดาห์ที่ที่ 4 และในสัปดาห์ที่ 5 มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 4.7 แสดงว่าผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ Katz และ Labuza (1981) กล่าวว่าความกรอบเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของอาหารขบเคี้ยว ดังนั้นการสูญเสียความกรอบจึงเป็นสาเหตุสำคัญ ประกอบกับกลิ่นผิดปกติที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์หลังจากสัปดาห์ที่ 4



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าทีบีเอ ความชื้น และ Aw ของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 20 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา(สัปดาห์)	คะแนนเฉลี่ยการยอมรับ				
	สี[1]	กลิ่นผิดปกติ[1]	ความกรอบ[1]	ความรู้สึกหลังการกลืน[1]	การยอมรับรวม[2]
0	2.30 a	0.25 a	7.33 g	2.79 a	8.30 g
1	2.31 a	0.40 b	7.33 g	2.83 ab	7.80 g
2	2.29 a	0.60 c	7.13 g	2.86 bc	7.20 f
3	2.32 a	1.13 d	6.58 f	2.91 c	6.40 e
4	2.35 a	1.21 d	5.05 e	2.98 d	5.60 d
5	2.36 a	1.81 e	4.84 e	3.14 e	4.70 c
6	2.35 a	2.06 f	4.08 d	3.44 f	4.50 bc
7	2.35 a	2.15 g	3.86 c	3.54 g	4.00 b
8	2.40 ab	2.50 h	3.55 b	3.84 h	3.40 a
9	2.48 a	2.81	3.07 a	3.92 i	3.20 a

หมายเหตุ ตัวอักษร a b c... ที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

[1] การประเมินโดยวิธี QDA

[2] การประเมินโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (1= ชอบน้อยที่สุด 9 = ชอบมากที่สุด)

บทที่ 4

สรุป

ใยอาหารที่สกัดได้จากรำข้าว ประกอบด้วยใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำได้เท่ากับร้อยละ 84.36 82.85 และ 1.19 ตามลำดับ ใยอาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเหลืองอ่อน

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองโดยใช้เครื่องผลิตข้าวพองพบว่า ความชื้นของข้าว อุณหภูมิ และระยะเวลาในการผลิตข้าวพอง มีผลต่อการพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ สภาวะที่ใช้ข้าวความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที ข้าวพองที่ได้มีการพองตัวมากที่สุด คือ 4.4 มล./ก. มีค่า L และความกรอบเท่ากับ 84.96 และ 3370 กรัมตามลำดับ สภาวะที่ใช้ข้าวความชื้นต่ำ ทำให้พองที่อุณหภูมิต่ำ และเวลาน้อยพบว่า การพองตัวของข้าวจะน้อย และการพองตัวของข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นของข้าวมากขึ้น ใช้สภาวะในการผลิตที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น และเวลามากขึ้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานเกินไป การพองตัวจะลดลง และสีจะเข้มขึ้น

เปอร์เซ็นต์หักของข้าวไม่มีผลต่อการพองตัวของข้าว โดยข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักร้อยละ 0 5 10 15 และ20 มีค่าการพองตัว ค่า (L) และค่าความกรอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพอง โดยการเสริมใยอาหาร พบว่าปริมาณใยอาหารที่มากขึ้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือ สีและความรู้สึกหลังการกลืนจะเพิ่มขึ้น ส่วนความหอมของข้าวจะลดลง ในขณะเดียวกัน ปริมาณใยอาหารที่เติมไม่มีผลต่อการพองตัว และความกรอบของผลิตภัณฑ์ การเติมใยอาหารร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าว ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($P>0.05$) และจากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคโดยทั่วไป พบว่าส่วนใหญ่ยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบ แต่ความชอบลดลงเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีรสชาติและไม่คุ้นเคย ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 มีปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นจากข้าวพองที่ไม่เสริมใยอาหารร้อยละ 2.83

จากการประเมินคุณภาพในด้านเคมี กายภาพ และ ประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น ค่าทีบีเอ และ Aw เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ

รักษา ส่วนคุณภาพด้านกายภาพพบว่า ค่า L ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนค่าความกรอบมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนคุณภาพด้านประสาทสัมผัสพบว่า มีค่าความกรอบและการยอมรับรวมลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนกลิ่นผิดปกติ และความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 4 สัปดาห์

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2542. การส่งออกข้าวปีเสือสวนทางวิกฤติเศรษฐกิจไทย. ว. ผู้ส่งออก. 11 (270) : 46-49.

กรมศุลกากร. 2534. สถิติการนำเข้าอาหารสำเร็จรูปซึ่งทำจากธัญพืชหรือธัญพืชที่ได้รับการทำให้พองฟูด้วยความร้อน อบ หรือ ปิ้ง เช่น พัฟไรส์ คอร์นเฟรค และผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกัน พ.ศ. 2523-2524. สถิติการนำเข้าแยกตามประเภท. กระทรวงการคลัง. กรุงเทพฯ.

เครือวัลย์ อัตตวิริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าว ปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ .

งามชื่น คงเสรี. 2531. คุณภาพการหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง : การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการ. กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2536. การพัฒนาข้าวไทยสู่ตลาดคุณภาพ. ว. กสิกร. 66 (6) : 534-539.

งามชื่น คงเสรี. 2540 (ก). คุณภาพข้าวสุก. ว. จาร์พา. 4 (38) : 41-48.

งามชื่น คงเสรี. 2540 (ข). การทำผลิตภัณฑ์ข้าว. ว. จาร์พา. 4(39) : 25-28.

ชาญ มงคล. 2536. เรื่องข้าว. ภาควิชาเกษตรศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยครูฉะเชิงเทรา.

ณรงค์ มีนะนันทน์. 2536. ข้าวไทยในทศวรรษหน้า. ใน เอกสารประกอบการสัมมนา. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 102 หน้า.

ธีระ สูตะบุตร. 2542. บทบาทของอุตสาหกรรมเกษตรต่อประเทศไทยในยุค IMF. ว.อุตสาหกรรมเกษตร. 9 (4) : 10-15.

มาลี ซื้มศรีสกุล. 2538. ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือก และต่อคุณสมบัติแป้งข้าวพองที่ได้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประพาส วีระแพทย์. 2531. ความรู้เรื่องข้าว. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชย์จำกัด. 108 หน้า.

ปราณี วราสวัสดิ์. 2536. เทคโนโลยีธัญพืช. ภาควิชาเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. เชียงใหม่.

ปริศนา สุวรรณาภรณ์. 2538. อาหารเช้าของคนรุ่นใหม่. ว. อุตสาหกรรมเกษตร. 6 (17) : 5-14.

วันเพ็ญ มีสมญา. 2541. ใยอาหารอันทรงคุณค่า. ว. อาหาร. 28 (3) : 213-219.

วิชัย ตันไพจิตร. 2522. มากินใยอาหารกันเถอะ. ว. ใกล้หมอ. 3 (3) : 75-78.

วิภา สุโรจนะเมธากุล, ตวิยา โลหะนะ, พยอม อัตถวิบูลย์กุล และบุญมา นิยมวิทย์. 2542. การใช้เซลลูโลสผงเป็นแหล่งใยอาหารในผลิตภัณฑ์ชิฟฟ่อนเค้ก และคุกกี้ ว. อาหาร. 29 (1) : 16-27.

วิไลลักษณ์ กมลธรรม. 2538. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวผัดปูแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วาสนา พลารักษ์. 2523. ข้าว. ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น 122 หน้า.

วุฒิชัย นาครักษา. 2539. การศึกษากระบวนการแปรรูปโดยความร้อนของข้าวแปรรูปบรรจุกระป๋อง. ว. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 28 (2) : 243-251.

