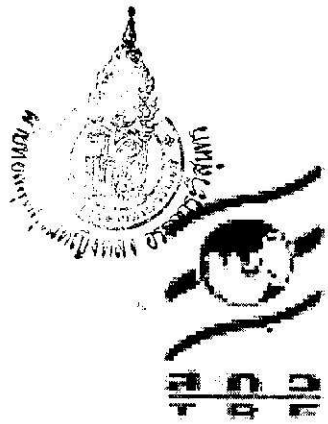


รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ

โดย

รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และคณะ

พฤศจิกายน 2545

224987

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยของพันธุ์ข้าวที่มีต่อการพองตัวของข้าว โดยใช้ข้าวสาร 5 สายพันธุ์ที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) อะไมโลสปานกลาง-ค่อนข้างสูง (พันธุ์ดอกพยอม) และอะไมโลสสูง (พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง เล็บนกปัตตานี และ KGTLK 79133/3/1/2) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 5 เดือน เมื่อทำการทดสอบ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพและอัตราการพองตัว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาข้าวสารเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้น และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลง โดยที่ปริมาณอะไมโลส และไขมันไม่มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับอัตราการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวโดยวิธีการทอดพบว่า ข้าวสารที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ปริมาณความชื้น ร้อยละ 12 และอุณหภูมิที่ใช้ในการทอด 200 องศาเซลเซียส มีอัตราการพองตัวสูงสุด ประมาณ 5.35 เท่า การที่อัตราการพองตัวสูงจะมีผลต่อค่าความกรอบเพิ่มขึ้น มีความขาวเพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโปรตีนลดลง และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวสารเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการพัฒนาข้าวพองที่มีใยอาหารสูง โดยใช้ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทำให้พองตัวด้วยเครื่องมือผลิตข้าวพอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองจากข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้แก่การใช้ข้าวนึ่งที่มีความชื้น ร้อยละ 13 อุณหภูมิของแม่พิมพ์ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที จะให้ข้าวพองที่มีการพองตัวสูงสุดเท่ากับ 4.4 มล.ก มีค่าความสว่างและค่าความกรอบเท่ากับ 84.96 และ 3370 กรัม ตามลำดับ และผลการเปรียบเทียบปริมาณข้าวหักต่อการพองตัวของข้าว ในสภาวะที่เหมาะสมข้างต้น พบว่าปริมาณข้าวหัก ร้อยละ 5 –20 ไม่มีผลต่อการพองตัว ค่าความสว่าง และค่าความกรอบของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

การเติมใยอาหารที่สกัดจากรำข้าวในผลิตภัณฑ์ข้าวพอง ด้วยปริมาณ 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 หลังจากทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 บรรจุแบบสุญญากาศในถุงกลาสติกชนิดฟิล์มประกบ 2 ชั้น ระหว่าง พอลิเอทิลีน/พอลีแอ

ไมด์ (PA/PE) พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณ ความชื้น ค่า Aw ค่าทีบีเอเพิ่มขึ้น และความกรอบลดลง ในขณะที่คะแนนด้านการยอมรับของผู้บริโภคลดลง อย่างไรก็ตามผู้บริโภคยังยอมรับผลิตภัณฑ์แม้เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

Abstract

Production of puffed rice for health was carried out by preliminary studies the effect of rice varieties of milled rice on puffing. Five varieties of milled rice from Phattalung Rice Research Station were used for this study. The amylose content of the sample was classified into three groups which are low amylose content (Khaodakmali 105), medium to high amylose content (Dokpayom), and high amylose content (Cheingphattalung, Lebnokphattani, and KGTLR 79133/3/1/2). The samples stored at ambient temperature for five months were analyzed for chemical, physical properties and degree of puffing. The results showed that the moisture content and hardness were significantly increased ($P<0.05$) while protein content decreasing. The amylose and fat content were constant while the degree of puffing trended to increase.

The optimum conditions for deep fat frying were studied. The highest degree of puffing was obtained by using a low amylose content varietry of rice with 12% moisture content at 200^{0} C. The puffed volume increased when the protein and the ratio of length to width of milled rice decreased.

Developing puffed rice with high dietary fiber was also studied by using Khoadokmali 105. A puffed rice machine was designed and constructed for this experiment. The optimum condition of puffing the rice was 13% moisture content, mold temperature at 170^{0} C and 6 seconds. The puffed rice cake has puffed volume 4.4 ml/g, the crispness in term of compression force and the colour in term of L-value were 3370 g and 84.96 respectively. The effect of broken milled rice percentage on the physical properties of puffed rice (0, 5, 10, 15 and 20) were studied at optimum conditions. The results showed that broken milled rice between 5-20 percent gave the puffed volume, color and crispness were not significantly different ($P>0.05$)

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 on puffing volume, color, rice flavor and after taste were determined with the QDA method by trained panelists. It was found that the increased dietary fiber content caused the average score of color and after tasty increased as well as decreasing puffed volume and flavor. The acceptability of the product decreased significantly ($P<0.05$). The puffed rice with 1.5% dietary fiber

composed of 4.57, 0.49 and 0.97 of total dietary fiber, insoluble dietary fiber and soluble dietary fiber, respectively. The puffed rice with 1.5% dietary fiber packed in a laminated film bag (PA/PE) was stored at room temperature for nine weeks. The study found that the moisture content, Aw and TBA increased and crispness in term of compression force decreased. However, the product was accepted by trained panelists.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
สารบัญ	(2)
สารบัญภาพ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
บทสรุปของผู้บริหาร	(7)
บทคัดย่อ	(9)
Abstract	(11)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 ข้าวและโครงสร้างของเมล็ดข้าวสาร	2
1.3 การจำแนกข้าว	3
1.4 องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของเมล็ดข้าว	5
1.5 คุณภาพในการนำข้าวไปทำผลิตภัณฑ์	10
1.6 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง	10
1.7 การพองตัวของข้าว	11
1.8 ปัจจัยและสภาวะที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว	15
1.9 รำข้าว	19
1.10 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวพองระหว่างการเก็บรักษา	22
2. วิธีการดำเนินการวิจัย	
2.1 วัสดุ	24
2.2 อุปกรณ์	24
2.3 การดำเนินการวิจัย	26
3. ผลและวิจารณ์ผล	
3.1 องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของข้าวสารจากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง จำนวน 5 สายพันธ์	32
3.2 ผลของการเก็บเมล็ดข้าวสารที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ	35

เรื่อง	หน้า
3.3 อายุการเก็บรักษาเมล็ดข้าวที่มีผลต่อการพองตัว	40
3.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของเมล็ดข้าวสาร	46
3.5 ภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวขาวดอกมะลิ 105	53
3.6 ผลของข้าวหักต่อการพองตัวของข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	61
3.7 การสกัดใยอาหารจากรำข้าว	63
3.8 อัตราส่วนของใยอาหารที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหาร	66
3.9 การเปลี่ยนแปลงของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา	71
4. สรุป	78
เอกสารอ้างอิง	80

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	3
2	โครงสร้างของอะไมโลส	7
3	โครงสร้างของอะไมโลเพกทิน	7
4	เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine	14
5	เครื่องทำข้าวพอง	27
6	กระบวนการสกัดใยอาหารจากรำข้าว	29
7	ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการทอดของพันธุ์ข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (a) ปานกลาง-ค่อนข้างสูง (b) และสูง (c) ที่มีความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน	50
8	ค่า a ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการทอดของพันธุ์ข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (a) ปานกลาง-ค่อนข้างสูง (b) และสูง (c) ที่มีความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน	51
9	ค่า b ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการทอดของพันธุ์ข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (a) ปานกลาง-ค่อนข้างสูง (b) และสูง (c) ที่มีความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน	52
10	การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 11 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5,6 และ 7 วินาที	54
11	การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 12 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5,6 และ 7 วินาที	55
12	การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5,6 และ 7 วินาที	56
13	การพองตัวของข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หัก 5 ระดับ	62
14	ค่า L ของข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หัก 5 ระดับ	63
15	ค่าความกรอบ (แรง-กรัม) ของข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หัก 5 ระดับ	63
16	รำข้าวและใยอาหารจากรำข้าว	65
17	ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารในปริมาณร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2	67
18	การเปลี่ยนแปลงค่าบีทีเอ ความชื้น และ Aw ของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา	73
19	การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา	74

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณการส่งออกข้าวของไทย ระหว่างปี 2541 – 2545 (มกราคม – เมษายน)	1
2	ปริมาณอะไมโลสและลักษณะรูปร่างของพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย	4
3	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเจ้า (พันธุ์ต่าง ๆ)	5
4	การแบ่งประเภทของข้าวตามความต้องการของแป้งสุก	8
5	การแบ่งประเภทข้าวตามอุณหภูมิแป้งสุก	9
6	ส่วนประกอบทางโภชนาการและค่าพลังงานของรำข้าวและรำข้าวปราศจากน้ำมัน	19
7	ปริมาณใยอาหารรวมในอาหารประเภทต่าง ๆ (กรัมต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม)	20
8	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาร 5 สายพันธุ์ จากศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดพัทลุง	33
9	สมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวสาร	34
10	การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา	36
11	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา	38
12	ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด	41
13	ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์ดอกพยอม ต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด	42
14	ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด	43
15	ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์เล็บนกปัดตานีต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด	44
16	ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์ KGTLR 97133 – 3 – 1 - 2 ต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด	45
17	อัตราการพองตัวโดยการทอดของตัวอย่างข้าวที่มีระดับอะไมโลส ความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน	46
18	ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการทอดของตัวอย่างข้าวที่ระดับอะไมโลส ความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน	48
19	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105	53
20	การพองตัวของข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที	58

ตารางที่ **หน้า**

21 ค่า L ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้เกิดการพองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที 59

22 ค่าความกรอบ (แรง-กรัม) ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที 61

23 ความยาว, ความกว้าง และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวที่เปอร์เซ็นต์หักต่าง ๆ 61

24 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว 64

25 องค์ประกอบของใยอาหารที่สกัดได้จากรำข้าว 66

26 คะแนนเฉลี่ยของปัจจัยคุณภาพของข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าวที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธีทดสอบแบบ QDA 69

27 ค่าการพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 69

28 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 71

29 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา 77

บทที่ 1
บทนำ
(Introduction)

1.1 คำนำ

ข้าวเป็นธัญพืชหลักและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยและภูมิภาคเอเชีย ปัจจุบันข้าวเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ (จากผลผลิตร้อยละ 60 บริโภคภายในประเทศ และอีกร้อยละ 40 ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศในรูปของข้าวเปลือกและข้าวสาร) (ตารางที่ 1) สามารถทำให้เกษตรกรและประเทศชาติได้เงินตราต่างชาติ เป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 1 ปริมาณการส่งออกข้าวของไทย ระหว่างปี 2541 – 2545 (มกราคม – เมษายน)

ปริมาณ : ตัน

พ.ศ. / ตลาด	2541	2542	2543	2544	ม.ค. – เม.ย.		
					2544	2545	% เปลี่ยน
เอเชีย	3,199,656	2,503,699	1,949,741	2,036,074	511,758.34	727,978.65	42.25
ตะวันออกกลาง	797,101	1,376,596	1,389,625	1,060,860	299,751.20	294,604.50	-1.72
ยุโรป	274,273	246,388	325,597	410,207	162,238.78	110,120.61	-32.12
แอฟริกา	1,468,189	2,185,202	2,558,818	3,558,058	804,987.41	1,002,249.00	24.50
อเมริกา	578,473	318,095	299,105	383,238	122,566.96	111,712.44	-8.86
โอเชียนเนีย	91,162	84,039	76,507	76,932	25,723.10	22,113.21	-14.03
รวม	6,408,854	6,714,019	6,599,393	7,545,368	1,927,025.79	2,268,778.41	17.73
มูลค่า (ล้านบาท)	85,396	72,325	68,102	69,265	18,580.62	19,411.60	4.47

ที่มา : กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ : http//www.dft.moc.go.th.

ปัจจุบันมีหลายประเทศได้พยายามพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ทำให้มีข้าวเข้ามาแข่งขันในตลาดมากขึ้น ซึ่งการแข่งขันดังกล่าว ทำให้เทศไทยต้องปรับปรุงและพัฒนาทั้งคุณภาพ และกระบวนการผลิต รวมถึงการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าข้าว

การส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวที่สำคัญของไทย ประกอบด้วย อาหารเส้น (ก๋วยเตี๋ยว / เส้นหมี่) ขนมปังกรอบ ขนมจีน แป้งแผ่น แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวจ้าว และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งด้านปริมาณและมูลค่าการส่งออก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่อหน่วยสูง ได้แก่ ขนมปังกรอบ นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปจากข้าวที่ใช้อุปโภค เช่นแป้งที่ใช้เป็นส่วนผสมของยา แป้งที่ใช้เคลือบผ้าหรือเคลือบกระดาษ แป้งทาตัวเด็ก และแป้งที่ใช้เคลือบถุงมือ

ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (puffed rice product) เป็นการพัฒนาการแปรรูปข้าวชนิดหนึ่ง โดยทำให้ข้าวเกิดการพองตัวรวมกันโดยไม่ต้องใช้ตัวจับยึด (binder) มีลักษณะแบน พองกรอบ ให้พลังงานต่ำประมาณ 35 – 40 กิโลแคลอรี่ น้ำหนักต่อชิ้นประมาณ 9 – 10 กรัม สามารถพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้ เช่นการเสริมใยอาหาร แร่ธาตุ หรือไวตามิน ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อินเดีย และออสเตรเลีย เป็นต้น (Hsieh, *et al*, 1989)

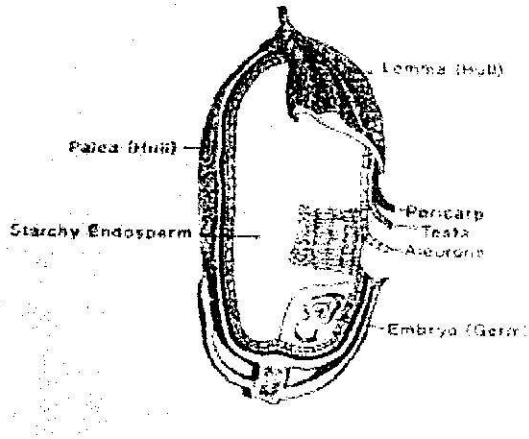
สำหรับการผลิตข้าวพองในประเทศไทยได้ทำกันมานานแล้ว ผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นชาวชนบท และทำกันเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว กรรมวิธีการผลิตอาศัยการเรียนรู้สืบทอดกันมาแต่บรรพบุรุษ และใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบหลัก ทำให้พองโดยการทอดจึงทำให้มีปัญหาด้านกลิ่นหืน และปริมาณไขมันสูง จึงยังไม่เป็นที่ยอมรับ (มาลี ชิ้มศรีสกุล, 2535)

จากการที่ประเทศไทยมีความพร้อมทางด้านวัตถุดิบ เทคโนโลยีการผลิต และด้านการตลาด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ โดยเฉพาะในสังคมที่มีความระมัดระวังในเรื่องสุขภาพและความเร่งด่วนแข่งกับเวลา ข้าวพองเพื่อสุขภาพสามารถใช้เป็นอาหารเช้าแทนขนมปังได้

1.2 ข้าวและโครงสร้างของเมล็ดข้าว

ข้าว (*oryza sativa L.*) เป็นพืชเมล็ด ที่ปลูกมากกว่า 100 ประเทศ อยู่ในช่วงละติจูด 53 องศาเหนือ ถึง 40 องศาใต้ และที่ระดับน้ำสูงกว่าระดับน้ำทะเล 3,000 เมตร เช่น ประเทศในแถบเอเชีย บราซิล อาฟริกาใต้ (Luh, 1991)

ลักษณะทั่วไปของเมล็ดข้าว (ภาพที่ 1) ประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด เรียกว่า แกลบ ส่วนในที่มีเปลือกหุ้มอยู่เรียกว่า เนื้อข้าว หรือข้าวสาร ดังนั้นก่อนที่จะมาเป็นข้าวสารได้จะต้องผ่านกรรมวิธีแยกเปลือกออกก่อน เรียกว่า กรรมวิธีสีข้าว



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา : Champagne (1994)

1.3 การจำแนกข้าว

ข้าวจำแนกได้หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยและสิ่งแวดล้อมตั้งแต่การปลูก การเก็บเกี่ยว ตลอดจนการเก็บรักษา การจำแนกข้าวสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1.3.1 จำแนกลักษณะรูปร่างของเมล็ด ตามวิธีของ IRRI (1993)

1. เมล็ดยาวมาก (extra long) มีความยาวมากกว่า 7.5 มิลลิเมตร
2. เมล็ดยาว (long) มีความยาวตั้งแต่ 6.61 – 7.5 มิลลิเมตร
3. เมล็ดยาวปานกลาง (medium) มีความยาวตั้งแต่ 5.51 – 6.60 มิลลิเมตร
4. เมล็ดสั้น (short) มีความยาวน้อยกว่า 5.50 มิลลิเมตร

1.3.2 การจำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น (2530) ได้จำแนกไว้ดังนี้

1. ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) ประกอบด้วย สตาร์ช ประมาณ ร้อยละ 90 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ อะไมโลส ร้อยละ 10 – 30 และ อะมิโลเพกทิน ร้อยละ 60 – 90

2. ข้าวเหนียว (glutinous rice) มีปริมาณอะมิโลเพกทิน มากกว่าร้อยละ 95 และมีปริมาณอะไมโลสอยู่เพียงเล็กน้อย บางครั้งอาจไม่พบเลย

1.3.3 จำแนกตามปริมาณอะไมโลสในเมล็ดข้าว งามชื่น คงเสรี (2536) ได้กำหนดไว้ดังนี้

1. ข้าวอะไมโลสต่ำ เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่าร้อยละ 19 ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105, ข้าว กข 15 และข้าว กข 21

2. ข้าวอะไมโลสปานกลาง เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส ระหว่างร้อนละ 20 – 25 ได้แก่ ข้าวนางมลเอส 4 และข้าวปากหม้อ 148

3. ข้าวอะไมโลสปานกลางค่อนข้างสูง เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส ระหว่าง 25 – 29 ได้แก่ ข้าวเก้ารวย 88, ข้าว กข 7, ข้าว กข 23 และข้าว กข 27

4. ข้าวอะไมโลสสูง เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสระหว่างร้อยละ 29 – 34 ได้แก่ ข้าว กข 1 , ข้าว กข 5, ข้าว กข 11, ข้าว กข 13, ข้าว กข 17, ข้าว กข 19 , ข้าว กข 25 และข้าว กข 123

ตารางที่ 2 ปริมาณอะไมโลสและลักษณะรูปร่างของพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทย

ชื่อพันธุ์	ความยาวเมล็ด (มม.)	ปริมาณอะลิโลส (ร้อยละ)
กลุ่มอะไมโลสต่ำ		
ข้าวขาวดอกมะลิ 105	7.4	12 – 16
กข 15	7.5	14 – 17
กข 21	7.3	18 - 20
กลุ่มอะไมโลสปานกลาง – ค่อนข้างสูง		
สุพรรณบุรี 60	7.5 - 7.4	21 - 25
กข 17	7.0	24 - 28
กข 23	7.5	25 - 29
กลุ่มอะไมโลสสูง		
เหลืองประทิว 123	7.4	28 – 32
เล็บมือนาง 111	7.6	29 – 32
กข 13	7.9	30 - 32

ที่มา : ดัดแปลงจาก งามชื่น คงเสรี (2536)

1.4 องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในเมล็ดข้าว ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน (ตารางที่ 3) ย่อมมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดข้าว และการนำเมล็ดข้าวไปแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณ ร้อยละ 90 แบ่งเป็น อะไมโลส และอะมิโลเพกทิน ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน สำหรับปริมาณโปรตีนซึ่งมีอยู่ในปริมาณไม่มากนัก (6.8 กรัมต่อ 100 กรัม) จะมีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม และรับประทาน โดยทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวช้าลง ส่งผลต่อความขุน ความเหนียว และความเลื่อมมันลดลงด้วย ในขณะที่ปริมาณไขมัน ซึ่งรวมอยู่กับเม็ดสตาร์ชและโปรตีน จะมีผลต่อการเสื่อมเสียของข้าว และผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา (งามชื่น คงเสรี, 2531 ; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเจ้า (พันธุ์ต่าง ๆ)

องค์ประกอบทางเคมี		ปริมาณต่อ 100 กรัม
ความชื้น	กรัม	11.7
โปรตีน (N × 5.95)	กรัม	6.8
ไขมัน	กรัม	0.7
คาร์โบไฮเดรต	กรัม	80.3
ใยอาหาร	กรัม	0.6
เถ้า	กรัม	0.5
แคลเซียม	มิลลิกรัม	19
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	105
เหล็ก	มิลลิกรัม	1.2
โซเดียม	มิลลิกรัม	27
โพแทสเซียม	มิลลิกรัม	71
ทองแดง	มิลลิกรัม	0.10
สังกะสี	มิลลิกรัม	0.5
ไทอะมีน	มิลลิกรัม	0.10
ไรโบฟลาวิน	มิลลิกรัม	0.04
ไนอะซิน	มิลลิกรัม	2.6

ที่มา : Puwastien และคณะ (2000)

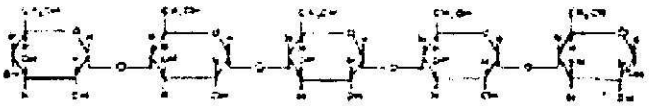
คุณภาพของเมล็ดข้าว ปกติจะพิจารณาตามความเหมาะสมที่ผู้บริโภคจะตัดสินว่าตรงตามความต้องการหรือไม่ ซึ่งรวมถึงคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพการสี คุณภาพในการหุงต้ม การนำไปรับประทาน และคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าว โดยอาจแบ่งตามคุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดข้าว เป็น 2 ชนิด (Webb, 1972)

1.4.1 คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ชั่ง ตวง หรือวัดได้ เช่น สีของข้าวเปลือก สีของข้าวกล้อง (pericarp colour) ขนาดรูปร่างของเมล็ด (grain dimension) น้ำหนักเมล็ด (grain weight) ลักษณะของท้องไข่ (chalkiness ความใสของเมล็ด (grain translucency) ความขาวของข้าวสาร (whiteness of milled rice) และคุณภาพการสี (milling quality) เป็นต้น (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

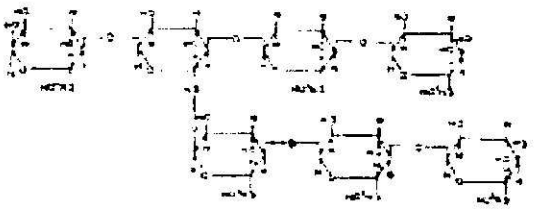
1.4.2 คุณภาพเมล็ดทางเคมี หมายถึง สมบัติและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมล็ดทางเคมี เช่น ชนิดและปริมาณสตาร์ช โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และอื่น ๆ รวมตลอดถึงคุณภาพการหุงต้ม การรับประทาน และการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและสมบัติของสตาร์ชในเมล็ดข้าว แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. อะไมโลส (amylose) ประกอบด้วยหน่วยย่อย (monomer) ของ D-glucopyranose มาต่อกันเป็นเส้นตรงโดยพันธะ $\alpha(1\rightarrow4)$ glycosidic จำนวนหน่วยย่อยอาจมีได้ตั้งแต่น้อย ๆ หน่วยขึ้นไปถึง 3,000 หน่วย (Webb and Stermer, 1972) ภาพที่ 2 มีคุณสมบัติแตกต่างจากอะมิโลเพกทิน (amylopectin) คือ เมื่อสุกจะทำให้ความเหนียวของข้าวสุกลดลง และหากทิ้งไว้ให้เย็น อะไมโลสนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ข้าวสุกแข็งกระด้างและร่วนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ อะไมโลสยังทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ดีกว่าอะมิโลเพกทิน 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 (Webb and Stermer, 1972) ดังภาพที่ 3 เมื่อทำให้สุกแล้วจะมีลักษณะเหนียว และดูดซึมน้ำไว้ในตัวได้จำกัด ดังนั้นอะมิโลเพกทินจึงมีส่วนทำให้ข้าวสุกเหนียว และนุ่ม ถ้าใส่น้ำในการหุงมากเกินไป น้ำส่วนเกินจะมาเกาะอยู่ตามผิวเมล็ดและทำให้ข้าวสุกมีลักษณะแฉะ (ปราณี วราสวัสดิ์, 2536)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลส
ที่มา : webb และ Stermer (1972)



ภาพที่ 3 โครงสร้างขออะไมโลเพกทิน
ที่มา : webb และ Stermer (1972)

โมเลกุลของอะไมโลสและอะมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์ชจะจัดเรียงตัวกันเป็นกลุ่ม แบ่งได้ 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบเหมือนผลึก ซึ่งเป็นส่วนของอะไมโลส มีการพองตัวจำกัด เรียกส่วนนี้ว่า crytalline region อีกกลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ดูดน้ำได้ดี เรียกส่วนนี้ว่า amorphous region เป็นส่วนที่อยู่รอบ ๆ ผลึก ซึ่งประกอบด้วยอะมิโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในสตาร์ชที่มีอะมิโลเพกทินสูงจะมีส่วนที่เป็น crytalline region น้อย จึงสามารถดูดน้ำได้รวดเร็ว พองตัวได้ดีเมื่อเทียบกับแป้งที่มีอะไมโลสสูง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

3. ความคงตัวของแป้งสุก

แม้ว่าในข้าวบางพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสเท่ากัน แต่ยังมีความแตกต่างในคุณภาพ IRRI (international Rice Research Institute) (1972) จึงได้คิดค้นหาวิธีการทดสอบคุณภาพในการรับประทานให้แน่ชัดขึ้น เรียกว่าการทดสอบความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency test) อาศัยหลักการทำให้แป้ง 100 มิลลิกรัมใส โดยการต้มในสารละลายด่างเข้มข้น 0.2 นอร์มาล 2 มิลลิเมตร นาน 8 นาที แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และวัดระยะทางที่แป้งสุกไหลไปเมื่อวางบนพื้นราบนาน 30 นาที Cagampang และคณะ (1973) ได้จัดแบ่งประเภทของข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก ดังตารางที่ 4 ความคงตัวของแป้งสุกที่มีผลต่อความนุ่ม และแข็งของข้าวนั่นคือ ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อนจะนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง แม้ว่าจะมีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกันก็ตาม (งามชื่น คงเสรี, 2531)

ตารางที่ 4 การแบ่งประเภทของข้าวตามความต้องการของแป้งสุก

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แข็ง	ต่ำกว่า 35
ค่อนข้างแข็ง	36 – 40
ปานกลาง	41 – 60
อ่อน	มากกว่า 60

ที่มา : Cagampang และคณะ (1973)

4. อุณหภูมิการเกิดเจล

อุณหภูมิการเกิดเจล คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่ทำให้เม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำดูดน้ำและพองตัวขึ้น จนกระทั่งความร้อนทำลายการจัดตัวภายในเม็ดแป้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในอย่างถาวร ให้แป้งเปลี่ยนสภาพผลึกหลายเหลี่ยมเป็นลักษณะที่ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน (ปราณี วราสวัสดิ์, 2536) อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม ถ้าข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะหุงสุกช้ากว่าข้าวที่อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2531) ซึ่งแบ่งประเภทของข้าวตามระดับอุณหภูมิของแป้งสุกดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การแบ่งประเภทข้าวตามอุณหภูมิแป้งสุก

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

ที่มา : Juliano (1985)

5. โปรตีน

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

6. สารมีกลิ่นในเมล็ดข้าว

ข้าวบางพันธุ์มีลักษณะที่ทำให้เป็นที่นิยมเป็นพิเศษคือ มีกลิ่นหอม เช่น ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิหรือข้าวหอมมะลิ กลิ่นหอมนี้ประกอบด้วยสารระเหยไม่ต่ำกว่า 100 ชนิด โดยมีองค์ประกอบหลักเป็น 2-acetyl – 1 – pyrroline (Battery, 1983) ซึ่งจะไม่พบในข้าวที่ไม่มีกลิ่นหอมและความเข้มข้นของสารจะลดลงเมื่อข้าวมีอายุการเก็บนานขึ้น (Lin *et al.*, 1990)

1.4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา

โดยปกติการเก็บรักษาในรูปข้าวสาร จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาดของเมล็ดข้าว แต่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในเมล็ด ซึ่งมีผลต่อคุณภาพในการขัดสี คุณภาพของข้าวกล้องและข้าวสาร ในการหุงต้มและการบริโภค การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเมล็ดข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแสดงให้เห็นไม่เด่นชัด โดยปริมาณสตาร์ช อะไมโลส และโปรตีน มีปริมาณใกล้เคียงกับข้าวใหม่ แต่การเปลี่ยนแปลงอาจมีผลมาจากการปรับสภาพการละลาย และการเกิดเจลของสตาร์ชและโปรตีนให้เป็นสารที่คงตัวขึ้น และไม่ละลายในน้ำมากขึ้น มีผลให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้น เมื่อข้าวสารที่เก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งมาหุงต้ม จะพบว่าเมล็ดข้าวจะดูดซึมน้ำที่ใช้หุงต้มได้มาก ทำให้ปริมาตรของข้าวที่หุงสุกสูงกว่าการหุงข้าวใหม่ ลักษณะข้าวสุกจะแข็งและร่วนมากกว่าข้าวใหม่ และมีความคงตัวของเจลเพิ่มขึ้น ในขณะปริมาณกรดไขมันอิสระและกรดฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อกลิ่นของข้าวสุก

Dhaliwal และคณะ (1991) ทดลองนำตัวอย่างข้าวเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 1, 6 และ 12 เดือน พบว่า ปริมาณโปรตีนจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณไขมัน พบว่า กรดไขมันอิสระจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ งามชื่น คงเสรี และ Takeshita (2536) ทดลองเก็บรักษาข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวกล้องที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 3 เดือน มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณไขมันทั้งหมด ซึ่งกรดไขมันอิสระจะส่งผลให้เกิดกลิ่นสาบในข้าว แต่ข้าวกล้องที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 6 เดือน โดยเมื่อนำมาหุงคุณภาพของข้าวสุกมีความใกล้เคียงกับข้าวใหม่ นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 6 เดือน พบว่า ปริมาณอะไมโลสของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

Bhattacharya และ Nath (1985) รายงานว่า การเก็บรักษาข้าวในถุงพลาสติกชนิดโพลิเอทธิลีน เป็นระยะเวลา 120 วัน จากนั้นนำมาศึกษาการพองตัว พบว่า เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นการพองตัวของข้าวมีอัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

1.5 คุณภาพในการนำข้าวไปทำผลิตภัณฑ์

มาลี ชิ้มศรีสกุล (2535) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวมักใช้ข้าวที่มีคุณภาพแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสัดส่วนของปริมาณอะไมโลส และอะมิโลเพกทิน ข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะไมโลสอยู่เลย มักใช้เป็นของหวาน ขนมพุดดิ้งและซอสต่าง ๆ ข้าวที่มีอะไมโลสต่ำนิยมนำไปผลิตเป็นอาหารเช้าจากธัญพืช และอาหารสำหรับเด็กอ่อน เนื่องจากปริมาณอะไมโลสทำให้เกิดเจลอยู่ตัวได้นาน ซึ่งทำให้แข็งตัวข้าในระหว่างการเก็บรักษา โรงงานผลิตข้าวพองจากข้าวนึ่ง และข้าวตอกซึ่งผลิตจากข้าวสารนิยมใช้ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เนื่องจากความสามารถในการพองตัวมีมาก ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลางนิยมใช้ทำซุปกระป๋อง และส่วนผสมซุปแห้ง (dry soup mix) ข้าวอะไมโลสสูงให้เจลที่แข็งคงตัว เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเนื่องจากมีความคงตัวสูงมาก ทนทานต่อการสลายในระหว่างการหุงต้มและเป็นแผ่นดีมาก

1.6 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (Puffed Rice Product)

ข้าวพองจัดเป็นอาหารจากธัญพืชที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ เช่น อินเดีย ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และฟิลิปปินส์ ในประเทศอินเดีย ข้าวพองเป็นอาหารดั้งเดิมที่ได้รับความนิยม เนื่องจากราคาไม่แพง ทำได้ง่ายโดยการนำข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งมาคั่วกับทรายร้อน ข้าวยังคงเป็นเม็ดมีความกรอบและมีสีขาว (Chandrasekhar and Chattopadhyay, 1991) Hsieh และคณะ (1989)

กล่าวว่าข้าวพองที่ผลิตในประเทศอเมริกา และออสเตรเลียมีลักษณะเป็นแผ่นแบน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้พองตัวโดยไม่ใช้สารช่วยในการจับยึด (binder) สีขาว มีความเป็นรูพรุนมากจึงพองกรอบ มีแคลอรี่ต่ำประมาณ 35-40 กิโลแคลอรี่ มีความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนัก 9-10 กรัมต่อชิ้น มีส่วนผสมหลักคือข้าวสาร หรือข้าวกล้อง

1.7 การพองตัวของข้าว

Hsieh และ Luh (1991) อธิบายว่า การพองตัวเป็นผลมาจากความร้อนและความดัน โดยความร้อนจะมีผลทำให้เกิดการสุก และไอน้ำในข้าวเกิดการขยายตัวในช่องว่างหรือรูของเมล็ดข้าวทำให้เกิดการพองตัว ซึ่งในช่วงการพองตัวน้ำจะระเหยออกไปทำให้ปริมาตรของการพองตัวคงที่ ความร้อนได้จากไอน้ำที่มีความดันสูงภายในภาชนะที่ปิดสนิท จากนั้นก็จะลดความดันลงทันทีโดยเปิดผนึกของภาชนะที่ปิดอยู่ น้ำจะระเหยกลายเป็นไออย่างทันทีทันใด ทำให้พองตัว อยู่ตัว และมีความกรอบ

Luh (1980) ได้แบ่งกระบวนการทำให้ข้าวพองตัวออกเป็น 2 รูปแบบ

1. กระบวนการผลิตภายใต้สภาพบรรยากาศปกติ อาศัยการใช้ความร้อนเพื่อให้น้ำในเมล็ดข้าวกลายเป็นไอน้ำอย่างทันทีทันใด 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

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 คั่วซ้ำอีกครั้งด้วยทรายร้อนอุณหภูมิ 240-540 องศาเซลเซียสในอัตราส่วน 1:10 เป็นเวลา 11-13 วินาที ร่อนเอาทรายออกจะได้ข้าวพองที่มีความชื้นร้อยละ 1-2 (Chinnaswany and Bhattacharyay 1983 a) Chandrasekhar and Chattopadhyay (1992) กล่าวว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่มีกำลังการผลิตต่ำเพียง

2.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอาจจะแยกทรายออกไม่หมด ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเทคโนโลยีนี้จึงควรมีการปรับปรุง

1.3 **การใช้ตู้อบลมร้อน** (Hot air oven)

การผลิตข้าวพอะโดยการใช้ตู้อบลมร้อนมี 2 ลักษณะ คือ

1.3.1 การใช้อากาศร้อนอย่างเดียว

Guraya และ Toledo (1994) กล่าวว่า การทำข้าวพองโดยการใช้แป้งข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นเป็นร้อยละ 10-12 ทำให้เกิดการพองตัวโดยการใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 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 นำมานึ่งอีกครั้งโดยการใช้ความดัน 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร 20 นาที อบแห้ง ขัดสีเอาเปลือกออก นำมาทำให้เกิดการพองตัวโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสพบว่าข้าวจะเกิดการพองตัวสมบูรณ์เมื่อใช้เวลา 11 นาที 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 ข้าวที่ผ่านการพองตัวแล้วจะลอยตัวเนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำและถูกดูดออกไปจากตู้ เป็นการประหยัดพลังงานเพราะลมร้อนจะหมุนเวียนอยู่ในตู้ เป็นวิธีที่ง่ายและข้าวพองที่ได้สะอาดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ทรายร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 50 และ Chandrasekhaw และ Chattopadhyay (1989) ได้ทดลองผลิตข้าวพอง

โดยใช้เครื่องนี้ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 240 – 270 องศาเซลเซียส เวลา 7-9.7 วินาที สามารถทำให้ข้าวมีอัตราการพองตัว 8.5-10

2. กระบวนการผลิตภายใต้สภาพความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็ว บรรจุวัตถุดิบที่มีความชื้นในภาชนะที่ปิดสนิท เมื่อเคลื่อนภาชนะที่ปิดอยู่ทำให้อนุภาคที่มีความชื้นได้รับความร้อนอย่างยิ่งยวด ไปสู่ที่ที่มีความดันต่ำกว่าอย่างทันทีทันใด วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการหรือการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของภาชนะที่ใช้ปิดซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุภายในที่มีความชื้นเมื่อถูกทำให้อุณหภูมิสูง ในภาชนะที่ปิดสนิทอย่างแน่นหนา และเมื่อเปิดออกสู่ความดันบรรยากาศภายนอกอย่างทันทีทันใด จะเกิดการพองตัว