รุ่งนภา ประกอบกิจ. 2538. การสกัดใยอาหารจากเปลือกโกโก้ และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เพลินใจ ตังคณะกุล, วิภา สุโรจนะเมธากุล, กรุณา วงศ์กระจ่าง และ จันตรี บุญปั้น. 2537. การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของฟาสต์ฟู้ดประเภทต่าง ๆ. ว. อาหาร. 24 (3) : 190-200.

เพลินใจ ตังคณะกุล, พัชรี ตั้งตระกูล, เนตรนภิศ วัฒเนสุชาติ และ พยอม อัตถวิบูย์กุล. 2538. การคิดค้นสูตรอาหารประเภทใยอาหารสูงแคลอรี่ต่ำ. ว. อาหาร. 25 (1) : 16-23.

ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์. 2539. เส้นใยอาหารกับคุณภาพชีวิต ว. อาหารและยา. 3 (2) : 11-15.

สันธนา อมรไชย. 2537. ใยอาหาร. ว. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 3 (3) : 7-33.

อัจฉรา วิรัตพงศ์. 2541. สถานการณ์ข้าว. ว. ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร. 44 (49) : 3-5.

อภิญญา เจริญกูล. 2538. อาหารขบเคี้ยว. ว. อาหาร. 18 (2) : 96-100.

อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น. 2530. เรื่องของข้าว. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. เคมีทางธัญญาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล และ ลินดา พงศ์ผาสุก. 2536. อาหารเช้าจากธัญชาติ. ว. อุตสาหกรรมเกษตร. 4 (3) : 5-15.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. เทคโนโลยีการผลิตและการพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสดและอบแห้ง. ว. อุตสาหกรรมเกษตร. 8 (3) : 58-67.

Antonio, A.A., and Juliano, B.O. 1973. Amylose content and puffed volume of parboiled rice. J. Food Sci. 38 : 915-916.

A.O.A.C. 1990. Official Method of Analytical Chemists.15 th ed. Verginia : The Association of Official Analytical Chemists, INC.

Artz, W.E., Waren, C.C., Mohring, A.E., and Villoate, R. 1990. Incorporation of corn fiber into sugar snap cookies. Cereal Chem. 63 (3) : 303-305.

Baker, R.C., Hahn, P.W., and Robbins, K.R. 1988. Developments in Food Science 16, Fundamentals of New Food Product Development. New York : Elsevier Science Publisher.

Baker, D., and Holden, J.M. 1990. Fiber in breakfast cereals. Cereal Chem. 63 (1) : 10-12.

Buttery, R.G., Ling, L.C., and Juliano, B.O. 1983. Cooked rice aroma and 2- acetyl-1-pyrroline. J. Agri .Food Chem. 31 : 823-826.

Cagampang, G.B., Perez, C.M., and Juliano, B.O. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice . J. Sci Food Agric. 24 :1589-1594.

Carroll, L.E. 1990. Function properties and applications of stabilized rice bran in bakery products. J. Food Tech. 44(4) : 74-76.

Champagne, E.T. 1994. Brown Rice Stabilization *In* Rice Science and Technology. pp. 17-35. New York : Marcel Dekker, Inc.

Chandrasekher, P.R. and Chattopadhyay, P.K. 1988. Heat transfer during fluidized bed puffing of rice grains. J. Food Process Eng. 52 : 147-157.

Chandrasekher, P.R. and Chattopadhyay, P.K. 1988. Continuous rice puffing machine. J. Invention Intelligence. 23 (1) : 35-36.

Chandrasekher, P.R. and Chattopadhyay, P.K. 1990. Studies on microstructural changes of parboiled and puffed rice. J. Food Process and Preservation. 14 : 27-37.

Chandrasekher, P.R. and Chattopadhyay, P.K. 1991. Rice puffing in relation to its varietal characteristic and processing condition. J. Food Process Eng. 14 : 261-277.

Chen, H., Rubenthaler, G.L., Leung, H.K., and Baranowaski, J.D. 1988. Chemical, physical and baking properties of apple fiber compared with wheat and oat bran. Cereal Chem. 65 (3) : 244-247.

Chinnaswamy, R. and Bhattacharya, K.R. 1983 (a). Studies on expaned rice : physiochemical basis of varietal differences. J. Food Sci. 48:1600-1603.

_____ 1983 b. Studies on expanded rice : Optimum processing condition. J. Food Sci. 48: 1604-1608.

Chou, Y.T., Garrison, D.F. and Lewis, W.I. 1990. Alkaline extraction, peroxide bleaching of nonwoody lignocellulose substrate. U.S. Patent. 4,957,599. Sep. 18, 1990.

Egan, H., Kirk, R.S., and Sawyer, R. 1981. Pearson' s Chemical Analysis of Food. London : Churchill Livingstone.

Gould, J.M., Jasberg, B.K., and Cote, G.L. 1989. Structure function relationships of alkaline peroxide treated lignocellulose from wheat straw. Cereal Chem. 66 (3) : 213-217.

Gnanasambandam, R. and Hettiarachchy, N.S. 1995. Protein concentrates from unstabilized and stabilized rice bran : preparation and properties. J. Food Sci. 60(5) : 1066-1069.

Gurary, H.S. and Toledo, R.T. 1994. Volume expansion during hot air puffing of a fat-free starch based snack. J.Food Sci.59 (3) : 641-643.

Hamaker, B.R. and Griffin, B.K.1990. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. Cereal Chem. 67 : 261-264.

Hargrove, K.L. 1994. Processing and Utilization of Rice Bran in the Unitid States. *In* Rice Science and Technology. pp. 381-404. New York : Marcel Dekker, Inc.

Hansen, S.K. and Balle, A.H. 1991. Product and process for preparing a plant fiber product. U.S. Patent. 5,068,121 Nov. 26 1991.

Hsieh, F H., Huff, H.E., Peng, I.C., and Marek, S.W. 1989. Puffing of rice cakes as influenced by tempering and heating condition. J. Food Sci. 54 (5) : 1310-1312.

Hsieh, F.H., Fields, M.L., Li, Y., and Huff, H.E. 1989. Utra- high temperature effect on *B. Stearothemophillus* during puffing of rice. J. Food Quality. 12 : 345-354.

Hsieh, F., Hu, L., Peng, I.C. and Huff, H.E. 1990. Pretreating dent corn grits for puffing in a rice cake machine. J.Food Sci. 55 (5) :1345-1355.

Hsieh, F., Hu, L., Peng, I.C. and Huff, H.E. 1991. Effects of water activity on textural characteristics of puffed rice cake. J. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie 23. (6) :471-473.

Hudson, C.A., Chiu, M.M., and Knuckle, B.E. 1992. Development and characteristic of high-fiber muffins with oat bran, rice bran, or barley fiber fraction. Cereal Food World. 37(3) : 373-378. ไม่มี abstact

Huff, H.E., Hsieh, F., and Peng, I.C. 1992. Rice cake production using long grain and medium grain brown rice. J. Food Sci. 57 (5) : 1164-1167. ไม่มี abstract

Horgan, J.T. 1977. Rice and rice products. *In* Element of Food Technology . N.W. Desrosier (Editor) . Westport Connecticut : AVI Publishing Co., .

International Rice Research Institute. 1972. Annual Report Intern. Rice Res. Ins., 1971-1972. Los Banos, Philippins. 738 p.

Jackson, J.C., Bourne, M.C., and Barnard, J. 1996. Optimization of blanching for crispness of banana chips using response surface methodology. J.Food Sci. 61 (1) : 165-166.

Jeltima, M.A., Zabik, M.E., and Thiel, L.J. 1983. Prediction of cookies quality from dietary fiber components. Cereal Chem. 60 (3) : 227-230.

Jasberg, B.K., Gould, J.M., and Warnen, K. 1989. High- fiber , noncaloric flour substitute for baked food, alkaline peroxide-treated lignocellulose in chocolate cake. Cereal Chem. 66 (3) : 209-213.

Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled – rice amylose. Amer Ass. Cereal Chem. 16 : 334-336, 338-360.

Juliano, B.O. 1985. Criteria and tests for rice grain qualities *In* Rice : Chemistry and Tcchnology. pp. 443-512. St. Paul, Minn. : American Association of Cereal Chemists Inc,.

Katz, E.E. and Labuza, T.P. 1981. Effect of water activity on sensory crispness and mechanical deformation of snack food product. J Food Sci. 46 : 403-409.

Labuza, T.P. 1982. Moisture gain and loss in package food. J. Food Tech. 36(4) : 92-93.

Lee, S.C., Prosky, L. and De Vries, J.W. 1992. Determination of total, insoluble and soluble dietary fiber in food by Enzymatic Gravimetric method, MES-TRIS buffer : Collaborative study. J. AOAC. International. 75 : 395-461.

Luh, B.S.1991.Breakfast rice cereals and baby foods. *In* Rice Production and Utilization. pp. 623-649. Westport, Conn. : AVI Publishing Co.,

Mridula, B. and Nath, S. 1985. Puffing characteristics of some processed rice stored in different packaging system. J. Sci Food Agric. 36 : 37-42.

Murugesan, G. and Bhattacharya, K.R. 1986. Studies on puffed rice effect of processing condition. J. Food. Sci and Tech. 23 :197-202.

Murugesan, G. and Bhattacharya, K. R. 1991(a). Basis for varietal differcence in poping expansion of rice. J.Cereal Sci. 13 : 71-83.

_____ 1991 (b). Effect of some pretreatments on poping expansion of rice. J.Cereal Sci. 13 : 85-92.

Ning, L., Villota, R. and Artz, W.E. 1991. Modification of corn fiber through chemical treatments in combination with twin-screw extrusion. Cereal Chem. 68 (6) : 632-636.

Pomeranz, Y., Shogren, M.D., Finney, K.F., and Bechtel, D.B. 1977. Fiber in breadmaking effects on functional properties. Cereal Chem. 54 (1) : 25-41.

Ranhotra, G.S., Gelroth, J.A., and Eisenbraun, G.T. 1991. High fiber white flour and its use in cookies products. Cereal Chem. 68 (4) : 432-434.

Schneeman, B.O. 1986. Dietary fiber : Physical and chemical properties, methods of analysis and physiological effect. J. Food Tech. 40 (2) :104-110.

Snarp, R.N. 1986. Quality evaluation of milled aromatic rice from India, Thailand and the United State. J. Food Sci. 51 : 634-636.

Srinivas, T. and Deskachar, H.S.R. 1973. Factors affecting the puffing quality of paddy. J.Sci. Food. Agric. 24 : 883-891.

Sweintek, R.J. and Juliano, B.O. 1973. Puffed products without frying. Food Process. 8 :114-114.

Van Soest, P.J. and Wine, R.H. 1967. Use of detergents in analysis of fibrous feeds determination of plant cell walls constituents. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 50 : 50.

Villareal, C.P. and Juliano, B.O. 1987. Varietal differences in quality characteristic of puffed rice . Cereal Chem. 64 (4) : 337-342.

Weeb,B.O. and Stermer,A.A. 1972. Criteria of rice quality .*In* Rice : Chemistry and Technology. Westport, Conn. : AVI Publishing Co.,

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC.1990)

อุปกรณ์

1. ตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
2. ภาชนะหาความชื้น
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า

วิธีการ

1. อบภาชนะหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้ จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

2. กระทำเช่นข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งแตกต่างกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างอาหารที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-3 มิลลิกรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น จากนั้นนำกลับเข้าตู้อบอีกครั้ง และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวน

$$M = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

โดย M = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC.1990)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วย ขวดก้นกลมสำหรับใส่ตัวทำละลายซอคเลต (soxhlet) เครื่องควบแน่น (Condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง
3. สำลี
4. ตู้อบไฟฟ้า
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด
6. โถดูดความชื้น

วิธีการ

1. อบขวดก้นกลมสำหรับหาปริมาณไขมันซึ่งมีความจุ 250 มิลลิลิตร แล้วใส่ในตู้อบไฟฟ้าทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้วประมาณ 3-5 กรัม ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลีเพื่อให้สารทำละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ
3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในซอคเลต

4. เติมสารทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดหาไขมันปริมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาให้ความร้อน

5. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา150 หยดต่อนาที

6. เมื่อครบ 14 ชั่วโมงนำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอดเลต และกลั่น เก็บสารทำละลายจนเหลือสารละลายในขวดก้นกลมเพียงเล็กน้อย

7. นำขวดหาไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้ง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

8. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวน

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC. 1990)

อุปกรณ์

1. ขวดย่อยโปรตีน (Kjeldahl flash) ขนาด 250-300มล.
2. ชุดกลั่นโปรตีน (semi-microdistillation apparatus)
3. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ปิเปตขนาด 5, 10 มิลลิลิตร
6. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
7. ลูกแก้ว
8. กระดาษกรอง

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
2. สารเร่งปฏิกิริยา ใช้คอปเปอร์ซัลเฟต ในอัตราส่วน 1:9 ส่วน
3. สารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้นร้อยละ 60

- ชั่งเมทิลีนบลู (methylene blue) 0.2 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 200 มิลลิลิตร และชั่ง เมทิลเรด (methyl red) 0.05 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ เวลาใช้นำมาผสมในอัตราส่วน stock solution 1 ส่วนต่อ เอทิลแอลกอฮอล์ 1 ส่วน ต่อน้ำกลั่น 2 ส่วน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างอาหารบนกระดาษกรองให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 1-2 กรัมห่อให้มิดชิดใส่ลงในขวดย่อยโปรตีน
2. เติมสารเร่งปฏิกริยา 5 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. ใส่ลูกแก้ว 2 เม็ด นำไปย่อยในเตาไฟในตู้ควันจนกระทั่งได้สารละลายใส ปล่อยให้เย็น
4. เติมน้ำกลั่นร้อนลงไป ล้างบริเวณคอขวดให้ทั่ว และให้ความร้อนต่อไปอีกจนหมดควันของกรดซัลฟิวริก ปล่อยทิ้งให้เย็น
5. นำมาถ่ายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้น้ำกลั่นล้างขวดย่อยโปรตีนให้หมดสารละลายตัวอย่าง แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร
6. จัดอุปกรณ์กลั่น
7. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ลงไป 5 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร และเติมอินดิเคเตอร์เรียบร้อยแล้ว ไปรองรับของเหลวที่จะกลั่น โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงสารละลายกรดนี้
8. ดูดสารละลายตัวอย่างด้วยปิเปตขนาดความจุ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในช่องใส่ตัวอย่างแล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป 20 มิลลิลิตร
9. กลั่นประมาณ 10 นาที ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ
10. ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้กับสารละลายกรดเกลือ ที่มีความเข้มข้น 0.02 นอร์แมล จะได้จุดยุติเป็นสีม่วง
11. ทำ blank ด้วยวิธีการเดียวกันตั้งแต่ข้อ 2-10

การคำนวน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(a-b) \times N \times 14.007 \times \text{Factor}}{W}$$