2.1 การทำให้พองโดยใช้เครื่อง Gun Puffing

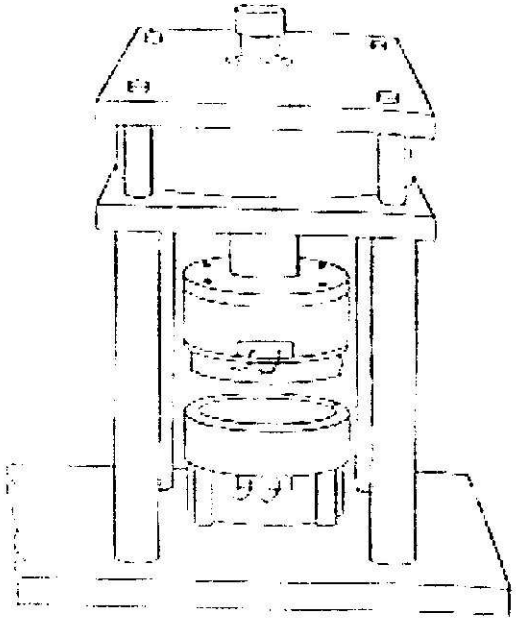
Luh (1991) กล่าวว่า Gun Puffing เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Gun) ภายในเป็นท่อสามารถหมุนได้ ภายในผนังท่อชั้นสุดท้ายจะเคลือบด้วยเหล็กกล้าเพื่อรองรับความดันที่สูงและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นเครื่องมือที่สามารถปลดปล่อยความดันได้อย่างรวดเร็ว วิธีนี้ทำได้โดยนำข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นแล้วป้อนเข้าเครื่อง ข้าวจะได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วในท่อที่ปิดสนิทภายในท่อมีความร้อนประมาณ 200-210 องศาเซลเซียส เวลา 3-5 นาที หรือเมื่อความดันถึง 11.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร วาล์วนิรภัยจะเปิดออกความดันภายในจะถูกปลดปล่อยอย่างรวดเร็ว และเมล็ดข้าวจะสัมผัสกับความดันที่ต่ำกว่าภายนอก เป็นผลให้เมล็ดข้าวพอง ข้าวจะมีอัตราการพองตัวสูงถึง 8.8-16.3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว (Delose-Lewis, 1992)

2.2 การทำให้พองโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูชัน (Puffing by Extrusion)

การทำให้พองโดยวิธีนี้จะได้ผลิตภัณฑ์คล้ายกับอาหารขบเคี้ยว (snacks food) นำแป้งข้าวมาปรับความชื้นด้วยน้ำ หรือโอน้ำจนมีความชื้นร้อยละ 60-70 แป้งจะมีความเหนียว เมื่อป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะทำให้เกิดแรงเฉือนสูงมากภายในเกลียวสกรู และร่องที่ผนังด้านในของบาเรลทำให้เกิดความดันและความร้อนสูง แป้งจะถูกบดอัดและได้รับความร้อนสูงทำให้แป้งเปลี่ยนสภาพเป็นเจลหรือเกิดการสุก และเปลี่ยนสภาพจากผงแป้งเป็นของเหลวข้นหนืด และเมื่อผ่านออกมากทางรูเปิดหน้าแปลน (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 ให้ข้าวมีความชื้นเป็นร้อยละ 12.5 จากนั้นทำให้พองโดยใส่ข้าวในพิมพ์ของเครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine (ภาพที่ 4) ซึ่งประกอบด้วย แผ่นให้ความร้อน 2 แผ่น และพิมพ์ ข้าวจะได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน และเมื่อเคลื่อนแผ่นให้ความร้อนออกจากกันอย่างรวดเร็ว น้ำในข้าวซึ่งร้อนจัดจะกลายเป็นไออย่างทันที และเชื่อมเข้าด้วยกันเป็นแผ่น โดยไม่ต้องใช้สารเชื่อม และยังสามารถคงโครงสร้างของเมล็ดอยู่ Hsieh และคณะ (1990) ได้ทดลองใช้เครื่องนี้โดยใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ พบว่าข้าวโพดสามารถพองตัวได้ดีเช่นเดียวกับข้าว และยังพบว่าเมื่อผลิตข้าวพองโดยใช้เครื่องนี้ที่อุณหภูมิ 170-210 องศาเซลเซียส สามารถทำลายแบคทีเรียชนิดทนความร้อนสูง คือ *Bacillus sterthermophillus* ได้ถึงร้อยละ 99.9 จากจำนวนเริ่มต้น (Hsieh *et al.*, 1989 b)



ภาพที่ 4 เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine

ที่มา : Hsieh และคณะ (1990)

1.8 ปัจจัยและสภาวะที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว

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

1. **องค์ประกอบของเมล็ดข้าว**

1.1 ขนาดของเมล็ดข้าว

Huff และคณะ (1992) ศึกษาขนาดของเมล็ดข้าวที่มีผลต่อการพองตัวของข้าวโดยใช้ข้าวกล้อง 2 ขนาดคือข้าวเมล็ดยาว และเมล็ดป้านกลาง ทำให้พองโดยใช้เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่าข้าวเมล็ดยาวพองตัวได้ดีกว่าข้าวเมล็ดป้านกลาง สอดคล้องกับทดเการทดลองของ Chandrasekhar และ Chattpadhyay (1991) ซึ่งพบว่าข้าวจะพองตัวน้อยลงเมื่ออัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวลดลง

1.2 ความหนาแน่นของชั้นแอลูโรน

ชั้นแอรูโรน เป็นชั้นที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีผนังหนา มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโปรตีน ห่อหุ้มส่วนที่เป็นสตาร์ช (ปราณี วราสวัสดิ์, 2536) Srinivas and Deskachar (1973) ได้ทดลองนำข้าวเปลือกมาปรับความชื้นเป็นร้อยละ 14 ก่อนนำไปทำให้เกิดการพองตัวใน electrically – heated rotary roaster ที่ปรับอุณหภูมิไว้ 275 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างคุณภาพการพองตัว และความหนาเฉลี่ยของชั้นแอลูโรน แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวที่ให้คุณภาพในการพองตัวที่ดีจะมีชั้นแอรูโรนที่อ่อนและบาง ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพการพองตัวที่ไม่ดีจะมีความและชั้นแอรูโรน เกือบสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งเมล็ด

1.3 ช่องว่างระหว่างเปลือกและเมล็ดข้าว

Srinivas และ Deskachar (1973) พบว่าในการผลิตข้าวพองโดยการใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ ถ้าข้าวมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกข้าวกว้างจะให้คุณภาพการพองตัวที่ดีกว่าข้าวที่มีช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าว และเปลือกแคบ

2. **องค์ประกอบทางเคมี**

2.1 ประมาณอะไมโลส Chinnaswany และ Bhattacharya (1983 b) ตรวจสอบการพองตัวของของข้าว 35 ชนิดประกอบด้วยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 5-32 พบว่าข้าวที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 27 จะมีอัตราการพองตัวเกิดขึ้นสูงสุด สอดคล้องกับ Chardraekhar และ Chattopadhyah (1991) ซึ่งใช้ข้าวเจ้า 12 พันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 13.95-31.55 ทำให้พองโดยการใช้ตู้อบลมร้อน พบว่าพันธุ์ข้าวที่พองตัวดีที่สุดมีปริมาณอะไมโลสอยู่ประมาณ

ร้อยละ 28.5 ในขณะที่ Villareal และ Juliano (1987) ซึ่งศึกษาปริมาณอะไมโลสโดยแบ่งข้าวตามปริมาณอะไมโลสออกเป็น 4 ประเภทโดยมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 2.8-28.6 ทำให้พองโดยใช้ Gun puffing อุณหภูมิ 200-210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 นาที พบว่าการพองตัวของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะไมโลสอยู่เลยมีคุณภาพการพองตัวที่สูง เช่นเดียวกับ Antonio (1973) ศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสต่อการพองตัวของข้าวโดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เวลา 16-20 นาที พบว่าข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะไมโลสเลยพองตัวได้ดีที่สุด และข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีอะไมโลสสูงสุดคือร้อยละ 28 พองตัวได้น้อยที่สุด

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

3. อายุการเก็บและวิธีการเก็บรักษาข้าว

Chainnswany และ Bhattacharya (1983 a) กล่าวว่าอายุของข้าวมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการพองตัวของข้าว โดยการทำการทดสอบเก็บข้าวเป็นเวลา 60 วัน และนำมาทดสอบการพองตัวทุก ๆ 15 วัน พบว่าในช่วงเดือนแรกอัตราการพองตัวจะค่อนข้างเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นจะลดลงตามลำดับซึ่งน่าจะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านการดูดซับน้ำและความหนืดของเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บ และ Bhattacharjee และ Nath (1984) ทดลองเก็บรักษาข้าวสาร ข้าวนึ่ง และข้าวกล้องนึ่งในถุงพลาสติก 3 ชนิด คือ polyethylene, polyethylene impregnated jute bags และ jute bags เป็นเวลา 120 วัน เมื่อนำมาทำให้พองตัวโดยการใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 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 และถ้าข้าวมีความชื้นสูงเกินไปก็จะทำให้คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวต่ำเช่นกัน 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) ยังพบว่าความชื้นนอกจากมีผลต่อปริมาตรแล้วยังมีผลต่อสีของข้าวพอง เมื่อทดลองใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 14, 16 และ 18 พบว่าข้าวที่มีการพองตัวน้อยจะมีสีขาวสว่างกว่า เนื่องจากว่าการพองตัวของข้าวเกิดจากข้าวมีความเป็นรูพรุนสูง มีช่องว่างเล็ก ๆ จำนวนมากในข้าวแต่ละเมล็ด ดังนั้นข้าวที่มีการพองตัวสูงค่าความสว่างที่วัดได้จึงน้อยเนื่องจากความสามารถในการทะลุผ่านของแสง Robert, *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) พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไปอาจทำให้ข้าวไม่พองหรือพองน้อยลง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวก็ต่ำเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้ข้าวไหม้ก่อนที่จะพอง ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการพองตัวของข้าวจะเป็นอุณหภูมิที่ข้าวมีการพองตัวสูงเมื่อใช้วิธีการผลิตเดียวกันและข้าวแต่ละพันธุ์จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน hsieh และคณะ (1989) ทดลองใช้อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 200, 210, 220 และ230 องศาเซลเซียสใช้เวลา 8 วินาที โดยเครื่อง เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่าอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียสข้าวพองตัวได้ดีที่สุด Channaswany และ Bhattacharya (1983 a) ทำข้าวพองจากข้าวเปลือกนึ่งโดยการคั่วกับทรายร้อนที่อุณหภูมิ 200,250 และ 300 เวลา 1 นาที พบว่าข้าวมีอัตราการพองตัวสูงขึ้นตามลำดับ คือ 4.9,5.3 และ 6.2

3. ระยะเวลาของการพองตัว

เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการดูดซับน้ำมากขึ้นมีผลต่อการพองตัวของข้าวเช่นเดียวกับอุณหภูมิ (Huff et al., 1992) เมล็ดข้าวที่ดูดน้ำ และพองตัวเต็มที่ เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีก ความร้อนจะทำให้เม็ดแป้งแตกออกเป็นผลให้อัตราการพองตัวลดลง (Chandrasekhar and Chattopahayay, 1991)

4. การเติมเกลือ

Chinnaswany และ Bhattachayay (1983 a) พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์จะสามารถเพิ่มการขยายตัวของข้าวได้ ช่วยให้อัตราการพองตัวของข้าวเพิ่มขึ้น 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

1.9 รำข้าว

รำข้าว (rice bran) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสีข้าวกล้อง สีน้ำตาลอ่อนปนเหลือง อยู่ภายนอกเมล็ดถูกขัดออกโดยการขัดสี ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดข้าวกล้อง และสตาร์ชจำนวนเล็กน้อยจากบางส่วนของแอนโดสเปิร์ม (อรวินทร์ อิทรโกรกี, 2538) รำข้าวที่นำมาใช้ประโยชน์กับมนุษย์หลังจากผ่านการขัดสีแล้ว ต้องนำมาผ่านการทำให้คงตัวเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเพส รำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวเรียกว่า full-fat stabilized rice bran หรือรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกเพื่อสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีประโยชน์ รำข้าวส่วนที่เหลือเรียกว่า รำข้าวปราศจากน้ำมัน (defatted rice bran) (Keith, 1995)

1.9.1 การใช้ประโยชน์จากรำข้าว

Keith (1994) กล่าวว่า รำข้าวปราศจากน้ำมัน หรือกากรำ ได้จากการนำรำข้าวมาผ่านกรรมวิธีการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน กระบวนการนี้สามารถให้ผลผลิตน้ำมันรำข้าวสูง กากรำที่ได้มีคุณภาพดี ปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่น้อยมากคือ ประมาณร้อยละ 0.5-1.5 สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นหืน ทั้งรำข้าวและรำข้าวสกัดปราศจากน้ำมัน นอกจากใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์แล้วยังสามารถใช้เป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทขนมอบได้อย่างดี ส่วนประกอบทางโภชนาการและค่าพลังงานของรำข้าวและรำข้าวปราศจากน้ำมัน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 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)

Central Library
Prince of Songkla University

Saunders (1990) กล่าวว่า รำข้าวสามารถใช้เป็นแหล่งใยอาหารได้ดี เนื่องจากประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส ในรำข้าวร้อยละ 8.7 – 11.4 เซลลูโลส ร้อยละ 9.6 – 12.8, เบต้า กลูแคน (Beta-glucans) น้อยกว่าร้อยละ 1 ในรำข้าวมีส่วนประกอบของน้ำตาลโมเลกุลเล็กร้อยละ 3-8 ได้แก่ กลูโคล (glucose) ,ฟรักโตส (fructose), ซูโคลส (sucrose) และ ราฟฟีโนส (raffinose) เมื่อเปรียบเทียบรำข้าวกับอาหารหลายประเภทที่สามารถใช้เป็นแหล่งใยอาหารได้ เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช และถั่วต่าง ๆ พบว่า รำข้าวมีส่วนประกอบของใยอาหารรวม (total dietary fiber) อยู่ในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบอาหารอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7 (Carool, 1996)

ตารางที่ 7 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)

1.9.2 การนำรำข้าวมาใช้เป็นแหล่งในอาหาร

ในอาหาร (dietary fiber) หมายถึง ส่วนที่เหลือของเซลล์พืชหลังจากการย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะรวมถึงผนังเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกทิน ลิกนิน รวมทั้ง กัม และ มิวซิเลจ (วันเพ็ญ มีสมญา, 2541) ส่วนเยื่อใย (crude fiber) หมายถึงส่วนที่เหลือของเซลล์พืชจากการย่อยด้วยกรดและเบส ซึ่งจะมีปริมาณน้อยกว่าใยอาหารประมาณร้อยละ 1.6-15.7 เท่า (วิชัย ตันไพจัตร, 2522)

ใยอาหารตามความสามารถในการละลายน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ในอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และแวกซ์ (Schneemann) 1986) อาหารที่มีใยอาหารจำพวกนี้ คือ รำข้าวสาลี ผลิตภัณฑ์จากเมล็ดข้าวทั้งหมด และผัก ใยอาหารประเภทนี้ช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณ

อุจจาระ และจำนวนครั้งของการถ่ายอุจจาระ และช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ (สันธนา อมรไชย, 2535) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ทำให้ลำไส้ทำงานได้ดีขึ้น ส่งเสริมการย่อยและการดูดซึมสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย เพิ่มปริมาตร และความชื้นของอุจจาระ ลดอาการท้องผูก ช่วยลดอาการระคายเคืองของผนังลำไส้ใหญ่ที่เป็นสาเหตุของอาการท้องร่วง โดยทั่วไปแล้วปริมาณใยอาหารที่ร่างกายควรได้รับต่อวันประมาณ 25-35 กรัม (ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์ และเบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์, 2539)

2. ในอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) ประกอบด้วย เพกทิน กัม มิวซิเลจส์ และแฮมิเซลลูโลสบางตัว (Schneemann, 1986) ด้วยคุณสมบัติที่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการกระจายตัวของโครงสร้างที่อัดแน่น และสามารถแลกเปลี่ยนประจุ โดยจับกับไอออนของโลหะบางตัวหรือโมเลกุลที่มีประจุไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ใยอาหารประเภทนี้มีผลให้อาหารผ่านกระบวนการย่อยช้าลง ซึ่งเชื่อกันว่าคุณสมบัติดังกล่าวมีผลในการลดระดับคอเลสเทอรอลในเลือด น้ำตาลในเลือด และขจัดสารพิษโลหะบางชนิดได้ ใยอาหารประเภทนี้พบได้แก่ ถั่วแห้ง ข้าวโพด ข้าวบาร์เล่ และผักผลไม้บางชนิด (สันธนา อมรไชย, 2535)

จากคุณสมบัติของใยอาหารเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า การบริโภคใยอาหารที่มีปริมาณและคุณภาพเหมาะสมกับสภาวะของร่างกาย จะช่วยลดโอกาสในการเกิดโรคเหล่านี้ นอกจากนี้ใยอาหารยังใช้เป็นสารควบคุมน้ำหนักตัวได้ดี เนื่องจากทำให้ผู้บริโภครู้สึกอิ่มแต่ไม่ให้พลังงาน จากบทบาทของใยอาหารต่อสุขภาพ ทำให้อาหารที่มีปริมาณใยอาหารสูงได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป ในส่วนของนักวิชาการและนักโภชนาการก็ได้พยายามค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณใยอาหารสูง และได้มีการผลิตใยอาหารบริสุทธิ์จากพืชที่บริโภคได้มาหลายชนิด โดยการพัฒนาคุณภาพทั้งในด้านสี กลิ่น รส ปริมาณใยอาหาร ขนาดอนุภาค รวมทั้งคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กว้างขวางขึ้น (วิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ, 2542)

1.9.3 การใช้รำข้าวเป็นแหล่งใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร

มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการนำรำชนิดต่าง ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มใยอาหารในผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทต่าง ๆ

1. เค้ก Shager และ Zabix (1978) เปรียบเทียบคุณภาพของเค้กชั้น (layer cake) ที่เติมรำข้าวสาลี และรำชนิดอื่น ๆ ในปริมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร ผลการทดลองสรุปว่า การเติมรำชนิดต่าง ๆ เช่น รำข้าวโพด รำข้าวโอต รำถั่วเหลือง ทำให้เนยแข็งมีความหนืดสูงกว่าการเติมรำข้าวสาลี แต่เค้กที่เติมรำชนิดอื่น ๆ มีปริมาตรลดลงมากกว่าเค้กที่เติมรำข้าวสาลี นอกจากนี้ผู้บริโภคยอมรับเค้กที่เติมรำข้าวสาลี และรำข้าวโพดมากกว่าเค้กที่เติมรำข้าวอื่น ๆ เพราะผู้

บริโภคคุ้นเคยกับกลิ่นรสของข้าวสาลี และข้าวโพด ส่วนเค้กที่เติมรำข้าวโอต และรำถั่วเหลือง นอกจากมีปลิ่นรสไม่ดีแล้วยังได้คะแนนการยอมรับในเรื่องความรู้สึกขณะกลืนต่ำ เนื่องจากลักษณะที่หยาบและเป็นทราย