โดย a = ปริมาณของสารละลายกรดเกลือที่ใช้กับตัวอย่างเป็นมิลลิลิตร

b= ปริมาณของสารละลายกรดเกลือที่ใช้กับ blank เป็นมิลลิลิตร

N= ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือเป็นนอร์แมล

W= น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นเป็นกรัม

Factor = 5.95

(น้ำหนักสมมูลย์ของไนโตรเจน = 14.007)

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC.1990)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace)
2. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด

วิธีการ

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิตซ์เตาเผา แล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาเผาลดลงก่อน นำออกจากเตาเผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก

2. เผาซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่รู้น้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปเผาในตู้ควันจนหมดควัน แล้วจึงนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสและกระทำเช่นเดียวกับข้อ 1-2

การคำนวน

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

5. การวิเคราะห์ปริมาณลิกนินและเซลลูโลส (Van Soest and Wine, 1967)

อุปกรณ์

1.อุปกรณ์ชุดหาปริมาณสารเยื่อใย ซึ่งประกอบด้วยบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร (Berze lius beaker) อุปกรณ์ควบแน่น และอุปกรณ์ให้ความร้อน

2. Fritted glass crucible ชนิดรูพรุนหยาบความจุ 40-50 มิลลิลิตร ล้างและเผาครูซิเบิลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสก่อนใช้

3. เครื่องดูดสุญญากาศ

4. ขวดสำหรับกรอง (Filtering flask)

5. แท่งแก้วคน

สารเคมี

1. Acid detergent solution

ชั่งกรดซัลฟิวริก 49.04 กรัม แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วเติม Cetyl trimethyalammonia bromine (CTAB) ลงไป 20 กรัม ผสมให้เข้ากัน

2. Decarhydronaphathalene

3. แอซีโตน

4. กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 72

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. ประมาณ 1 กรัม (S) ใส่ลงในบีกเกอร์ทรงสูง ขนาด 600 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย acid dertergent 100 มิลลิลิตร และ decarhydronaphathalene 2 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนเดือดภายใน 5-10 นาที แล้วลดความร้อนลงให้เดือดเบา ๆ ต้ม (Reflux)

3. กรองผ่านครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว (W_1) โดยใช้แรงดูดสุญญากาศเบา ๆ ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ลงครูซิเบิลด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส)

4. เขี่ยก้อนเยื่อใยที่อยู่ในครูซิเบิลให้กระจายออกโดยใช้แท่งแก้ว ล้างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 2 ครั้ง โดยคนและแช่ทิ้งไว้นาน 15-30 วินาที แล้วจึงดูดด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ

5. ล้างก้อนเยื่อใยในครูซิเบิลด้วยแอซิโตนอีก 2 ครั้ง พร้อมทั้งกระจายเยื่อใยด้วยการใช้แท่งแก้วคน

6. นำครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง หรือตลอดคืน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (W_2)

7. นำครูซิเบิลวางในถาดก้นตื้น เติมกรดซัลฟิวริกร้อยละ 72 (แช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส) ลงในครูซิเบิลประมาณครึ่งหนึ่ง แล้วคนด้วยแท่งแก้วคนเพื่อให้เยื่อใยเปียกอย่างทั่วถึง เติมกรดลงไปอีกแล้วคนอย่างสม่ำเสมอ ปล่อยแท่งแก้วไว้ในครูซิเบิล อาจเติมกรดทุก ๆ 1 ชั่วโมง และควรวางครูซิเบิลไว้ในที่เย็น (20-23 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

8. นำครูซิเบิลไปกรองกรดออกโดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ แล้วล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด ใช้น้ำร้อนชะล้างครูซิเบิลและแท่งแก้วคน นำแท่งแก้วคนออก

9. นำครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตลอดคืน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (W_3)

10. นำครูซิเบิลไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าไม่มีคาร์บอน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (W_4)

การคำนวน

$$ADF = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{S}$$

$$L = \frac{(W_3 - W_4) \times 100}{S}$$

$$C = ADF - L$$

โดยที่ ADF = Acid detergent fiber (ร้อยละ)

L = ปริมาณลิกนิน (ร้อยละ)

C = ปริมาณเซลลูโลส (ร้อยละ)

W_1 = น้ำหนักครูซิเบิลเปล่า

W_2 = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังผ่านสารละลาย acid detergent

W_3 = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังผ่านกรดซัลฟิวริก

W_4 = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังเผา

S = น้ำหนักตัวอย่าง

6. การวิเคราะห์ปริมาณเฮมิเซลลูโลส

อุปกรณ์

เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณลิกนินและเซลลูโลส

สารเคมี

1. Neutral detergent solution

วิธีการเตรียม

- สารละลาย A

ชั่ง disodium ethylene diamine - tetraacetate (EDTA) 18.61 กรัม และ sodium borate decarhydrate ($Na_2 B_4 O_7$. 10 $H_2 O$) 6.81 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปพอสมควร นำไปต้มจนกระทั่งละลายหมด

- สารละลาย B

ละลาย sodium lauryl sulfate (USP) ด้วยน้ำกลั่นแล้วเติม 2-ethoxyethanol 10 มิลลิลิตร ลงไป

- ผสมสารละลาย A ลงในสารละลาย B

- ละลาย disodium hydrogen phophate ($Na_2 HPO_4$) 4.56 กรัม ด้วยน้ำกลั่นต้มจนละลายหมดแล้วเทผสมลงในสารละลาย A และ B ปรับปริมาตรของสารละลายผสมให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น สารละลายที่ได้มี pH 6.9-7.1 (ถ้าไม่ได้ตามนี้ให้ปรับพีเอชงด้วย HCl หรือ NaOH

2. Decahydronaphthalene
3. sodium sulfite
4. แอซิโตน

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างที่บดผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. ประมาณ 1 กรัม (S_1) ใส่ลงในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 600 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลาย Neutral detergent ที่มีอุณหภูมิประมาณ 22 องศาเซลเซียส 100 มิลลิลิตร Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร และ sodium sulfite 0.5 กรัม ต้มให้เดือดภายใน 5-10 นาที แล้วลดความร้อนลงให้เดือดเบา ๆ ต้ม (Reflux) ให้เดือดต่อไปอีก 60 นาที

3. กรองผ่านครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว (A)โดยใช้แรงดูดสุญญากาศเบา ๆ ล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส)

4. เขี่ยก้อนเยื่อใยที่อยู่ในครูซิเบิลให้กระจายออกโดยใช้แท่งแก้ว ล้างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 2 ครั้ง โดยคน และแช่ไว้นาน 15-30 วินาที แล้วจึงดูดด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ

5. ล้างเยื่อใยในครูซิเบิลด้วยแอซิโตนอีก 2 ครั้ง พร้อมทั้งกระจายเยื่อใยด้วยการใช้แท่งแก้วคนให้แอซิโตนชะได้ทั่วถึง ใช้แรงดูดสุญญากาศดูดให้แห้ง

6. นำครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมงหรือตลอดคืน ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก (B)

การคำนวน

$$NDF = \frac{(B-A)}{S_1} \times 100$$

$$H = NDF-ADF$$

โดยที่ NDF = Neutral detergent fiber (ร้อยละ)

ADF = Acid detergenr fiber (ร้อยละ)

H = ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ)

A = น้ำหนักครูซิเบิลเปล่า

B = น้ำหนักครูซิเบิลและตัวอย่างหลังผ่านสารละลาย Neutral detergent

S_1 = น้ำหนักตัวอย่าง

7. **การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ละลายน้ำ** (Lee, *et al.*, 1992)

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ทรงสูงขนาด 400 หรือ 600 มิลลิลิตร (Berzelius beaker)

2. Filtering crucible ชนิดรูพรุนหยาบ ขนาด 40-60 ไมครอน ความจุ 60 มิลลิลิตร เตรียมโดยแผาข้ามคืน ในเตาแผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส แล้วรอให้อุณหภูมิลดลงมาที่ 130 องศาเซลเซียส จึงนำครูซิเบิลออก จุ่มใน cleaning solution เข้มข้นร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชะครูซิเบิลด้วยน้ำกลั่น น้ำปราศจากไอออนแล้วตามด้วยแอซิโตน 15 มิลลิลิตร ปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง เติม celite ประมาณ 1กรัม อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ประมาณ 1 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักของครูซิเบิลบรรจุ celite

3. เครื่องดูดสุญญากาศ พร้อมขวดสำหรับกรอง ขนาด 1000 มิลลิลิตร

4. อ่างน้ำสำหรับควบคุมอุณหภูมิที่ 98 ± 2 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส และสามารถเขย่าได้

5. เครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

6. เตาเผา

7. ตู้อบไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิที่ 105 และ 130 องศาเซลเซียส

8. โถดูดความชื้น

9. เครื่องวัดพีเอช

10. ไมโครปิเปต ความจุ 50-300 ไมโครลิตร

11. เครื่องกวนแบบแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมแท่งแม่เหล็ก

สารเคมี

1. สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์

1.1 เข้มข้นร้อยละ 85

- ตวง 95 % เอทิลแอลกอฮอล์ 895 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

1.2 เข้มข้นร้อยละ 78

- ตวง 95 % เอทิลแอลกอฮอล์ 821 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

2. Heat - stable α - amylase solution เก็บที่ 0-5 องศาเซลเซียส

3. Protease

- เตรียมสารละลายเอนไซม์ protease 50 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร ใน MES/TRIS Buffer เก็บที่ 0-5 องศาเซลเซียส (เตรียมใหม่ทุกวัน)

4. Amyloglucosidase solution เก็บที่ 0-5 องศาเซลเซียส

5. Diatomaceous earth : celite 545 aw

6. 2 % cleaning solution (liquid surfactant type)

7. MES : 2-(N-MORPHOLINO) ethanesulfactant acid

8. TRIS : Tris (Hydroxymethyl) aminomethane

9. MES/TRIS buffer solution (0.05โมลาร์ MES, 0.05 โมลา TRIS, พีเอช 8.2 ที่ 24 องศาเซลเซียส)

- เตรียมโดยละลาย MES 19.52 กรัม และ TRIS 12.2 กรัมในน้ำ 1.7 ลิตร ปรับพีเอชเป็น 8.2 ที่ 24 องศาเซลเซียส ด้วย 6 นอร์แมล โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 2 ลิตร

การปรับพีเอช ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ปรับพีเอชเป็น 8.3

ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ปรับเพีเอชเป็น 8.2

ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ปรับพีเอชเป็น 8.1

10. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.561 นอร์แมล

- ตวง 6 นอร์มอล กรดไฮโดรคลอริก 93.5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรที่มีน้ำประมาณ 700 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 บดตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิลิตร ตัวอย่างที่มีไขมันมากกว่าร้อยละ 10 ต้องสกัดไขมันโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ 3 ครั้งๆ ละ 25 มิลลิลิตร / กรัม ก่อนการบด ตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลสูงต้องกำจัดน้ำตาลโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 85 10 มิลลิกรัม/กรัม 2-3 ครั้ง อบข้ามคืนที่ 40 องศาเซลเซียส ก่อนบด (ต้องนำน้ำหนักของไขมัน น้ำตาล และความชื้นที่หายไปใช้ในการคำนวนด้วย)

1.2 ชั่งตัวอย่าง 1.000 $\pm$ 0.005 กรัม 2 ซ้ำ (M1และM2) ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 400 หรือ 600 มิลลิลิตร

1.3 เติม MES/TRIS buffer 40 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจนเข้ากันดี เพื่อไม่ให้ตัวอย่างจับกันเป็นก้อน

1.4 เติมเอนไซม์ Heat - stable α - amylase 50 ไมโครลิตร กวนโดยใช้ความเร็วต่ำ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ บ่มในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส 15 นาที โดยให้มีการกวนหรือการเขย่าตลอดเวลา (เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาบ่มโดยรวม 35 นาที)

1.5 เอาบีกเกอร์ออกจากอ่างน้ำ เขี่ยตัวอย่างที่ติดข้างบีกแกอร์และกระจายตัวอย่างที่ส่วนก้นบีกเกอร์ด้วย spatula แล้วใช้น้ำ มิลลิลิตร ชะข้างบีกเกอร์

1.6 เติมเอนไซม์ proteae 100 ไมโครลิตร ลงในบีกเกอร์ ปิดด้วยอลูมิเนียมฟรอยด์ บ่มที่อุณหภูมิ 60 ±1 องศาเซลเซียส 30 นาที โดยมีการเขย่าตลอดเวลา

1.7 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.561 นอร์แมล 5 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์ ในขณะที่มีการเขย่า

1.8 ปรับพีเอชเป็น 4.0-4.7 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วย 1 นอร์แมลโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ 1 นอร์แมล กรดไฮโดรคลอริก

1.9 เติมเอนไซม์ Amyloglucosidase 300 ไมโครลิตร ในขณะที่มีการเขย่าปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ บ่มที่อุณหภูมิ 60 ±1 องศาเซลเซียส 30 นาที เขย่าตลอดเวลา

2. การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด

2.1 เติมสารละลายเอทิลแอกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 225 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ตัวอย่างจากข้อ 1.9

2.2 นำบีกเกอร์ออกจากอ่างน้ำ ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ ทิ้งให้ตกตะกอนที่ อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง

2.3 ล้างและกระจาย celite ลงในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ด้วยสารละลายเอทิลแอกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 78 ใช้เครื่องดูดสุญญากาศ เพื่อให้ celite ติดกับแผ่นกรอง

2.4 กรองตัวอย่างผ่านครูซิเบิล ใช้ sapatula และสารละลายเอทิลแอกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 78 ในปริมาณที่ช่วยถ่ายตะกอนจนหมด ใช้เครื่องสุญญากาศช่วย

2.5 ล้างตะกอนในครูซิเบิลด้วย 15 มิลลิลิตร ของสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ78 สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 และแอซิโตน ชนิดละ 2 ครั้ง

2.6 นำครูซิเบิลไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ข้ามคืน ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง

2.7 ชั่งน้ำหนักครูซิเบิล (R1และ R2)

2.8 นำตะกอนตัวอย่างในครูซิเบิล 1 ซ้ำมาหาปริมาณโปรตีน (P) ใช้ 6.25 เป็นconversion factor และนำครูซิเบิลบรรจุตัวอย่างที่เหลืออีก 1 ซ้ำมาหาปริมาณเถ้า (A) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง

3. การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

3.1 ล้างและกระจาย celite ในครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ด้วยน้ำ 3 มิลลิลิตร ใช้เครื่องสุญญากาศช่วย

3.2 กรองตัวอย่างที่เตรียมด้วยวิธีการในข้อ 1 ผ่านครูซิเบิล โดยรองรับส่วนสารละลายด้วยขวดสำหรับกรองที่สะอาด

3.3 ชะบีกเกอร์และล้างตะกอนด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 2 ครั้ง ๆละ 10 มิลลิลิตร รวบรวมสารละลาย และน้ำที่ใช้ล้างตะกอนลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำต่อไป

3.4 ล้างตะกอนที่ค้างอยู่ในครูซิเบิลด้วย 15 มิลลิลิตร ของเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 78 สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 และแอซิโตน ชนิดละ 2 ครั้ง (ถ้ามีการล่าช้าในการล้างตะกอน จะทำให้ค่าที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง)