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

3. ขนมปัง Ranhotra และคณะ (1991) ทำการเพิ่มปริมาณใยอาหารในแป้งทำขนมปัง และแป้งทำแพนตรีโดยการใช้ความร้อนด้วยไอน้ำที่มีความดันสูง มีผลทำให้สามารถเพิ่มปริมาณใยอาหารในแป้งเพิ่มขึ้น 3-4 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเปลี่ยนสภาพเป็น resistant starch ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายใยอาหาร เมื่อนำใยอาหารไปทดแทนแป้งในการทำคุกกี้ชอกโกเลตชิบและคุกกี้ข้าวโอตใส่ลูกเกดพบว่า สามารถทดแทนได้ถึงร้อยละ 75 และ 50 ตามลำดับ โดยมีการยอมรับทั้งลักษณะปรากฏและคุณภาพทางประสาทสัมผัสอื่น ๆ

1.10การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวพองระหว่างการเก็บรักษา

Shin และ Choi (1993) ศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (yukwa) ที่ผ่านกระบวนการทำให้พองตัวโดยวิธีการทอด โดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะการบรรจุที่แตกต่างกัน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์บรรจุในถุงปิดผนึก ที่มีการบรรจุด้วยไนโตรเจนและออกซิเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่า หลังการเก็บรักษา 90 วัน ค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างที่บรรจุด้วยออกซิเจนและไนโตรเจน มีค่า 5.3 และ 11.9 มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม ส่วนตัวอย่างที่ควบคุมมีค่า 195.5 มิลลิอิวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม ส่วนค่า ทีบีเอ เป็นไปในลักษณะเกี่ยวกับค่าเปอร์ออกไซด์ ตัวอย่างที่บรรจุด้วยไนโตรเจน มีการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากกว่าชุดที่บรรจุด้วยออกซิเจน และชุดควบคุม ซึ่งออกซิเจนจะมีผลต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์

โครงการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มช่องทางตลาดให้กับเกษตรกรและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าว โดยมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวสารให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม
2. ศึกษาคุณภาพของข้าวสารที่จะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ
3. พัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพในระดับห้องปฏิบัติการ
4. ถ่านทอดเทคโนโลยีไปสู่อุตสาหกรรมโดยความร่วมมือกับภาคเอกชน
5. ศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ของการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

บทที่ 2
วิธีการดำเนินการวิจัย
(Materials and Methods)

2.1 วัสดุ

1. ข้าวสารที่มีระดับอะไมโลสแตกต่างกัน 5 สายพันธ์ จากศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดพัทลุง ต.ควนกุฏ อ.เมือง จ.พัทลุง ดังนี้ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (อะไมโลสต่ำ) พันธุ์ดอกพยอม (ระดับอะไมโลสปลานกลาง-ค่อนข้างสูง) พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (อะไมโลสสูง) พันธุ์เล็บนกปัตตานี (อะไมโลสสูง) และพันธุ์ KGTLR 97133 /3 /1/ 2 (อะไมโลสสูง)
2. ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากบริษัทปทุมไรซ์มิลล์ แอนด์แกรนารี จำกัด จังหวัดปทุมธานี
3. รำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว จากบริษัทเบทาโกรอาหารสัตว์ ภาคใต้ (มหาชน) จำกัด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
4. บรรจุภัณฑ์ ถุงพลาสติกชนิดลามิเนตประกบ 2 ชั้นระหว่าง พอลีแอไมด์ กับ พอลีเอทิลีน (PA/PE) จากบริษัทยูโรแพค จำกัด
5. สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ โปรตีน ไขมัน ปริมาณอะไมโลส ปริมาณใยอาหาร และค่าทีบีเอ
6. สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการสกัดใยอาหาร

2.2 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. ตู้อบแห้งลมร้อยแบบถาด
5. เครื่องบรรจุสุญญากาศ ยี่ห้อ Hankovac รุ่น 1000
6. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Aw) ยี่ห้อ Novasina รุ่น TH 200
7. ชุดอุปกรณ์กวนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า
8. อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิได้
9. เครื่องผลิตข้าวพอง (ภาพที่ 5) ประกอบด้วยพิมพ์ที่มีฮีตเตอร์ฝังอยู่ภายใน
10. เครื่องวัดค่าความแข็งของเมล็ดข้าว Instron รุ่น
11. ชุดเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

12. ชุดอุปกรณ์ สำหรับทดสอบทางประสาทสัมผัส

2.3 การดำเนินการวิจัย

3.1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติกายภาพของข้าวสารจากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง 5 สายพันธุ์

1. องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน, ความชื้น, ไขมัน โดยวิธีของ AOAC (1990) และปริมาณอะไมโลส โดยวิธี Juliano (1971)

2. สมบัติทางกายภาพ

- ขนาดของเมล็ดข้าว สุ่มตัวอย่างข้าวสาร 50 เมล็ด วัดความกว้างและความยาวของเมล็ดด้วยเวอร์เนีย มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร คำนวณอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความยางของเมล็ด

- ค่าความแข็ง (hardness) สุ่มตัวอย่างข้าวสาร 20 เมล็ด วัดค่าความแข็งในรูปของแรงตัดเฉือน (cutting shear) มีหน่วยเป็นนิวตันด้วยเครื่อง Instron

2.3.2 ศึกษาผลของการเก็บข้าวสารที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ นำตัวอย่างข้าวสาร 5 สายพันธ์ จากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุงมาคลุกด้วยยากันแมลง แล้วนำไปเก็บรักษาในถังพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะ 5 เดือน สุ่มตัวอย่างทุก ๆ 1 เดือน มาทำการวิเคราะห์

1. องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน โดยวิธี AOAC (1990) และปริมาณอะไมโลส โดยวิธี Juliano (19671)

2. สมบัติทางกายภาพ ตรวจสอบขนาดของเมล็ดข้าวสาร และความแข็งตามวิธีในข้อ 2.3.1 ข้อ 2

2.3.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของข้าวสารที่มีผลต่อการพองตัว

นำตัวอย่างข้าวสารจากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวพัทลุง 5 สายพันธุ์ นำมาคลุกด้วยยากันแมลง แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ในถังพลาสติก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 5 เดือน สุ่มตัวอย่างทุก ๆ 1 เดือน มาทดสอบการพองตัว โดยมีวิธีการเตรียม ดังนี้

1. นำตัวอย่าง ข้าวสารมาล้างทำความสะอาด แยกสิ่งแปลกปลอมออก

2. นำมาทำให้สุก โดยใช้ข้าวสารต่อน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1.4 นึ่งให้สุก (ประมาณ 15 นาที)

3. ตัวอย่างข้าวสารที่ทำให้สุกแล้ว นำมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4.0 – 4.30 ชั่วโมง จนกระทั่งได้ความชื้นร้อยละ 10, 12 และ 14

4. นำตัวอย่างข้าวสารอบแห้ง จากข้อ 3 มาปรับปริมาณความชื้น (tempered) ให้ได้ตามที่ต้องการ ในภาชนะบรรจุปิดสนิท ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

นำตัวอย่างข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 10,12 และ 14 มาทดสอบการพองตัวโดยวิธีการทอดในน้ำมันพืชที่อุณหภูมิ 180, 190 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วินาที และวัดอัตราการพองตัวตามวิธีของ Good และ Rao (1984)

2.3.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าว

นำตัวอย่างข้าวที่ผ่านการเตรียมในข้อ 2.3.3 มาทดสอบการพองตัว โดยเปรียบเทียบระดับอะไมโลส 3 ระดับ ได้แก่ อะไมโลสต่ำ (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) อะไมโลสปานกลางค่อนข้างสูง (พันธุ์ดอกพยอม) และ อะไมโลสสูง (พันธุ์ GTLR 79133/3/1/2) กับความชื้น 3 ระดับ ได้แก่ความชื้นร้อยละ 10, 12 และ 14 และทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิ 180, 190 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วินาที

เมื่อได้ข้าวพองแล้ว มาวัดอัตราการพองตัว ตามวิธีข้อ 2.3.3 วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Juki และความกรอบด้วยเครื่อง Inston

2.3.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวสารพันธุขาวดอกมะลิ 105

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

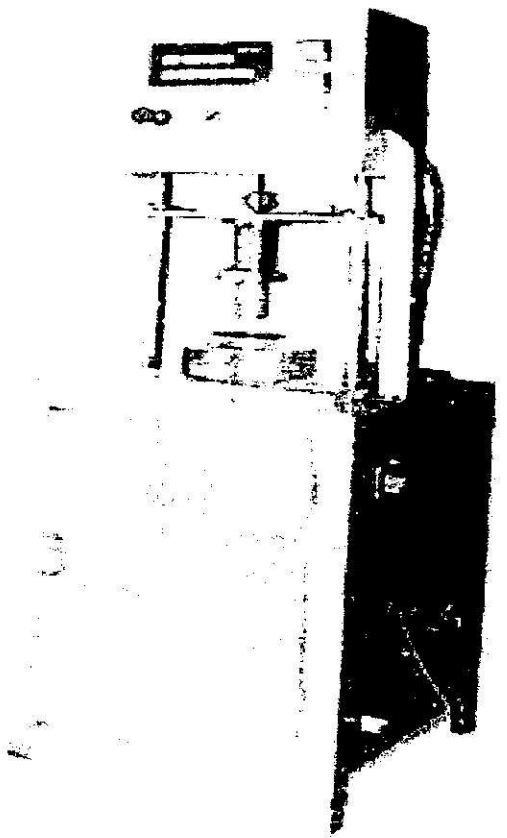
นำข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (จากบริษัท ปทุมไรซ์มิลล์แอนด์แกรนารี จำกัด จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกในภาคกลาง) มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ด้วยวิธี AOAC (1990) และปริมาณอะไมโลสโดยวิธี Juliano (1971)

2. สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

นำข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง สะเด็ดน้ำนึ่งด้วยไอน้ำประมาณ 15 นาที จากนั้นอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นำมาปรับความชื้นให้มีความชื้นร้อยละ 11,12 และ 13

นำข้าวสารอบแห้งที่มีความชื้น ที่เตรียมไว้ข้างต้น จำนวน 3.5 กรัม ใส่ในแม่พิมพ์ของเครื่องทำข้าวพอง (ภาพที่ 5) ที่มีอุณหภูมิ 160 , 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที นำข้าวพองที่ได้มาทำการวัดค่าของการพองตัว โดยวิธี Hsieh และคณะ (1989)

วัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี Juki วัดความกรอบโดยวัดค่าแรงกดที่ทำให้ชิ้นข้าวพองแตกหัก ด้วยเครื่อง Texture Analyzer แล้วคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสม



ภาพที่ 5 เครื่องทำข้าวพอง

2.3.6 ศึกษาผลของข้าวหักต่อความสามารถในการพองตัวของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1. วัด ความยาว ความกว้าง โดย เวอร์เนีย และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีเปอร์เซ็นต์การหักต่างกัน 5 ขนาด ได้แก่ 0, 5, 10, 15, 20

2. นำตัวอย่างข้าวหักมาทำให้เกิดการพองตัวด้วยวิธีการและสภาวะที่คัดเลือกได้จาก ข้อ 2.3.5 จากนั้น นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรวจสอบเพื่อหาข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง ได้แก่ ค่าการพองตัว โดยวิธี Hsieh และคณะ (1989) วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Juki วัดความกรอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer

2.3.7 การสกัดไขอาหารจากรำข้าว

1. วิเคราะห์ส่วนประกอบของรำข้าว

นำรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช เพื่อแยกสิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนออก วิเคราะห์ส่วนประกอบของรำข้าว ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า โดยวิธี AOAC (1990) วิเคราะห์ปริมาณไขอาหารทั้งหมด ไขอาหารที่ละลายน้ำ และไขอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยวิธีของ Lee และคณะ (1992)

2. การสกัดไขอาหาร

นำรำข้าวที่ผ่านการร่อนมาทำการสกัดไขอาหารโดยวิธีดัดแปลงจาก Chou และคณะ (1990) ดังภาพที่ 6 โดยมีรายละเอียดดังนี้

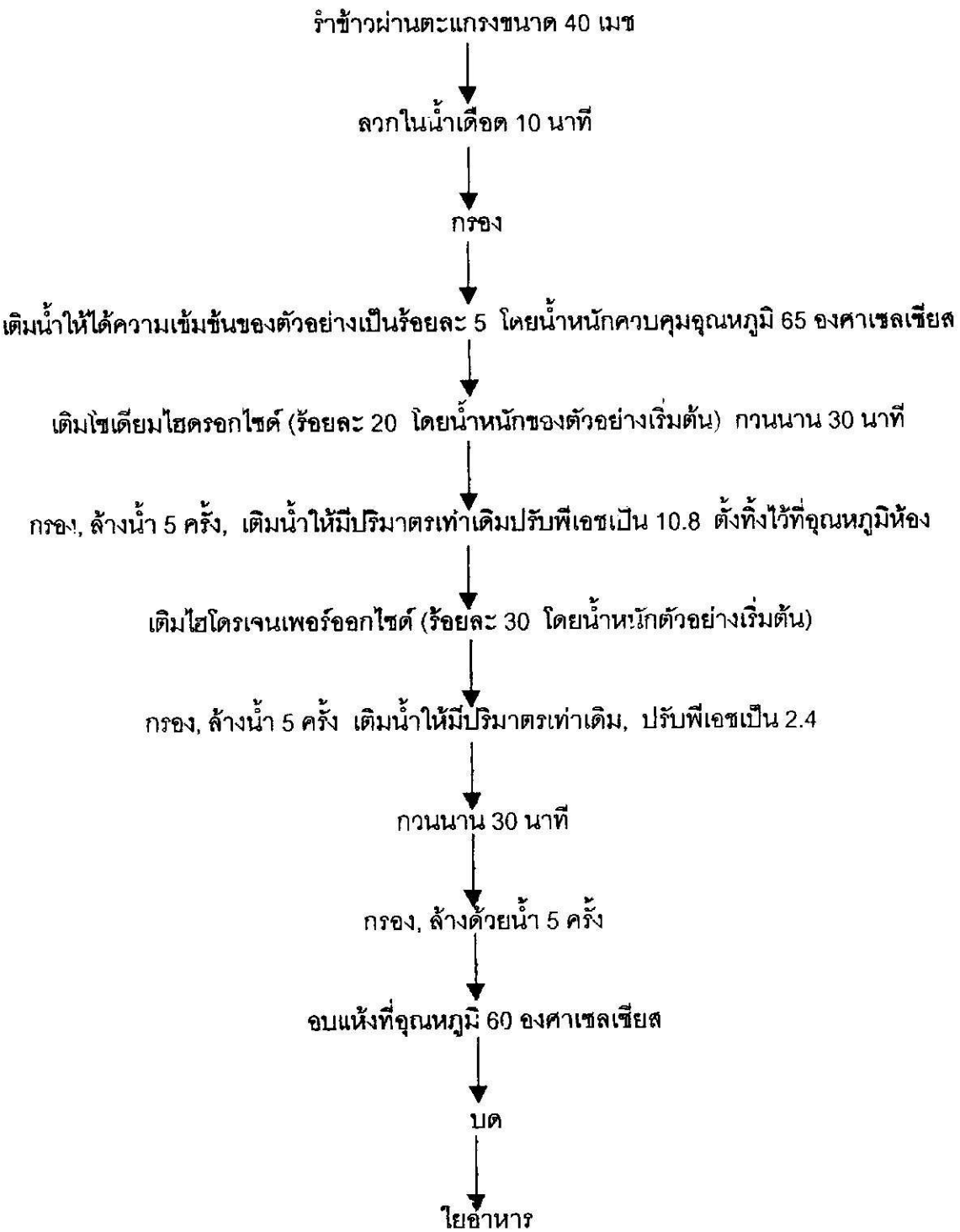
2.1 นำรำข้าวที่ผ่านการร่อนมาลวกในน้ำเดือด 10 นาที กวน ตลอดเวลา กรอง เติมน้ำ ให้ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก กวน และควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ของผสมมีความเข้มข้นร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น แช่นาน 30 นาที

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 กวนแล้วกรองน้ำทิ้ง) เติมน้ำให้มีปริมาตรเท่าเดิม ปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 2.4 ด้วย กรดไฮโดรคลอริก กวนนาน 30 นาที กรอง ล้างด้วยน้ำ 5 ครั้ง อบแห้งด้วยตู้แบแห้งลมร้อนแบบถาดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10

2.5 นำไขอาหารที่ได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช จะได้ไขอาหารจากรำข้าว



ภาพที่ 6 กระบวนการสกัดใยอาหารจากรำข้าว

ที่มา : ดัดแปลงมากจาก Chou และคณะ (1990)

3. วิเคราะห์สมบัติของใยอาหารที่สกัดได้นำใยอาหารที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณสมบัติดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยวิธีดัดแปลงของ Ning และคณะ (1991) วัดค่ารังสีในระบบ Hunter Lab เป็น tristimulus colorimeter ที่ใช้ filter-photodetector และแหล่งกำเนิดแสงที่มีเลนซ์และกระจกเงาที่ปล่อยแสงไปยังตัวอย่าง filter จะแปลงค่าเป็น L, a และ b

2. สมบัติทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า โดยวิธี AOAC (1990) ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยวิธีของ Van Soest และ Wine (1967) และ วัดพีเอชโดยใช้เครื่องวัดพีเอช

2.3.8 ศึกษาอัตราส่วนของใยอาหารที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหาร

1.นำข้าวสารที่มีเปอร์เซ็นต์หักที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.6 มาแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง นึ่งด้วยไอน้ำ 15 นาที เติมใยอาหารร้อยละ 0,0.5, 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักข้าวสาร ผสมใยอาหารให้กระจายอย่างทั่วถึงในข้าว จากนั้นนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างที่เติมใยอาหารทำให้เกิดการพองตัวโดยเครื่องทำข้าวพองและใช้สภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.5

2. ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมใยอาหารในปัจจัยคุณภาพลักษณะการพองตัว สี กลิ่น ความกรอบ ความรู้สึกหลังการกลืนด้วย โดยวิธีการทดสอบแบบพรรณาเชิงปริมาณ (Quantitative Decriptive Analysis : QDA) และความชอบรวมด้วยวิธี Hedonic scale แบบ 9 สเกล โดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกอบรมในห้องปฏิบัติการจำนวน 10 คน

3. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารเสริมใยอาหาร

3.1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC (1990) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Aw) โดยใช้ Aw-meter วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยวิธีของ Lee และคณะ (1992)

3.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่องวัดสี Juki ความกรอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer การพองตัวของข้าวโดยวิธีของ Hsieh และ คณะ (1989)

2.3.9 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา

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

1. วิเคราะห์สมบัติทางเคมีในปัจจัย ความชื้น โดยวิธี AOAC (1990) ค่าทีบีเอ ตามวิธีของ Egan และคณะ (1981) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี โดยใช้ Aw-meter

2. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยวัดค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่องวัดสี Juki วัดความกรอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer

3. ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีทดสอบแบบ QDA ในปัจจัยคุณภาพ สี กลิ่นผิดปกติ ความกรอบ ความรู้สึกหลังการกลืน และการยอมรับรวม โดยใช้วิธี Hedonic scale โดยผู้บริโภคที่ผ่านการฝึกจำนวน 10 คน

บทที่ 3
ผล และ วิจารณ์ผล
(Results and Discussion)

3.1 องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของข้าวสารจากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง จำนวน 5 สายพันธุ์

3.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

ข้าวสารจากศูนย์วิจัยข้าว พัทลุง จำนวน 5 สายพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 , พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง, พันธุ์ดอกพยอม, พันธุ์เล็บนกปัตตานี และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ประกอบด้วย ความชื้น, โปรตีน, อะไมโลส และไขมัน ดังในตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นของข้าวสารทั้ง 5 สานพันธุ์ อยู่ระหว่างร้อยละ 11-12 ซึ่งปริมาณความชื้นนี้จะป้องกันการเสื่อมเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์ ปริมาณความชื้นจะมีผลต่ออายุการเก็บของข้าวสาร จากรายงานของกัมปนาท สุขดี (2533) ว่า ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของข้าวสารอันเนื่องจากจุลินทรีย์ ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวสาร ควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 จึงจะสามารถป้องกันการเสื่อมเสีย จากจุลินทรีย์ได้

จากตารางที่ 8 ปริมาณโปรตีนของข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์ อยู่ระหว่างร้อยละ 4-8 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณดังกล่าวนี้ มีค่าใกล้เคียงกับรายงานการศึกษา อรอนงค์ นัยวิกุล (2532) ที่กล่าวว่า ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในข้าวสารมีประมาณร้อยละ 8-10 สำหรับอะไมโลสของข้าวสารแก่ พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 , พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง, พันธุ์ดอกพยอม, พันธุ์เล็บนกปัตตานี และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่า ร้อยละ 32.12, 30.89, 26.61, 31.24 และ 18.27 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าว จึงสามารถแบ่งข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ ข้าวสารเจ้าที่อะไมโลสต่ำได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กลุ่มอะไมโลสปานกลางค่อนข้างสูง ได้แก่ พันธุ์ดอกพยอม กลุ่มอะไมโลสสูง ได้แก่ พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง พันธุ์เล็บนกปัตตานี และพันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 สำหรับปริมาณไขมันพบว่าข้าวสาร ทั้ง 5 สายพันธุ์ มีปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.3 – 0.4 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ อรอนงค์ นัยวิกุล (2532) ซึ่งได้รายงานไว้ว่า ปริมาณไขมันในข้าวสารมีประมาณร้อยละ 0.5 ปริมาณกรดไขมันอิสระซึ่งเป็นองค์ประกอบของไขมันในข้าวสาร จะมีผลต่อกลิ่นของข้าวที่ผ่านการหุงสุก ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ให้ผลลัพธ์ของสารประกอบคาร์บอนิล ทำให้ข้าวมีกลิ่นสาบขึ้น

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาร 5 สายพันธุ์ จากศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดพัทลุง

พันธุ์ข้าว	องค์ประกอบ (ร้อยละ)[1]			
	ความชื้น[ns]	โปรตีน[ns]	อะไมโลส	ไขมัน[ns]
KGTLR 79133/3/1/2	10.94 ± 0.03	7.78 ± 0.09	32.12 ± 0.07[a]	0.40 ± 0.04
เฉี้ยงพัทลุง	11.52 ± 0.03	7.81 ± 0.02	30.89 ± 0.09[a]	3.39 ± 0.04
ดอกพยอม	11.47 ± 0.06	7.46 ± 0.07	26.61 ± 0.03[b]	0.31 ± 0.03
เล็กนกปัตตานี	11.27 ± 0.08	7.35 ± 0.02	31.24 ± 0.10[a]	0.36 ± 0.02
ขาวดอกมะลิ 105	10.95 ± 0.07	7.42 ± 0.06	18.27 ± 0.07[c]	0.39 ± 0.03

หมายเหตุ 1 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

a,b อักษรที่เหมือนกับในแถวตั้ง ไม่มีความแตกต่าง ($P>0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$)

3.1.2 สมบัติทางกายภาพ

1. ขนาดของเมล็ดข้าวสาร

สุ่มตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ ทั้ง 5 พันธุ์ จากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง จำนวน 50 เมล็ด วัดความยาว ความกว้างของเมล็ด และคำนวณอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ด ซึ่งแสดงผลไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวสาร

พันธุ์ข้าว	ขนาดของเมล็ด[1]			ค่าแรงตัดเฉือน[2] (นิวตัน)
	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	
KGTLR 79133/3/1/2	7.05 ± 0.03^{a}	2.14 ± 0.01^{a}	3.29^{b}	24.79 ± 2.38^{a}
เฉี้ยงพัทลุง	6.67 ± 0.03^{b}	1.98 ± 0.01^{b}	3.37^{b}	22.75 ± 1.96^{a}
ดอกพยอม	7.19 ± 0.04^{a}	1.92 ± 0.01^{b}	3.74^{a}	17.52 ± 2.61^{b}
เล็บนกปัตตานี	5.61 ± 0.03^{c}	1.87 ± 0.01^{b}	3.00^{c}	19.78 ± 2.36^{b}
ขาวดอกมะลิ 105	7.15 ± 0.04^{a}	1.99 ± 0.01^{b}	3.60^{a}	19.97 ± 2.05^{b}

หมายเหตุ 1 ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดขนาดเมล็ดข้าวสาร 50 เมล็ด

2 ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสาร 20 เมล็ด

a,b อักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความหมายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

จากตารางที่ 9 พบว่า ข้าวสารพันธุ์ดอกพยอมมีเมล็ดยาวที่สุด คือ 7.19 มม. รองลงมาได้แก่พันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105, พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 และพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง มีค่าความยาวเฉลี่ย 7.15, 7.05 และ 6.67 มม, ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์เล็บนกปัตตานีมีขนาดเมล็ดสั้นที่สุด คือ 5.61 มม. สำหรับความกว้างของเมล็ดข้าวสารพบว่าพันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 มีความกว้างมากที่สุด คือ 2.14 มม, มีลักษณะเมล็ดค่อนข้างกลมรี ในขณะที่สายพันธุ์อื่น ๆ มีความกว้างของเมล็ดข้าวอยู่ระหว่าง 1.87 – 1.99 มม. เมล็ดมีลักษณะยาวรี

IRRI (1993) กำหนดข้าวตามขนาดความยาวของเมล็ดออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ เมล็ดยาวมาก มีความยาวเมล็ดมากกว่า 7.50 มม. เมล็ดยาว มีความยาวระหว่าง 6.61 – 7.50 มม. เมล็ดยาวปานกลาง มีความยาวระหว่าง 5.50 –6.60 มม. และเมล็ดสั้นมีความยาวน้อยกว่า 5.50 มม. จากผลในตารางที่ 9 สามารถแบ่งเมล็ดข้าวสารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2, พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง, พันธุ์ดอกพยอม, และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จัดอยู่ในกลุ่มเมล็ดข้าวสารที่มีเมล็ดยาว สำหรับพันธุ์เล็บนกปัตตานี จัดอยู่ในกลุ่มที่มีเมล็ดยาวปานกลาง

ผลของอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ด (ตารางที่ 9) พบว่า พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2, พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง, พันธุ์ดอกพยอม และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างมากกว่า 3.00 จัดเป็น เมล็ดที่มีรูปร่างเรียว สำหรับพันธุ์เล็บนกปัตตานี มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างอยู่ระหว่าง 2.10 – 3.00 จัดเป็นกลุ่มเมล็ดข้าวสารที่มีรูปร่างปานกลาง (อังคณา เหลืองศิริโรจน์ และ เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข; 2539) อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวสารมีผลต่อการพองตัว เมื่ออัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างเพิ่มขึ้น มีผลให้อัตราการพองตัวของเมล็ดเพิ่มขึ้น (Chinnaswany and Bhattacharya, 19839)

2. *ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสาร*

การวัดค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสารวัดในรูปของแรงตัดเฉือน (cutting shear) มีหน่วยเป็นนิวตัน ถ้าแรงตัดเฉือนมีค่ามาก แสดงว่าเมล็ดข้าวสารมีความแข็งมาก จากตารางที่ 9 พบว่าพันธ KGTLR 79133/3/1/2 มีความแข็งของเมล็ดมากที่สุด ซึ่งมีค่าแรงตัดเฉือนเท่ากับ 24.7 นิวตัน รองลงมาได้แก่ พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง, พันธ์ขาวดอกมะลิ 105, พันธุ์เล็บนกปัตตานี และ พันธุ์ดอกพยอม ซึ่งมีค่าแรงตัดเฉือนเท่ากับ 22.75, 19.97, 19.78 และ 17.52 นิวตัน ตามลำดับ Kuuze และ Wratten (1972) กล่าวว่า ลักษณะของเมล็ดมีผลต่อความแข็ง เมล็ดที่มีลักษณะกว้าง และหนาจะมีค่าความแข็งสูง กว่าเมล็ดที่มีรูปร่างเรียวยาว นอกจากนี้มีตำแหน่งที่วัดค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสารก็จะมีผลต่อความแข็ง ตำแหน่งกึ่งกลางของเมล็ดจะมีความแข็งมากที่สุด

3.2 ผลของการเก็บเมล็ดข้าวสารที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการเก็บเมล็ดข้าวสารเป็นระยะเวลา 5 เดือน เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดข้าวสารใหม่ แสดงผลในตารางที่ 10 ซึ่งได้พบว่า ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวสาร ทั้ง 5 สายพันธุ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้นจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่ออายุการเก็บนานขึ้น เนื่องจากฤดูกาลที่เก็บจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น เช่น ช่วงฤดูร้อน ความชื้นในบรรยากาศจะต่ำ การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดข้าวสารก็จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สำหรับปริมาณ อะไมโลส และไขมัน ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะการเก็บผ่านไป 5 เดือน ปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ งามชื่น คงเสรี และ Takeshita (2536) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวสาร ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าปริมาณอะไมโลส , โปรตีน, ไขมัน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก นอกจากนี้จากรายงานของ อรอนงค์ นัยวิกุล (2532) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาร ขณะเก็บรักษาจะไม่เห็นชัดเจนจากผลการวิเคราะห์โดยรวม กล่าวคือ ปริมาณสตาร์ช, อะไมโลส และโปรตีน ใกล้เคียงกับข้าวใหม่ แต่อาจเกิดกระบวนการย่อยสลายภายในเมล็ด เช่น ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นขณะเก็บรักษาจะมีผลให้กลิ่นของข้าวสุกเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการอ๊อกซิเดชั่น ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลสูงขึ้น เช่น propaldehyde, หรือ acetone-n-valeraldehyde และ n-caproaldehyde ซึ่งเป็นเหตุของการเกิดกลิ่นสาบ (Chikuba and Suzuku, 1970)

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา

พันธุ์ข้าว	เวลา	องค์ประกอบ (ร้อยละ)[1]			
	(เดือน)	ความชื้น	โปรตีน	อะไมโลส[ns]	ไขมัน[ns]
KGTLR	0	10.94±0.03 d	7.78±0.09 ab	32.12±0.07	0.40±0.04
79133/3/1/2	1	11.18±0.05 c	7.73±0.08 ab	32.17±0.14	0.44±0.04
	2	11.45±0.16 a	7.84±0.05 a	32.15±0.14	0.39±0.06
	3	11.22±0.12 bc	7.70±0.10 ab	32.27±0.15	0.42±0.03
	4	11.37±0.11 ab	7.62±0.06 b	32.25±0.14	0.40±0.12
	5	11.51±0.08 a	7.65±0.15 b	32.24±0.06	0.43±0.04
เฉี้ยงพัทลุง	0	11.52±0.07 cd	7.81±0.02 ab	30.89±0.09	0.39±0.04
	1	11.01±0.07 e	7.93±0.14 ab	30.84±0.10	0.43±0.04
	2	11.43±0.04 d	7.95±0.12 a	30.76±0.25	0.40±0.01
	3	11.65±0.06 bc	7.86±0.05 ab	30.93±0.02	0.38±0.03
	4	11.74±0.05 ab	7.84±0.11 ab	30.79±0.04	0.39±0.04
	5	11.89±0.09 a	7.77±0.14 b	30.90±0.35	0.42±0.04

ตารางที่ 10 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว	เวลา (เดือน)	องค์ประกอบ (ร้อยละ)[1]			
		ความชื้น	โปรตีน	อะไมโลส[ns]	ไขมัน[ns]
ดอกพยอม	0	11.47±0.06 d	7.46±0.07 b	26.61±0.07	0.33±0.03
	1	11.92±0.05 c	7.64±0.10 a	26.40±0.32	0.33±0.02
	2	12.05±0.08 c	7.62±0.03 ab	26.60±0.09	0.34±0.03
	3	12.82±0.17 ab	7.55±0.07 ab	26.42±0.06	0.39±0.04
	4	12.76±0.14 b	7.53±0.05 ab	26.51±0.17	0.41±0.03
	5	12.94±0.21 a	7.51±0.07 ab	26.56±0.08	0.38±0.06
เล็บนกปัตตานี	0	11.27±0.03 d	7.35±0.02 ab	31.24±0.10	0.36±0.02
	1	11.88±0.09 c	7.45±0.07 a	31.17±0.26	0.39±0.04
	2	11.93±0.09 c	7.42±0.03 a	31.19±0.08	0.40±0.03
	3	12.11±0.11 b	7.36±0.11 ab	31.25±0.25	0.37±0.03
	4	12.25±0.15 ab	7.39±0.09 ab	31.20±0.16	0.35±0.02
	5	12.29±0.06 a	7.23±0.15 b	31.30±0.10	0.41±0.07
ขาวดอกมะลิ 105	0	10.95±0.07 d	7.42±0.06 ab	18.27±0.07	0.39±0.03
	1	11.85±0.06 ab	7.35±0.11 b	18.37±0.32	0.40±0.09
	2	11.92±0.12 ab	7.39±0.22 ab	18.42±0.09	0.41±0.03
	3	11.63±0.05 c	7.55±0.12 a	18.43±0.06	0.40±0.05
	4	11.84±0.10 b	7.52±0.12 ab	18.31±0.17	0.38±0.04
	5	12.01±0.09 a	7.43±0.09 ab	18.37±0.08	0.37±0.06

[1] หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

a, b,... ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่พันธุ์ข้าวเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

[ns] ตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวสาร

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวสารระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ความยาว ความกว้าง และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์ มีค่าความแข็งของเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ ในเมล็ดข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เกิดการปรับสภาพ การละลาย และการเกิดเจลของสตาร์ช และโปรตีนในเมล็ดทำให้ละลายได้น้อยลง กลายเป็นสารที่คงตัวขึ้น และไม่ละลายน้ำมากขึ้น มีผลให้เมล็ดข้าวสารแข็งขึ้น สามารถสังเกตได้จากการนำข้าวสารที่เก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งมาหุงต้ม จะพบว่า เมล็ดข้าวสารจะดูดซึมน้ำที่ใช้หุงต้มได้มากขึ้น ทำให้ปริมาตราของข้าวที่หุงสุกสูงกว่าการหุงข้าวใหม่ ลักษณะข้าวสุกจะแข็งและร่วนมากกว่าข้าวใหม่ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา

พันธุ์ข้าว	เวลา (เดือน)	ขนาดของเมล็ดข้าวสาร[1]			ค่าแรงตัดเฉือน[2] นิวตัน
		ความยาว[ns] (มิลลิเมตร)	ความกว้าง[ns] (มิลลิเมตร)	ความยาวต่อความกว้าง[ns]	
KGTLR	0	7.05±0.03	2.14±0.01	3.29±0.03	24.79±2.38 b
79133/3/1/2	1	7.03±0.03	2.16±0.01	3.25±0.03	25.66±1.76 b
	2	7.05±0.04	2.18±0.01	3.23±0.04	25.95±2.64 ab
	3	7.02±0.04	2.19±0.01	3.21±0.03	26.65±1.96 a
	4	7.04±0.03	2.19±0.01	3.21±0.02	26.69±2.86 a
	5	7.08±0.03	2.17±0.01	3.26±0.03	26.79±2.79 a
เฉี้ยงพัทลุง	0	6.67±0.03	1.98±0.01	3.37±0.03	22.75±1.96 b
	1	6.65±0.03	1.98±0.01	3.36±0.02	23.82±2.36 ab
	2	6.55±0.04	1.94±0.01	3.38±0.04	24.36±2.08 a
	3	6.66±0.03	1.98±0.01	3.36±0.03	24.53±2.18 a
	4	6.58±0.05	1.98±0.01	3.32±0.03	24.82±1.89 a
	5	6.66±0.03	1.98±0.01	3.36±0.03	25.35±2.80 a

ตารางที่ 11 (ต่อ)

พันธุ์ข้าว	เวลา (เดือน)	ขนาดของเมล็ดข้าวสาร			ค่าแรงตัดเฉือน
		ความยาว[ns] (มิลลิเมตร)	ความกว้าง[ns] (มิลลิเมตร)	ความยาวต่อความกว้าง[ns]	
ดอกพยอม	0	7.19±0.04	1.92±0.01	3.74±0.03	17.52±2.61 c
	1	7.13±0.04	1.96±0.01	6.64±0.06	17.63±1.85 c
	2	7.02±0.04	1.91±0.01	3.68±0.04	18.78±2.06 bc
	3	7.03±0.04	1.92±0.01	3.66±0.03	19.67±1.53 ab
	4	7.09±0.04	1.93±0.01	3.67±0.04	20.62±2.19 a
	5	7.13±0.03	1.96±0.01	3.64±0.04	20.94±2.66 a
เล็บนกปัตตานี	0	5.61±0.03	1.87±0.01	3.01±0.03	19.78±2.36 b
	1	5.72±0.03	1.88±0.01	3.04±0.03	19.79±2.45 b
	2	5.71±0.03	1.87±0.01	3.05±0.04	20.86±2.19 ab
	3	5.58±0.03	1.86±0.01	3.01±0.03	21.41±2.73 a
	4	5.66±0.02	1.88±0.01	3.01±0.03	21.78±2.19 a
	5	5.73±0.03	1.88±0.01	3.05±0.03	21.92±3.19 a
ขาวดอกมะลิ 105	0	7.15±0.04	1.99±0.01	3.59±0.05	19.97±2.05 c
	1	7.18±0.04	2.02±0.01	3.55±0.04	20.63±2.31 bc
	2	7.12±0.03	1.99±0.01	3.58±0.03	20.87±3.09 bc
	3	7.13±0.04	1.99±0.02	3.58±0.03	21.44±1.93 abc
	4	7.12±0.04	2.00±0.01	3.56±0.04	21.65±2.42 ab
	5	7.13±0.03	2.02±0.01	3.53±0.04	22.58±2.13 a