3.5 ทำตามวิธีการหาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ตั้งแต่ข้อ 2.6 เป็นต้นไป

4. การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้

4.1 นำบีกเกอร์บรรจุสารละลายจากข้อ 3.3

4.2 เติมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในปริมาณ 4 เท่าของปริมาตรสารละลายตัวอย่าง โดยใช้เอทิลแอลกออฮอล์ส่วนหนึ่งชะบีกเกอร์ และขวดสำหรับกรองที่ใช้รองรับตัวอย่าง

4.3 ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง

4.4 ทำตามวิธีการหาปริมาณใยอาหารทั้งหมด ตั้งแต่ข้อ 2.3 เป็นต้นไป หมายเหตุ : ทำ blank ด้วยวิธีการเดียวกันโดยไม่ใช้ตัวอย่าง

การคำนวน

$$B = [\,(BR1+BR2)/2\,] - PB - AB$$

B = blank (มิลลิกรัม)

BR1, BR2 = น้ำหนักตะกอนที่เหลือของ blank ในครูซิเบิลหลังอบครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

PB = น้ำหนักโปรตีนของ blank (มิลลิกรัม)

AB = น้ำหนักเถ้าของ blank (มิลลิกรัม)

$$DF = \{\, \frac{[R1+R2)/2] - P - A - B}{[\,(M1+M2)/2\,]} \,\} \times 100$$

DF = ปริมาณใยอาหาร (ร้อยละ)

R1, R2 = น้ำหนักตะกอนที่เหลืออยู่ในครูซิเบิลหลังอบซ้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

P = น้ำหนักของโปรตีนตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

A = น้ำหนักของเถ้าตัวอย่าง (มิลลิกรัม)

B = blank (มิลลิกรัม)

M1M2 = น้ำหนักตัวอย่างซ้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (มิลลิกรัม)

8. การหาค่าความหืน ใช้วิธีการหา TBA No. (Egan, *et al.*, 1981)

อุปกรณ์

1. ชุดกลั่น
2. ลูกแก้ว
3. เตาไฟฟ้า
4. ปิเปต

5. หลอดทดสอบชนิดมีจุก

6. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง

สารเคมี

1. สารละลายกรดเกลือเข้มข้น 4 นอร์แมล

2. สารป้องกันการเกิดฟอง (antifoam liguid)

3. สารละลายกรดไธโอบาบิทูริก ละลาย 0.02883 กรัม ของกรดไทโอบาบิทูริกลงในกรดแอซิติกเข้มข้นร้อยละ 90

วิธีการ

1. แช่ตัวอย่างอาหาร 10 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 นาที แล้วถ่ายลงในขวดกลั่นใช้น้ำ 47.5 มิลลิลิตร ล้างภาชนะที่ใส่ตัวอย่างแล้วเทลงขวด

2. เติม 2.5 มิลลิลิตร ของสารละลายกรดเกลือความเข้มข้น 4 นอร์มอล (pH ควรจะเป็น 1.5) แล้วเติมลูกแก้ว และสารป้องกันการเกิดฟอง

3. กลั่นให้ได้ของเหลว 50 มิลลิลิตร ภายใน 10 นาที

4. ดูดสารที่กลั่นได้ 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดสอบที่มีจุกปิด

5. เติม 5 มิลลิลิตร ของสารละลายกรดไทโอบาบิทูริก เขย่า และให้ความร้อนด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 35 นาที

6. ทำ blank โดยวิธีการเดียวกัน ใช้ 5 มิลลิลิตร ของน้ำกลั่นให้ความร้อน 35 นาที

7. นำตัวอย่าง และ blank ที่เย็นแล้ว วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร

การคำนวน

ค่าความหืน (มก. มาโลแอลดีไฮด์ /กก.ตัวอย่าง) = 7.8 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่หัก blank แล้ว

ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ความสามารถในการดูดซับน้ำของเส้นใย (ดัดแปลงจาก Ning , *et al.*, 1990)

อุปกรณ์

เครื่องเหวี่ยง

สารเคมี

น้ำกลั่น

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในภาชนะบรรจุขนาดประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร
2. เขย่าให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที
3. เหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ 10,000 rpm นาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
4. รินส่วนใสทิ้ง แล้วเอียงภาชนะบรรจุตัวอย่างนาน 10 นาที เพื่อทิ้งส่วนใสที่เหลือ
5. ถ่ายตัวอย่างลงภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว ทำการหาความชื้นตามวิธี A.O.A.C. (1990)

การคำนวน

$$WHC = (W_1-W_2)/ W_2$$

โดยที่ WHC = ความสามารถในการดูดซับน้ำ (กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบหาความชื้น

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบหาความชื้น

2. การวัดค่าความกรอบ (ดัดแปลงจาก Jackson, *et al.*, 1996)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2
2. เครื่องคอมพิวเตอร์

วิธีการ

1. ติดตั้งเครื่องวัดเนื้อสัมผัสและเครื่องคอมพิวเตอร์เปิดเครื่องวัดเนื้อสัมผัสและเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ผ่านกระบวนการทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ
2. ทำการคาริเบตแรงของเครื่องวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้ลูกตุ้มหนัก 5 กิโลกรัม
3. ติดตั้งหัวเข็มรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม.หรือเรียกว่า เข็ม P/5 และติดฐานวางตัวอย่างบนเครื่องวัดเนื้อสัมผัสทำการคาริเบตหัวเข็ม
4. ตั้งสภาวะของเครื่องวัดเนื้อสัมผัสดังนี้

   Mold : Measure Force in Compression

   Option : Return to Start

   Pre-Test Speed = 2.0 mm./s

   Test Speed = 0.5 mm/s

   Distance : 110 %

   Trigger Type : Auto 5 g

   Data Acauisition : 200 pps

5. วางตัวอย่างลงบนฐานวางตัวอย่าง และวัดความกรอบของตัวอย่าง (Run a test) โดยให้หัวเข็มเจาะทะลุตรงกลางของแผ่นตัวอย่าง
6. ประมวลผลการวัดความกรอบที่วัดได้โดยเลือกคำสั่งใน macro ดังนี้

   Go To : Minimum Time

   Drop Anchor Go To : Peak Foece positive, Gradient

1.แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี QDA เพื่อศึกษาปริมาณใยอาหารที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหาร และความชอบรวม โดย Hedonic 9 scale

ชื่อผู้ทดสอบ----------วันที่ ----------เวลา----------

ชื่อผลิตภัณฑ์ ข้าวพองเสริมใยอาหาร

คำอธิบาย กรุณาชิมตัวอย่างต่อไปนี้จากซ้ายไปขวา แล้วขีดเส้นตั้งฉากกับแนวนอนของแต่ละปัจจัยที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน พร้อมทั้งเขียนรหัสกำกับโดยที่ I (Ideal) คือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ต้องการ

คำชี้แจง 1. กรุณาสังเกตการพองตัวของเมล็ดข้าวและสีของเมล็ดข้าวก่อนทดสอบชิม

2. ลักษณะการพองตัวของเมล็ดข้าว ให้พิจารณาจากความสม่ำเสมอของการพองตัวของเมล็ดข้าว และจำนวนเมล็ดข้าวที่ไม่พองตัว

3. ความรู้สึกภายหลังการกลืนหมายถึง ความรู้สึกแห้ง, สาก หรือระคายภายในปากและลำคอภายหลังการกลืน