[1] ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 50 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่พันธุ์ข้าวเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

[2] ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 20 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่พันธุ์ข้าวเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

[ns] ตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

3.3 อายุการเก็บรักษาเมล็ดข้าวที่มีผลต่อการพองตัว

เมื่อนำเมล็ดข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์ที่เก็บรักษาระยะเวลาต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 5 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง โดยสุ่มตัวอย่างทุก ๆ 1 เดือน ทดสอบการพองตัวโดยวิธีการทอด ที่ระดับความชื้นร้อยละ 10, 12 และ 14 ที่อุณหภูมิ 180, 190 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วินาที แสดงผลในตารางที่ 12 – 16 พบว่า อัตราการพองตัวของเมล็ดข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Bhattacharjee และ Nath (1985) ศึกษาผลของการพองตัวของเมล็ดข้าวสาร ในสภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 120 วัน พบว่า ทุก ๆ สภาวะการเก็บรักษา เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวของเมล็ดข้าวสารจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของเมล็ดข้าวสารระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิการทอดสูงขึ้นอัตราการพองตัวของเมล็ดข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบระดับความชื้น พบว่าที่ระดับความชื้น ร้อยละ 12 มีอัตราการพองตัวสูงที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับ ความชื้นร้อยละ 14

ตารางที่ 12 ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (เดือน)	อัตราการพองตัว (เท่า) ที่ความชื้น (ร้อยละ)[1]		
		10	12	14
180	0	2.22±0.06 b	3.94±0.06 b	3.47±0.09 b
	1	2.27±0.15 ab	4.19±0.17 a	3.63±0.09 b
	2	2.29±0.15 ab	4.27±0.03 a	3.65±0.06 b
	3	2.30±0.09 ab	4.29±0.10 a	3.86±0.07 a
	4	2.43±0.09 a	4.31±0.12 a	3.92±0.09 a
	5	2.39±0.04 ab	4.33±0.07 a	3.95±0.14 a
190	0	2.65±0.11 b	4.61±0.12 ns	4.28±0.07 b
	1	2.88±0.16 a	4.65±0.03	4.22±0.03 b
	2	2.88±0.06 a	4.61±0.03	4.33±0.09 b
	3	2.84±0.05 a	4.76±0.04	4.63±0.15 a
	4	2.94±0.06 a	4.78±0.12	4.61±0.18 a
	5	2.94±0.26 a	4.80±0.13	4.59±0.06 a
200	0	3.55±0.06 b	5.00±0.12 ns	4.84±0.07 ns
	1	3.51±0.03 b	5.18±0.10	4.96±0.03
	2	3.74±0.15 a	5.16±0.18	4.84±0.07
	3	3.84±0.09 a	5.15±0.06	4.92±0.09
	4	3.92±0.09 a	5.11±0.31	4.76±0.11
	5	3.92±0.09 a	5.24±0.15	4.92±0.08

[1] ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่อุณหภูมิเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ns ตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 13 ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์ดอกพยอม ต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (เดือน)	อัตราการพองตัว (เท่า) ที่ความชื้น (ร้อยละ)[1]		
		10	12	14
180	0	2.18±0.10 b	3.49±0.22 ns	3.37±0.09 b
	1	2.18±0.11 b	3.45±0.18	3.43±0.16 b
	2	2.27±0.02 ab	3.49±0.27	3.56±0.11 ab
	3	2.37±0.12 ab	3.55±0.12	3.51±0.17 ab
	4	2.37±0.09 ab	3.51±0.19	3.53±0.05 ab
	5	2.45±0.08 a	3.63±0.09	3.65±0.06 a
190	0	2.95±0.19 ab	4.51±0.03 b	4.16±0.21 b
	1	2.76±0.15 b	4.63±0.03 b	4.20±0.12 b
	2	3.04±0.09 a	4.74±0.03 a	4.23±0.31 b
	3	3.13±0.08 a	4.51±0.00 b	4.22±0.12 a
	4	3.15±0.17 a	4.69±0.06 ab	4.43±0.03 a
	5	3.13±0.10 a	4.71±0.04 ab	4.47±0.10 a
200	0	3.57±0.05 c	4.98±0.12 ns	4.63±0.04 ns
	1	3.55±0.15 c	5.10±0.03	4.73±0.03
	2	3.78±0.06 ab	5.17±0.24	4.80±0.09
	3	3.74±0.12 bc	5.14±0.07	4.79±0.05
	4	3.94±0.06 a	5.02±0.09	4.78±0.04
	5	3.94±0.11 a	5.02±0.09	4.76±0.08

[1] ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่อุณหภูมิเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ns ตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 14 ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (เดือน)	อัตราการพองตัว (เท่า) ที่ความชื้น (ร้อยละ)[1]		
		10	12	14
180	0	2.00±0.12 ns	2.76±0.05 b	2.74±0.15 b
	1	1.98±0.07	2.74±0.06 b	2.96±0.05 a
	2	1.94±0.09	2.82±0.06 ab	2.84±0.03 ab
	3	1.92±0.04	2.86±0.03 ab	2.98±0.05 a
	4	2.02±0.26	2.88±0.00 ab	2.94±0.10 a
	5	2.04±0.09	2.94±0.06 a	2.84±0.09 ab
190	0	2.35±0.06 b	3.65±0.02 b	3.57±0.07 b
	1	2.53±0.18 a	3.69±0.12 b	3.47±0.06 b
	2	2.45±0.15 ab	3.78±0.03 ab	3.57±0.03 b
	3	2.49±0.07 ab	3.82±0.10 ab	3.74±0.03 a
	4	2.47±0.03 ab	3.80±0.04 ab	3.80±0.15 a
	5	2.45±0.19 ab	3.88±0.10 a	3.86±0.09 a
200	0	3.08±0.03 ab	4.24±0.03 ns	4.13±0.13 ns
	1	3.06±0.10 b	4.24±0.03	4.02±0.12
	2	3.08±0.14 ab	4.20±0.19	4.04±0.09
	3	3.20±0.04 ab	4.14±0.07	4.16±0.12
	4	3.16±0.07 ab	4.28±0.04	4.17±0.14
	5	3.24±0.12 a	4.27±0.04	4.18±0.18

[1] ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่อุณหภูมิเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ns ตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 15 ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์เล็บนกปัตตานีต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (เดือน)	อัตราการพองตัว (เท่า) ที่ความชื้น (ร้อยละ)[1]		
		10	12	14
180	0	1.94±0.06 b	3.45±0.09 ab	3.20±0.09 ns
	1	2.10±0.09 b	3.32±0.06 b	3.24±0.11
	2	2.04±0.15 b	3.37±0.09 b	3.28±0.18
	3	2.09±0.07 b	3.36±0.08 b	3.31±0.08
	4	2.12±0.15 b	3.47±0.09 ab	3.33±0.07
	5	2.33±0.06 a	3.59±0.06 a	3.27±0.08
190	0	2.76±0.12 a	4.16±0.12 b	3.80±0.03 ab
	1	2.53±0.16 b	4.12±0.10 b	3.71±0.06 b
	2	2.53±0.03 b	4.11±0.11 b	3.84±0.08 ab
	3	2.65±0.04 ab	4.16±0.14 b	3.90±0.09 a
	4	2.78±0.07 a	4.23±0.10 ab	3.92±0.19 a
	5	2.74±0.03 a	4.33±0.12 a	3.90±0.03 a
200	0	3.24±0.05 b	4.44±0.11 b	4.02±0.12 b
	1	3.28±0.06 b	4.47±0.05 ab	4.04±0.19 b
	2	3.33±0.04 ab	4.51±0.03 ab	4.18±0.10 ab
	3	3.47±0.06 a	4.63±0.12 a	4.16±0.15 ab
	4	3.35±0.04 ab	4.60±0.10 a	4.17±0.06 ab
	5	3.47±0.10 a	4.63±0.06 a	4.31±0.09 a

[1] ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่อุณหภูมิเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ns ตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 16 ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์ KGTLR 97133 – 3 – 1 - 2 ต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (เดือน)	อัตราการพองตัว (เท่า) ที่ความชื้น (ร้อยละ)[1]		
		10	12	14
180	0	1.57±0.03 b	2.24±0.06 ns	2.08±0.04 b
	1	1.54±0.09 b	2.26±0.09	2.12±0.04 ab
	2	1.69±0.03 ab	2.27±0.07	2.23±0.08 ab
	3	1.65±0.06 ab	2.35±0.03	2.18±0.11 ab
	4	1.80±0.09 a	2.35±0.00	2.22±0.12 ab
	5	1.78±0.03 a	2.37±0.15	2.28±0.24 a
190	0	2.08±0.12 b	2.76±0.06 b	2.51±0.09 ns
	1	2.16±0.12 ab	2.77±0.06 b	2.61±0.04
	2	2.14±0.07 ab	2.82±0.02 ab	2.56±0.10
	3	2.30±0.05 a	2.94±0.06 ab	2.70±0.15
	4	2.25±0.07 ab	2.98±0.12 a	2.51±0.03
	5	2.22±0.36 ab	2.94±0.05 ab	2.63±0.07
200	0	2.32±0.26 b	3.73±0.06 b	3.55±0.12 ns
	1	2.35±0.10 b	3.82±0.10 ab	3.42±0.12
	2	2.34±0.08 b	3.96±0.07 a	3.43±0.09
	3	2.37±0.04 b	3.73±0.08 b	3.46±0.04
	4	2.55±0.03 a	3.92±0.21 a	3.49±0.12
	5	2.57±0.15 a	3.79±0.06 ab	3.53±0.04

[1] ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่อุณหภูมิเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ns ตัวเลขในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

3.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของเมล็ดข้าวสาร

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวด้วยวิธีการทอดโดยนำข้าวที่มีระดับอะไมโลสแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18 อะไมโลสปานกลางค่อนข้างสูง (พันธุ์ดอกพยอม) มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 26 และอะไมโลสสูง (พันธุ์ KGTLR 97133/3/1/2) มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 32 ที่ระดับความชื้นร้อยละ 10 12 และ 14 อุณหภูมิการทอด 180 190 และ 200 องศาเซลเซียส แสดงผลดังตารางที่ 13 พบว่า ระดับอะไมโลส ความชื้น และอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการพองตัวอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อระดับอะไมโลสร้อยละ 32 อัตราการพองตัวต่ำกว่าร้อยละ 18 และ 26 ขณะที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 12 และ 14 มีอัตราการพองตัวสูงกว่าร้อยละ 10 และอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีอัตราการพองตัวสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบทุก ๆ ชุดการทดลอง พบว่า ข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่ำ ที่ระดับความชื้นร้อยละ 12 อุณหภูมิการทอด 200 องศาเซลเซียส มีอัตราการพองตัวสูงสุด ($P <0.05$) ประมาณ 5.35 เท่า

ตารางที่ 17 อัตราการพองตัวโดยการทอดของตัวอย่างข้าวที่มีระดับอะไมโลส ความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน

ระดับอะไมโลส	ความชื้น (ร้อยละ)	อัตราการพองตัว (เท่า) ที่อุณหภูมิการทอด (^{o}C)		
		180	190	200
อะไมโลสต่ำ (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105)	10	2.26±0.06 l	3.36±0.03 j	4.08±02.9 ef
	12	3.41±0.20 j	4.75±0.07 c	5.35±0.01 a
	14	3.49±0.03 ij	4.35±0.07 d	4.98±0.13 b
อะไมโลสปานกลาง-ค่อนข้างสูง (พันธุ์ดอกพยอม)	10	1.79±0.13 n	2.93±0.06 k	3.73±0.08 gh
	12	3.33±0.24 j	4.28±0.07 de	5.22±0.29 a
	14	3.52±0.03 ij	4.21±0.06 de	4.74±0.09 c
อะไมโลสสูง (พันธุ์ KGTLR 97133/ 3/1/2)	10	1.50±0.05 o	2.02±0.12 m	2.83±0.17 k
	12	2.04±0.12 m	2.92±0.03 k	3.88±0.16 fg
	14	2.08±0.03 lm	2.79±0.19 k	3.65±0.06 hi

a,b,...,o ที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($P>0.05$)

ค่าความกรอบ

ผลการวัดค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง ที่ระดับอะไมโลส ความชื้น และอุณหภูมิการทอดที่แตกต่างกัน แสดงผลดังตารางที่ 18 พบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 32 ให้ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพองต่ำกว่าที่ร้อยละ 18 และ 26 ปริมาความชื้นไม่มีผลต่อความกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งที่ระดับความชื้นร้อยละ 12 ให้ค่าความกรอบสูงกว่าที่ร้อยละ 10 และ 14 และอุณหภูมิการทอด 200 องศาเซลเซียส ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความกรอบสูงกว่าที่ 180 และ 190 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบทุก ๆ ชุดการทดลองพบว่า ที่ระดับอะไมโลสต่ำ ความชื้นร้อยละ 12 และอุณหภูมิการทอด 200 องศาเซลเซียส ให้ข้าวพองที่มีค่าความกรอบสูงสุด จากการทดลองพบว่าค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการพองตัว เมื่ออัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น ค่าความกรอบจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการพองตัวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความโปร่งและเกิดช่องว่างภายในผลิตภัณฑ์ ทำให้แรงที่ใช้ในการตัดเฉือนจึงน้อยลง Villareal และ Juliano (1987) ศึกษาการพองตัวของข้าวพบว่าเมื่ออัตราการพองตัวเพิ่มขึ้นค่าความแข็งของข้าวพองจะลดลง

ตารางที่ 18 ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการทอดของตัวอย่างข้าวที่ระดับอะไมโลส ความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน

ระดับอะไมโลส	ความชื้น (ร้อยละ)	ค่าแรงตัดเฉือนที่อุณหภูมิการทอด (^{0}C)		
		180	190	2000
อะไมโลสต่ำ (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105)	10	11.99±2.03 a.x	10.49±1.65 a.y	10.19±1.15 a.y
	12	11.24±1.41 a.x	10.88±1.27 a.x	9.71±1.19 a.y
	14	11.39±1.82 a.x	10.83±1.55 a.xy	10.16±0.89 a.y
อะไมโลสปานกลาง-ค่อนข้างสูง (พันธุ์ดอกพยอม)	10	12.01±2.27 a.x	11.11±1.61 a.x	10.19±1.28 a.y
	12	11.63±1.17 a.x	10.21±1.37 a.y	9.90±1.32 a.y
	14	11.77±1.66 a.x	10.31±1.82 a.y	9.97±1.00 a.y
อะไมโลสสูง (พันธุ์ KGTLR 97133/ 3/1/2)	10	12.63±2.91 a.x	11.46±3.03 a.x	11.78±2.13 a.x
	12	12.48±223 a.x	11.36±1.39 a.x	11.17±2.98 a.x
	14	12.58±1.84 a.x	11.25±3.60 a.x	11.22±2.51 a.x

a,b,... ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวตั้งที่ระดับอะไมโลส และอุณหภูมิเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ (P>0.05)

x,y,... ที่มีอักษรเหมือนกันในแนวนอนที่ระดับอะไมโลส และความชื้นเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญสถิติ (P>0.05)

ค่าสี

ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำให้พองตัวด้วยวิธีการทอดที่ระดับอะไมโลส ความชื้นและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยเครื่องวัดค่าสีในระบบ Hunter แสดงในรูปค่า L a และ b ได้ผลดังนี้

ค่า L

เป็นค่าที่แสดงความสว่างของผลิตภัณฑ์ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100 เมื่อค่า L มีค่าเท่ากับ 0 แสดงถึงความสว่างน้อยที่สุด จนกระทั่งความสว่างมากที่สุด มีค่า L เท่ากับ 100 ถ้าค่า L สูงแสดงว่าผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ได้มีความสว่างมากหรือมีความโปร่ง ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีความขาวมาก เป็นผลมาจากการเกิดการขยายตัวของข้าวพองได้มาก หรืออัตราการพองตัวสูง ผลการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ผ่านการทำให้พองตัวโดยวิธีการทอด แสดงดังภาพที่ 7 พบว่า ระดับอะไมโลส ความชื้น และอุณหภูมิการทอดมีความสัมพันธ์กับค่า L ของผลิตภัณฑ์ กล่าว

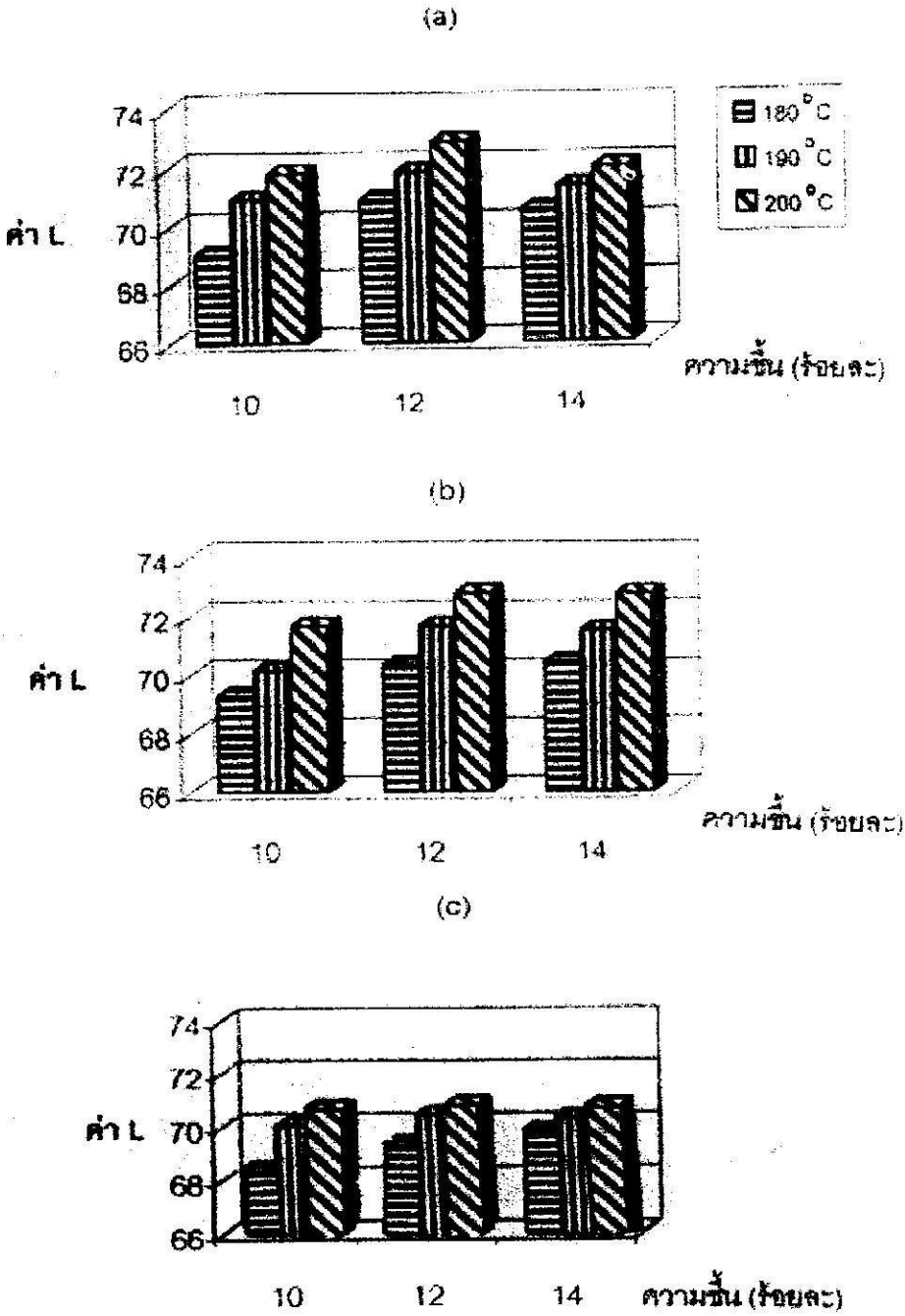
คือ ระดับอะไมโลสร้อยละ 18 ให้ค่าความขาวของผลิตภัณฑ์ต่ำร้อยละ 12 และ 14 ส่วนอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสให้ค่าความขาวของผลิตภัณฑ์สูงกว่าที่ 180 และ 190 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เป็นผลมาจากอัตราการพองตัวที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการขยายตัวอละมีช่องว่างมากขึ้น

ค่า a

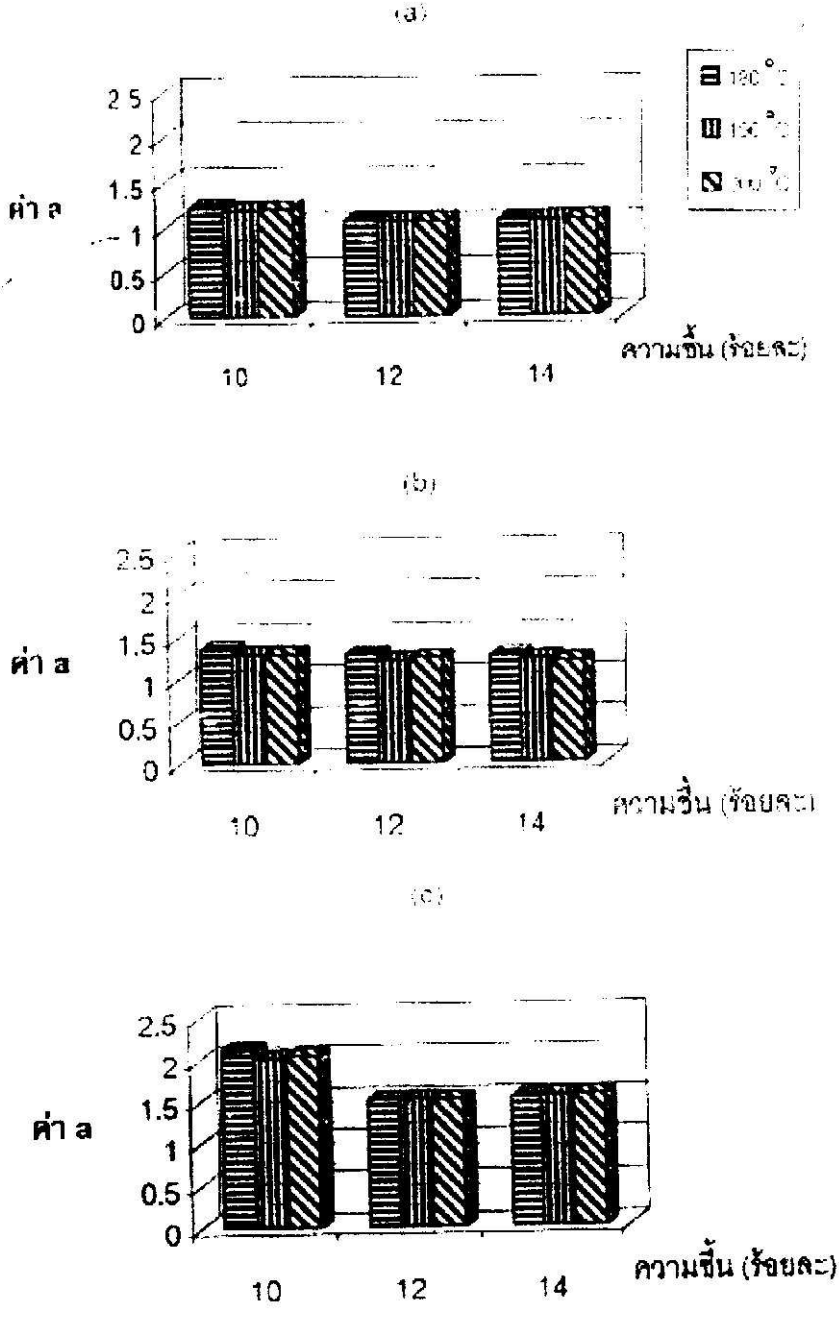
ค่า a เป็นค่าที่แสดงถึงสีของผลิตภัณฑ์ในช่วงสีแดงถึงสีเขียว เมื่อค่า a เป็นบวกแสดงค่าของสีแดง และค่า a เป็นลบแสดงค่าของสีเขียว ผลการวัดค่า a ของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง แสดงดังภาพที่ 8 พบว่า ทุก ๆ ชุดการทดลองเมื่ออัตราการพองตัวสูงขึ้น ค่า a มีค่าลดลง ที่ระดับอะไมโลสร้อยละ 32 จะมีค่า a สูงกว่าที่ร้อยละ 18 และ 26 ที่ระดับความชื้นร้อยละ 10 ให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่มีสีขาวอมเหลืองมากกว่าร้อยละ 12 และ 14 ส่วนอุณหภูมิการทอดทั้ง 3 ระดับให้ค่า a ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิการทอดสูงขึ้นอาจเกิดการไหม้ของตัวอย่างได้

ค่า b

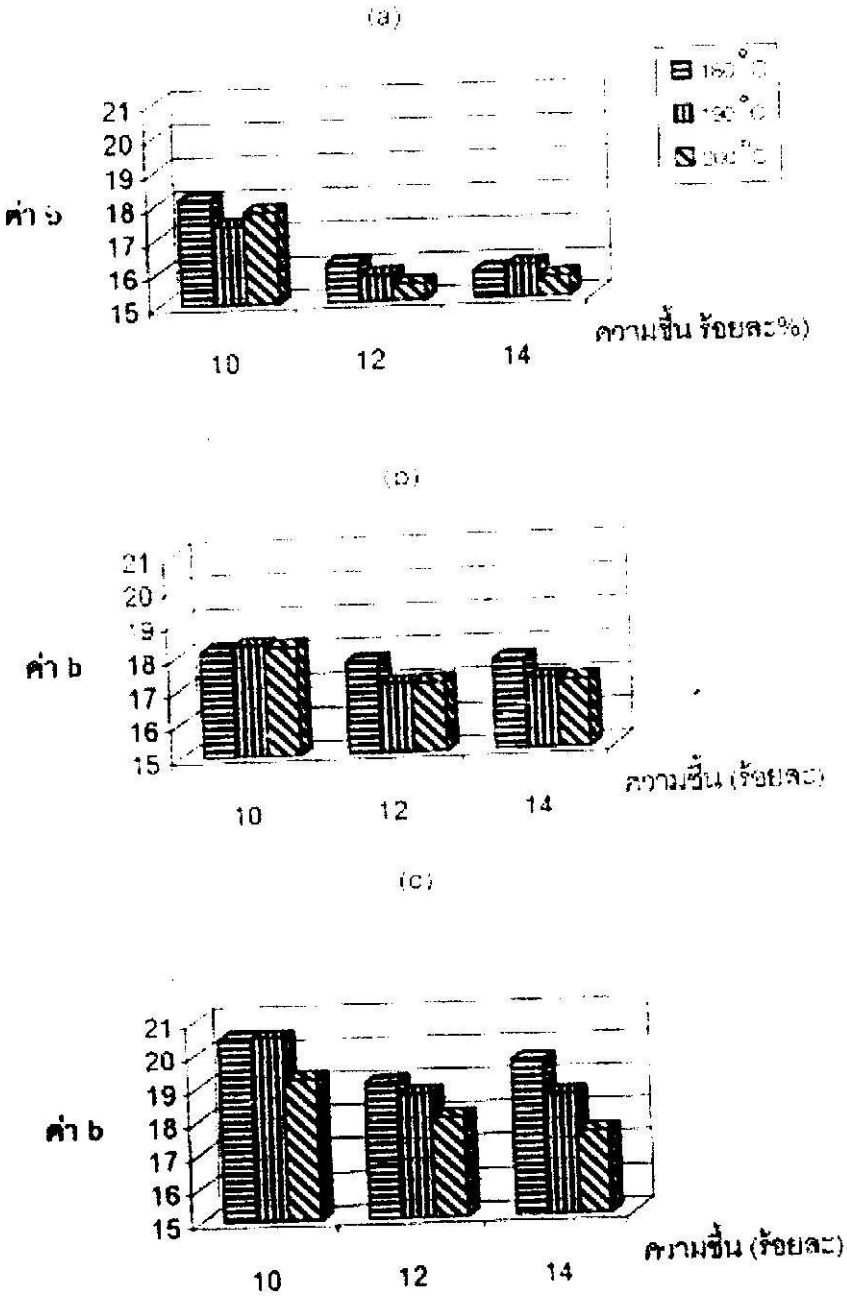
ค่า b เป็นค่าที่แสดงถึงค่าสีในช่วงสีเหลืองถึงสีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์เมื่อค่า b เป็นบวกแสดงค่าของสีเหลือง และค่า b เป็นลบ แสดงค่าของสีน้ำเงิน ผลการวัดค่า b ของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง แสดงดังภาพที่ 9 พบว่า ทุก ๆ ชุดการทดลองเมื่ออัตราการพองตัวสูงขึ้น ค่า b มีค่าลดลง ระดับอะไมโลสมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับค่า b คือที่ระดับอะไมโลสร้อยละ 32 ให้ค่า b สูงกว่าที่ร้อยละ 18 และ 26 ที่ระดับความชื้นร้อยละ 10 ให้ค่า b สูงกว่าที่ร้อยละ 12 และ 14 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีขาวอมเหลือง ส่วนอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีขาวอมเหลือง น้อยว่าที่ 180 และ 190 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากตัวอย่างมีการพองตัวน้อย ข้าวพองที่ได้จะเกิดการอมน้ำมัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง



ภาพที่ 7 ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการทอดของพันธุ์ข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (a) ปานกลาง-ค่อนข้างสูง (b) และสูง (c) ที่มีความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน



ภาพที่ 8 ค่า a ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการทอดของพันธุ์ข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (a) ปานกลาง-ค่อนข้างสูง (b) และสูง (c) ที่มีความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน



ภาพที่ 9 ค่า b ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองโดยการทอดของพันธุ์ข้าวที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (a) ปานกลาง-ค่อนข้างสูง (b) และสูง (c) ที่มีความชื้น และอุณหภูมิต่างกัน

3.5 ภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวขาวดอกมะลิ 105

(1) ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน เถ้า และ อะไมโลส ในปริมาณร้อยละ 6.65, 0.25, 0.25 และ 16.69 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และความชื้นร้อยละ 13.14 ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวขาวดอกมะลิ 105

องค์ประกอบทางเคมี	%(น้ำหนัก)
ความชื้น[1]	13.14±0.04
โปรตีน	6.65±0.11
ไขมัน	0.25±0.06
เถ้า	0.25±0.13
อะไมโลส	16.69±0.34

[1] คิดจากน้ำหนักเปียก

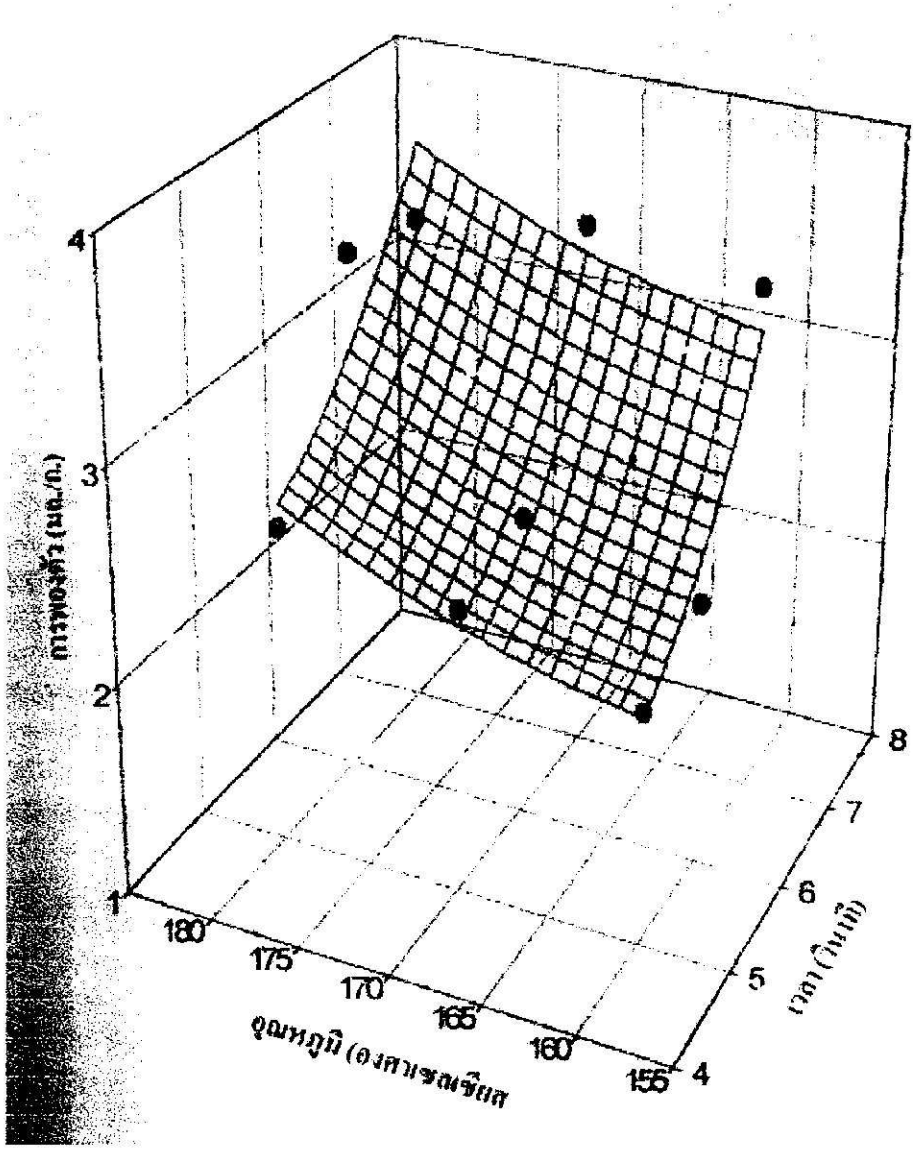
จากรายงานของ วิไลลักษณ์ กมลธรรม (2538) ว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น และอะไมโลส มีค่าร้อยละ 8.53, 0.35, 12.76 และ 14.28 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่แตกต่างกันนี้ อาจเนื่องมาจากแหล่งปลูก สภาพการบำรุงรักษา และสภาพบรรยากาศ

(2) สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

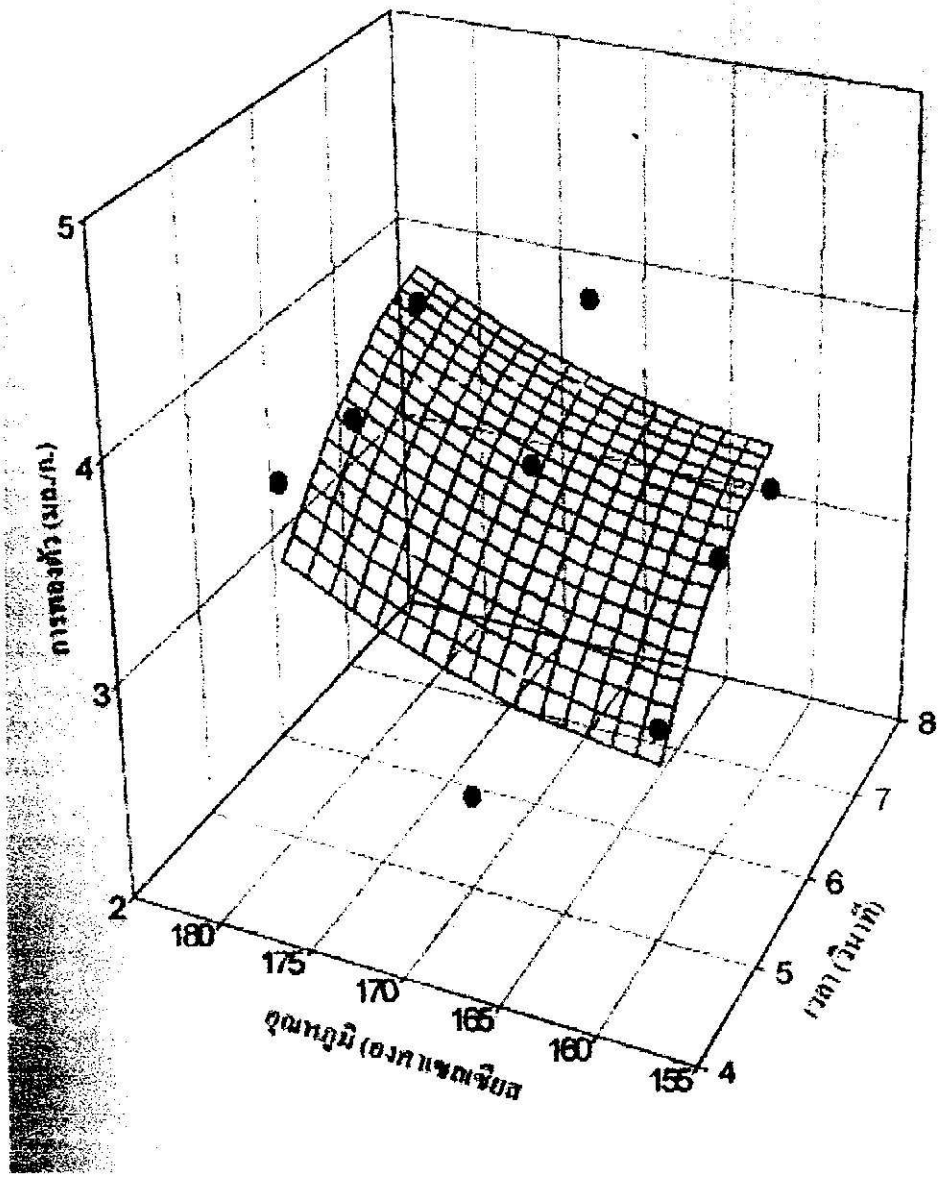
เตรียมข้าวให้มีความชื้นร้อยละ 11,12 และ 13 นำมาทำให้พองด้วยเครื่องผลิตข้าวพอง (ภาพที่ 5) ที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6, และ 7 วินาที นำข้าวพองที่ได้มาทำการวัดค่าการพองตัว ค่าสี และความกรอบได้ผลดังนี้