คำแนะนำ - กรุณาบ้วนปากก่อนชิมแต่ละตัวอย่าง

ลักษณะการพอง

สม่ำเสมอน้อย สม่ำเสมอมาก

สี

ขาว เหลือง

กลิ่นหอมของข้าว

น้อย มาก

ความกรอบ

น้อย มาก

ความรู้สึกหลังการกลืน

น้อย มาก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic scale

คำอธิบาย กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาพร้อมทั้งประเมินความชอบโดยรวมของแต่ละตัวอย่าง แล้วให้คะแนนระดับความชอบและไม่ชอบผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่างโดยทำเครื่องหมาย / ให้ตรงกับระดับความชอบของท่านต่อตัวอย่างนั้น ๆ

คำแนะนำ กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างและระหว่างการชิมตัวอย่างทุกครั้ง

รหัสตัวอย่าง					
ชอบมากที่สุด					
ชอบมาก					
ชอบปานกลาง					
ชอบเล็กน้อย					
เฉย ๆ					
ไม่ชอบเล็กน้อย					
ไม่ชอบปานกลาง					
ไม่ชอบมาก					
ไม่ชอบมากที่สุด					

2. แบบสอบถามผู้บริโภคต่อทัศนคติและคุณลักษณะทั่วไปของข้าวพองเสริมใยอาหาร

แบบสอบถามนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของ นางณัฐนันทน์ ชุมแก้ว นักศึกษาปริญญาโทสาขาเทคโนโลยีการอาหาร ใคร่ขอความร่วมมือจากท่านช่วยตอบแบบสอบถาม ข้อมูลทุกอย่างที่ท่านตอบมาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยครั้งนี้และจะไม่มีผลใด ๆ ต่อผู้ตอบทั้งสิ้น ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

<u>คำแนะนำ</u> ข้าวพองเสริมใยอาหาร (Puffed rice) เป็นข้าวที่ผ่านกรรมวิธีทำให้พองตัวและเสริมใยอาหารจากรำข้าว จัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ

<u>คำชี้แจง</u> กรุณาทำเครื่องหมาย ในวงเล็บ /( ) หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมที่สุด

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

1.เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

1. อายุ

( ) 15-20 ปี ( ) 21-25 ปี ( ) 26-30 ปี

( ) 31-35 ปี ( ) 35-40 ปี ( ) มากกว่า 40 ปี

2. อาชีพ

( ) นักศึกษา ( ) ข้าราชการ ( ) ธุรกิจส่วนตัว

( ) ลูกจ้าง ( ) แม่บ้าน ( ) อื่น ๆ ระบุ----------

3. การศึกษา

( ) ม.6 หรือ ปวช. ( )ปวส. หรืออนุปริญญา ( ) ปริญญาตรีขึ้นไป

4. รายได้

( ) 4,000 ( )6,000-10,000 ( )10,000-15,000

( ) มากกว่า 30,000

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

1. ท่านรู้จักผลิตภัณฑ์ข้าวพองหรือไม่

( ) รู้จัก ( ) ไม่รู้จัก

2.ท่านเคยรับประทานข้าวพองหรือไม่

( )เคย ( ) ไม่เคย

3. ลักษณะข้าวพองที่ท่านเคยรับประทานมีลักษณะอย่างไร

( ) ข้าวพองทำจากข้าวเหนียวทอด ( ) ขนมรังเล็ต ( ) ข้าวพองอบชนิดแท่ง ปรุงรสของบริษัทแคลล็อก ( ) ข้าวพองอบกรอบชนิดถุง ( ) ข้าวพองไขมันต่ำ ( ) อื่น ๆ----------

4. ท่านรู้จักใยอาหาร (dietary fiber) หรือไม่

( ) รู้จัก ( )ไม่รู้จัก

6.ท่านเคยบริโภคใยอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่มีใยอาหารเป็นส่วนประกอบหรือไม่

( ) เคย ( ) ไม่เคย

7. ท่านคิดว่าใยอาหารมีประโยชน์อย่างไรบ้าง

( )ช่วยลดความอ้วน ( ) ช่วยลดไขมัน ( )ช่วยควบคุมระดับตาลในเลือด ( ) ช่วยลดความดัน ( ) ช่วยให้ระบบขับถ่ายทำงานเป็นปกติ ( )อื่นๆ------

ส่วนที่3 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภค

1.กรุณาชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เสนอให้ แล้วให้ระดับความชอบที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

( ) ชอบมาก ( ) ชอบเล็กน้อย ( )เฉยๆ ( )ไม่ชอบเล็กน้อย ( ) ไม่ชอบมาก

2.ถ้าท่านรู้สึกชอบผลิตภัณฑ์นี้ ท่านคิดว่าเพราะอะไร

( ) อร่อย ( )กรอบ ( )มีคุณค่าทางอาหาร ( ) สะดวกในการบริโภค ( ) อื่น ๆ----------

3.ถ้าท่านรู้สึกไม่ชอบ ท่านคิดว่าเพราะอะไร

( ) ไม่คุ้นเคย ( ) ไม่มีรสชาติ ( ) กลิ่นรสผิดปกติ ( ) อื่น ๆ----------

4. ท่านคิดว่าท่านจะบริโภคข้าวพองชนิดนี้ในลักษณะใด

( )อาหารเช้า ( ) อาหารว่าง ( ) อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ ( ) อื่นๆ---------

5.ท่านคิดว่าข้าวพองควรจะรับประทานข้าวพองกับอะไรได้บ้าง

( )เนย ( ) นม ( )ชา ,กาแฟ ( )น้ำพริกเผา ( ) น้ำตาล

( )ชอกโกเลต ( ) อื่นๆ

6.ถ้าผลิตภัณฑ์ชนิดนี้วางขายในท้องตลาดท่านจะซื้อหรือไม่

( )ซื้อ ( )ไม่ซื้อ

7. ถ้าซื้อเพราะอะไร

( )รสชาติ ( )คุณค่าทางโภชนาการ ( )ความสะดวกในการบริโภค

( ) อื่น ๆ

8. ลักษณะของการจัดจำหน่ายที่ท่านต้องการเป็นแบบใด

( ) บรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ ( ) บรรจุในกระป๋อง

( )บรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศและกล่องกระดาษ ( )อื่นๆ----------

ขอบคุณค่ะ

3. แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี QDA เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวพองเสริมใยอาหาร และ Hedonic 9 scale สำหรับความชอบรวม ของข้าวพองเสริมใยอาหาร ขณะทำการเก็บรักษา

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....เวลา.....

ชื่อผลิตภัณฑ์ ข้าวพองเสริมใยอาหาร

คำอธิบาย กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วขีดเส้นตั้งฉากกับแนวนอนของแต่ละปัจจัยที่ตรงกับความรู้สึกของท่าน

คำแนะนำ กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างและระหว่างการชิมตัวอย่างทุกครั้ง

สี

ขาว เหลือง

กลิ่นผิดปกติ

น้อย มาก

ความกรอบ

น้อย มาก

ความรู้สึกหลังการกลืน

น้อย มาก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Hedonic scale

<u>คำอธิบาย</u> กรุณาชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวาพร้อมทั้งประเมินความชอบโดยรวมของแต่ละตัวอย่าง แล้วให้คะแนนระดับความชอบและไม่ชอบผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่างโดยทำเครื่องหมาย / ให้ตรงกับระดับความชอบของท่านต่อตัวอย่างนั้น ๆ

<u>คำแนะนำ</u> กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่างและระหว่างการชิมตัวอย่างทุกครั้ง

รหัสตัวอย่าง					
ชอบมากที่สุด					
ชอบมาก					
ชอบปานกลาง					
ชอบเล็กน้อย					
เฉย ๆ					
ไม่ชอบเล็กน้อย					
ไม่ชอบปานกลาง					
ไม่ชอบมาก					
ไม่ชอบมากที่สุด					

ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางภาคผนวก ง. 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการพองตัวของข้าวพอง เมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที

SV	DF	SS	MS	F
ทรีตเมนต์	26	32.1229	1.2354	536.88**
เวลา (S)	2	9.3841	4.6920	2038.94**
ความชื้น (M)	2	10.0495	5.0247	2183.52**
อุณหภูมิ (T)	2	4.0997	2.0498	890.78**
SxM	4	2.1772	0.5443	236.53**
SxT	4	0.9253	0.2313	100.53**
MxT	4	1.9517	0.4879	212.03**
SxMxT	8	3.5350	0.4418	192.02**
Error	54	0.1242	0.0023	

** : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

cv : 1.4%

ตารางภาคผนวก ง. 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่า L ของข้าวพอง เมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที

SV	DF	SS	MS	F
ทรีตเมนต์	26	262.8482	10.1095	23.44
เวลา (S)	2	8.5152	4.2576	9.87
ความชื้น (M)	2	19.7051	9.8525	22.85
อุณหภูมิ (T)	2	110.2084	55.1042	127.77
SxM	4	4.0138	1.0034	2.33
SxT	4	61.3756	15.3439	35.58
MxT	4	36.6691	9.1672	21.26
SxMxT	8	22.3608	2.7951	6.48
Error	54	23.2881	0.4312	

** : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

cv : 3.8 %

ตารางภาคผนวกที่ ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความกรอบ ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที

SV	DF	SS	MS	F
ทรีตเมนต์	26	153362419.5	6013939.2	40.83**
เวลา (S)	2	41150140.0	20575077	139.70**
ความชื้น (M)	2	9013599.6	4506799.8	30.60**
อุณหภูมิ (T)	2	40157346.5	20078673	136.33**
SxM	4	7717966.2	1929491	13.10**
SxT	4	30307530.2	7576882.5	51.45**
MxT	4	18673317.2	4668329.3	31.70**
SxMxT	8	934219.9	01167815.0	7.93**
Error	54	7953180.7	147281.1	

** : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

cv : 7.8 %

ตารางภาคผนวก ง. 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของการพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองที่ทำจากข้าวหักร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20

ปัจจัย	SV	Df	SS	MS	F
การพองตัว	ทรีตเมนต์	4	0.010	0.002	1
	Error	10	0.047	0.004	
	cv : 1.7 %				
ค่า L	ทรีตเมนต์	4	1.137	0.284	1.03 ns
	Error	10	2.274	0.275	
	cv : 0.6 %				
ค่าความกรอบ	ทรีตเมนต์	4	84531.6	21132.9	<1
	Error	10	413039.33	41303.9	
	Total	14	497570.93		
	cv : 6.0 %				

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางภาคผนวก ง. 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการพองตัวของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ซ้ำ	9	0.0669	0.0074	1.57 ns
ทรีตเมนต์	4	0.1255	0.0313	6.63**
Error	36	0.1703	0.0047	

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

cv : 8.4 %

ตารางภาคผนวก ง. 6.การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านสีของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ซ้ำ	9	4.6975	0.4886	9.36**
ทรีตเมนต์	4	8.9784	2.2446	43.03**
Error	36	1.8783	0.0521	

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

cv : 14.7 %

ตารางภาคผนวก ง. 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นหอมของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ซ้ำ	9	1.4066	0.1563	6.83**
ทรีตเมนต์	4	0.4583	0.1145	5.01**
Error	36	0.8240	0.0228	

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

cv : 19.6 %

ตารางภาคผนวก ง. 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้านความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ซ้ำ	9	0.1190	0.0132	10.29**
ทรีตเมนต์	4	0.0015	0.0007	<1
Error	36	0.2315	0.0012	

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

cv : 3.9

ตารางภาคผนวก ง. 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ความรู้สึกหลังการกลืนของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ซ้ำ	9	18.9497	2.1055	35.57**
ทรีตเมนต์	4	0.9023	0.2255	3.81*
Error	36	2.1310	0.0591	

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

cv : 20.4 %

ตารางภาคผนวก ง. 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ความชอบรวมของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ซ้ำ	9	6.82	0.7577	2.52*
ทรีตเมนต์	4	22.92	5.73	7.40**
Error	36	27.88	0.7744	

* : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

cv : 16.2 %

ตารางภาคผนวก ง. 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน การพองตัวของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ทรีตเมนต์	4	0.0032	0.0008	<1
Error	10	0.1747	0.1747	
Total	14	0.1779		

cv : 3.1 %

ตารางภาคผนวก ง. 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่า L ของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ทรีตเมนต์	4	85.85	21.46	25.75**
Error	10	7.50	0.8335	
Total	14	93.36		

** มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

cv : 1.1 %

ตารางภาคผนวก ง. 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่าความกรอบ ของข้าวพองเสริมใยอาหาร

SV	DF	SS	MS	F
ทรีตเมนต์	4	82016.40	20504.1	<1
Error	10	355019.33	35509.13	
Total	14	437107.73		

cv : 5.5 %

ตารางภาคผนวก ง. 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางกายภาพ ของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	SV	df	SS	MS	F
คุณภาพทางเคมี					
ปริมาณความชื้น	ทรีตเมนต์	9	8.2103	0.9122	53.05**
	Error	10	0.1719	0.0171	
	Total	19	8.3822		
	cv : 1.6 %				
ค่า Aw	ทรีตเมนต์	9	0.0493	0.0054	264.65**
	Error	10	0.0002	0.0000	
	Total	9			
	cv : 0.7%				
ค่า ทีบีเอ	ทรีตเมนต์	9	0.1122	0.0124	812.57**
	Error	10	0.0001	0.0000	
	Total	19	1.1124		
	cv : 2.9 %				
ปัจจัยทางกายภาพ					
ค่า L	ทรีตเมนต์	9	3.9400	0.4925	2.43 ns
	Error	10	1.8250	0.2027	
	Total	19	5.7650		
	cv : 0.6 %				
ค่าความกรอบ	ทรีตเมนต์	9	28541.723	3171.30	18.45**
	Error	10	1719.01	171.90	
	Total	19	30260.73		
	cv : 20.6 %				

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

** : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางภาคผนวก ง. 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคุณภาพทางประสาทสัมผัส ของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัย	SV	DF	SS	MS	F
ค่าสี	ซ้ำ	9	0.329	0.036	3.0**
	ทรีตเมนต์	9	0.276	0.030	2.52*
	Error	81	0.987	0.121	
	cv : 4.7 %				
กลิ่นผิดปกติ	ซ้ำ	9	0.112	0.012	2.7*
	ทรีตเมนต์	9	73.30	8.145	55.39**
	Error	81	1.173	0.014	
	cv : 8.1 %				
ความกรอบ	ซ้ำ	9	0.644	0.071	1.25 ns
	ทรีตเมนต์	9	251.18	27.90	48.82**
	Error	81	4.65	0.057	
	cv : 4.7 %				
ความรู้สึกหลังการกลืน	ซ้ำ	9	1.0258	0.1028	1.25 ns
	ทรีตเมนต์	9	16.497	1.8330	44.95 **
	Error	81	0.336	0.0041	
	cv : 4.7 %				
การยอมรับรวม	ซ้ำ	9	1.29	0.143	1.53 ns
	ทรีตเมนต์	9	304.29	33.81	77.34**
	Error	81	35.41	0.43	
	cv : 4.7 %				

ns : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

** : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

* : มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางณัฐนันทน์ ชุมแก้ว

วัน เดือน ปี เกิด 1 มิถุนายน 2512

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
เทคโนโลยีการเกษตรบัณฑิต (เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมอาหาร)	สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้	2536