2.1 ค่าการพองตัว

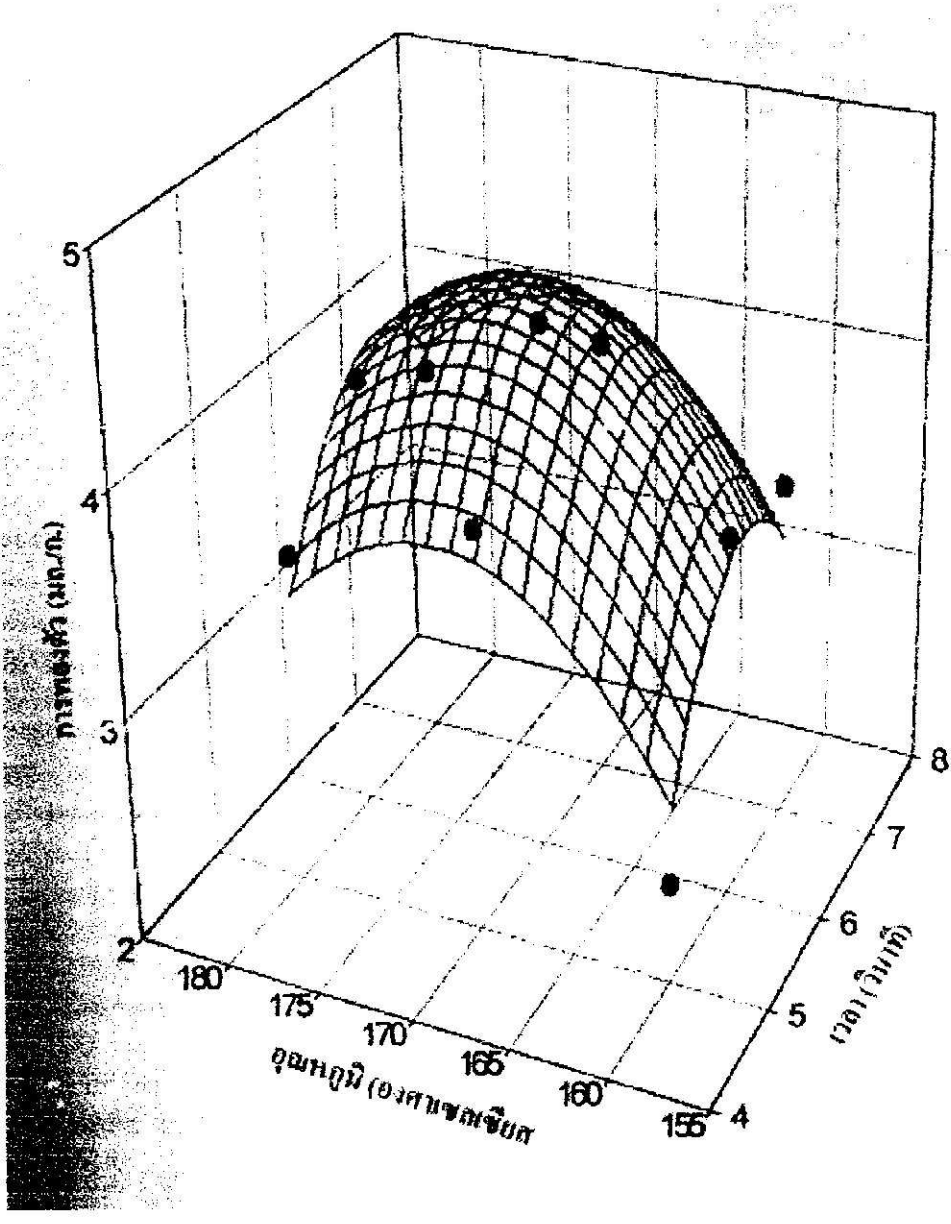
จากตารางที่ 20 แสดงการพองตัวของข้าวที่สภาวะต่าง ๆ พบว่า ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตข้าวพองมีอิทธิต่อการพองตัวของข้าว กล่าวคือข้าวจะพองตัวได้ดีที่สุด เมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 13 ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณความชื้นเป็นอิทธิพลหลักที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว ผลของความชื้น และอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นกับอุณหภูมิ และเวลา ได้แสดงไว้ในภาพที่ 10, 11 และ 12 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อความชื้นของข้าวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11, 12, และ 13 การพองตัวจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ความชื้นของข้าวเป็นปัจจัยหลักในข้าว ที่มีความสัมพันธ์กับสภาวะที่ใช้ในการผลิตข้าวพอง Chinnaswamy และ Bhattacharya (1983) รายงานว่าความชื้นที่เหมาะสมต่อ



ภาพที่ 10 การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 11 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5,6 และ 7 วินาที



ภาพที่ 11 การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 12 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5,6 และ 7 วินาที



ภาพที่ 12 การพองตัวของข้าวความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5,6 และ 7 วินาที

การผลิตข้าวพองโดยการคั่วกับทราย คือ ร้อยละ 10.5 ในขณะที่ Robert (1951) (อ้างโดย Chinnaswamy และ Bhattacharya 1983) รายงานว่าการผลิตข้าวพอง โดยการทอดในน้ำมันและโดยการอบ ความชื้นที่เหมาะสมได้แก่ร้อยละ 8-14 และ 8-9 ตามลำดับ การทำข้าวพอง ที่ปริมาณความชื้นต่ำ (ร้อยละ 11) จะพองตัว ได้น้อยเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ (160 องศาเซลเซียส) และเมื่อความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การพองตัวก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งให้น้ำในเมล็ดข้าวระเหยกลายเป็นไอเร็วขึ้น และเวลาที่นานขึ้นทำให้ปริมาณไอน้ำมีมาก ส่งผลให้แรงดันที่ใช้ในการพองตัวของข้าวมีมาก (Huff, et al., 1992) แต่ที่อุณหภูมิสูงมาก (180 องศาเซลเซียส) การพองตัวของข้าวลดลง เช่นเดียวกับเวลาที่ใช้ในการทำข้าวพอง กล่าวคือ แม้ข้าวจะพองตัวดีขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น แต่ถ้าเวลานานเกินไปการพองตัวของข้าวก็จะลดลง จำนวนไอน้ำที่เกิดขึ้นมีผลต่อการพองตัวของข้าว ไอน้ำทำให้เกิดแรงที่ใช้ในการทำให้เมล็ดข้าวพองตัว ปริมาณไอน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในข้าว เมื่อทำให้ร้อนในภาชนะที่ปิดสนิทน้ำกลายเป็นไอ และมีแรงดัน ถ้าปริมาณไอน้ำมาก แรงดันจะมีมากทำให้ข้าวพองตัวดี แต่ถ้าอุณหภูมิสูง และเวลานานเกินไปจะทำให้บริเวณรอบนอกของเมล็ดข้าวเกิดขอบแข็งและไหม้ทำให้น้ำภายในออกมาภายนอกได้น้อยลง การพองตัวของข้าวจึงน้อยลง (Huff, 1992) สอดคล้องกับรายงานของ Hsieh และคณะ (1989) การพองตัวของข้าวโดยการใช้ข้าวที่ผ่านการแช่น้ำและปรับความชื้น การพองตัวของข้าวมีผลมาจากคุณสมบัติการยืดหยุ่น (elasticity) ของแป้งในเมล็ดข้าว ที่อุณหภูมิสูงเวลานานแป้งจะมีคุณสมบัติการยืดหยุ่นที่ดีเหมาะต่อการพองตัวของข้าวแต่ถ้าอุณหภูมิสูงและเวลานานเกินไปแป้งจะสูญเสียคุณสมบัตินี้ทำให้การพองตัวลดลง

ตารางที่ 20 การพองตัวของข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 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 l	4.03 c	3.75 ef

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

2.2 ค่าสี

ในสภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีสีที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 21 พบว่าความชื้นของข้าว อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ให้ความร้อนกับข้าวมีผลต่อค่าสีของข้าวพอง อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาและอุณหภูมิ และอิทธิพลร่วมระหว่างความชื้น และอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่าของสีข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) 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) ซึ่งรายงานว่าการผลิตข้าวพองที่อุณหภูมิสูงระยะเวลานาน จะทำให้ค่า L ของผลิตภัณฑ์ลดลงตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปและระยะเวลาที่นาน จะทำให้บริเวณรอบ ๆ เมล็ดข้าวได้รับความร้อนสูง ทำให้ไหม้เกรียมและมีสีเข้ม ในขณะที่ Hsieh และ คณะ (1989) ใช้อุณหภูมิ 200, 210, 220 และ 230

องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วินาทีในการผลิตข้าวพอง พบว่าค่า L ของผลิตภัณฑ์ลดลงตามลำดับคือมีค่า L เท่ากับ 73, 72, 69 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการผลิตนานมากกว่า 5 วินาที พบว่าค่า L ของผลิตภัณฑ์จะลดลงตามระยะเวลาที่นานขึ้นทุกระดับอุณหภูมิ จากการทดลองยังพบว่าค่า L ของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับการพองตัวของข้าว คือข้าวที่มีอัตราการพองตัวดีจะมีค่าความสว่างมาก และข้าวที่มีการพองตัวน้อยจะมีค่าความสว่างน้อย ในขณะที่การทดลองของ Huff และคณะ (1992) รายงานว่า ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองมีความสัมพันธ์กับอัตราการพองตัวของข้าว กล่าวคือ ข้าวที่มีการพองตัวดีจะมีค่า L ลดลง โดยพบว่าข้าวที่มีการพองตัว 7.31, 7.68 และ 8.42 มล./ก มีค่า L เท่ากับ 60.6, 58.7 และ 57.64 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการพองตัวของข้าว จะทำให้ภายในเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ดมีช่องว่างของอากาศเป็นจำนวนมาก ช่องว่างของอากาศจะทำให้เมล็ดข้าวมีความโปร่งเพิ่มขึ้นและทำให้ความสว่างในเมล็ดข้าวลดลง

ตารางที่ 21 ค่า L ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้เกิดการพองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที

ความชื้น (ร้อยละ)	เวลา (วินาที)	ค่า L ที่อุณหภูมิ		
		160 °ซ	170 °ซ	170 °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	83.37ij	81.02 def
	6	83.65 ij	84.16 jk	79.49 bc
	7	82.94 hij	83.30 ij	79.99 bc

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

2.3 ค่าความกรอบ

ความกรอบของข้าวพองวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยวัดแรงกดที่ทำให้ชิ้นข้าวพองแตก ถ้าแรงที่ใช้น้อยแสดงว่าข้าวพองมีความกรอบมาก ในขณะเดียวกันถ้าใช้แรงมากแสดงว่ามีความกรอบน้อย จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของข้าว อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต มีอิทธิพลต่อความกรอบของข้าวพอง อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นของข้าวกับอุณหภูมิและระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตข้าวพอง มีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์ ($P<0.05$) โดยพบว่า ตัวอย่างข้าวที่มีความชื้นสูง ใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบมาก ความกรอบมีความสัมพันธ์กับอัตราการพองตัว กล่าวคือ ข้าวที่พองตัวดีจะมีความกรอบมาก สภาวะที่ข้าวพองมีความกรอบมากคือ สภาวะที่ข้าวมีความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที และสภาวะที่ข้าวมีความชื้นร้อยละ 12 ทำให้พองที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วินาที มีค่าแรงเท่ากับ 3278 และ 3222 กรัม ตามลำดับ และในขณะเดียวกับสภาวะที่ใช้ข้าวความชื้นร้อยละ 11 ใช้อุณหภูมิในการผลิตต่ำเป็นระยะเวลาสั้น (160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที) ค่าแรงที่ใช้มาก คือ เท่ากับ 8504 กรัม และสภาวะที่ใช้อุณหภูมิสูง (180 องศาเซลเซียส) ค่าแรงจะมากเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 22) ทั้งนี้เนื่องจากการผลิตข้าวพองที่อุณหภูมิต่ำเวลาสั้น เป็นสภาวะที่ข้าวมีการพองตัวได้น้อย ปริมาณน้ำยังคงหลงเหลืออยู่ในเมล็ดข้าว เนื่องจากน้ำระเหยกลายเป็นไอไม่หมด ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเหนียวและนิ่ม เกาะติดกันเป็นแผ่นแน่น ปริมาณน้ำมีผลต่อคุณลักษณะในด้านความกรอบมาก โดยน้ำจะทำให้มีความยืดหยุ่นและนิ่ม (Katz and Labuza, 1981) จากผลการทดลองจะเห็นว่าความกรอบของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับการพองตัวของข้าว คือข้าวที่มีการพองตัวจะมีความกรอบมาก เนื่องจากการพองตัวของเมล็ดข้าวทำให้ภายในเมล็ดของข้าวมีความโปร่ง และมีความเป็นรูพรุนอยู่สูง ส่งผลให้ข้าวมีความกรอบ และเปราะ จึงใช้แรงน้อยในการทำให้แตกหัก

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

ตารางที่ 22 ค่าความกรอบ (แรง-กรัม) ของข้าวพองเมื่อใช้ข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 11, 12 และ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 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
	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

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

3.6 ผลของข้าวหักต่อการพองตัวของข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

(1) นำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีเปอร์เซ็นต์หัก 5 ระดับคือ ข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 มาวัดความยาว ความกว้าง และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวพบว่า เมื่อเมล็ดข้าวมีเปอร์เซ็นต์หักมากขึ้น จะมีความยาว และอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างลดลงดังตารางที่ 23

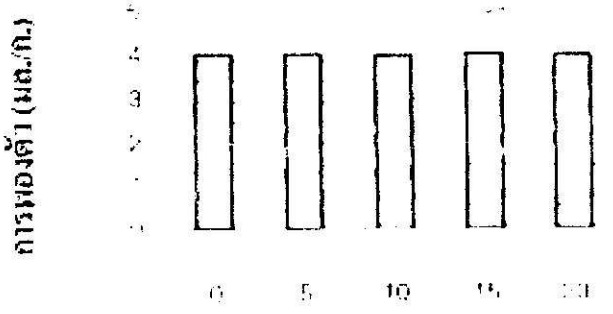
ตารางที่ 23 ความยาว, ความกว้าง และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวที่เปอร์เซ็นต์หักต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์หักของข้าว	ความยาว (มม.)[1]	ความกว้าง (มม.)[1]	อัตราส่วนความยาว/ความกว้าง
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

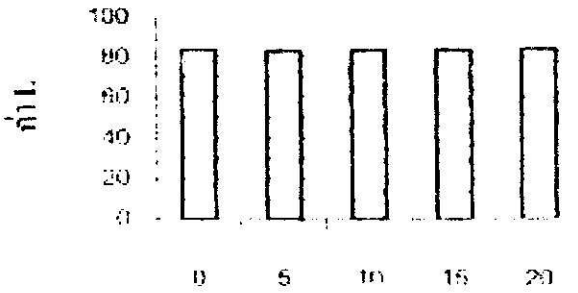
[1] ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างข้าว 20 เมล็ด

(2) ผลของเปอร์เซ็นต์หักของข้าวต่อการพองตัว ค่า L และค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพอง

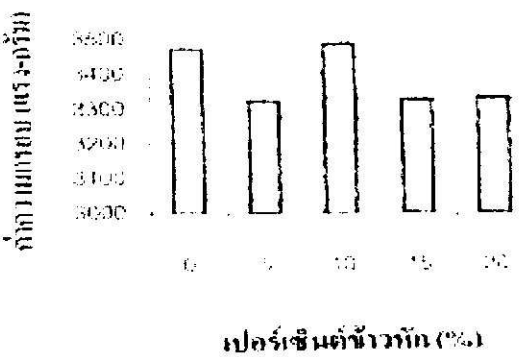
นำข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักทั้ง 5 ระดับ มาผ่านกระบวนการผลิตข้าวพองโดยใช้ข้าวนึ่งที่ผ่านการปรับความชื้นให้มีความชื้นร้อยละ 13 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วินาที นำข้าวพองที่ได้มาวัดการพองตัว ค่าสี และค่าความกรอบ พบว่าข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักทุกระดับไม่มีความแตกต่างกันในด้านการพองตัว ค่าสี และค่าความกรอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่ Chinnaswany และ Bhattacharya (1983) รายงานว่าการแตก หรือหักของข้าวจะทำให้อัตราการพองตัวของข้าวลดลง เนื่องจากไอน้ำที่เกิดขึ้นภายในเมล็ดข้าวจะแทรกผ่านได้ทางรอยแตกของเมล็ดข้าวทำให้ความดันที่ใช้ในการพองตัวของข้าวมีน้อยลง ข้าวจึงพองตัวได้น้อยโดยที่ข้าวเต็มเมล็ดมีอัตราการพองตัวเท่ากับ 7.3 เท่า และเมล็ดที่แตกมีอัตราการพองตัวลดลงเหลือ 5.3 เท่า ในการทดลองครั้งนี้ เป็นการผลิตข้าวพองโดยใช้เครื่องทำข้าวพอง ซึ่งประกอบด้วยพิมพ์ที่ปิดสนิทเมล็ดข้าวได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อนที่ฝังอยู่ในพิมพ์ทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านบนและด้านข้าง พร้อม ๆ กันในระยะเวลาสั้น ทำให้โอกาสที่จะมีการสูญเสียไอน้ำออกไปมีน้อยมาก และเมื่อเคลื่อนพิมพ์ออกจากกันจะทำอย่างรวดเร็ว ไอน้ำที่ถูกกักอยู่ในเมล็ดข้าวจะถูกปลดปล่อยออกมากอย่างทันทีทันใดพร้อม ๆ กัน ส่งผลให้การพองตัวของข้าว (ภาพที่ 13) ค่า L (ภาพที่ 14) และค่าความกรอบ (ภาพที่ 15) ไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าข้าวจะมีเปอร์เซ็นต์หักที่ต่างกัน ทั้งนี้เพราะมีปริมาณความชื้นเท่ากันและถูกกักอยู่ในภาชนะที่ปิดสนิทเช่นเดียวกัน จึงทำให้การพองตัวของข้าวไม่แตกต่างกัน และ Chandrasekhar และ Chatopadhyay (1991) กล่าวว่าการแตกหักที่เกิดจากการสีข้าว ไม่มีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าว แต่ระดับในการสีข้าวมีผลต่อปริมาณรำที่หุ้มรอบ ๆ เมล็ดข้าว โดยรำจะขัดขวางการปลดปล่อยความดันไอของน้ำภายในเมล็ดข้าวในขณะที่พองตัว



ภาพที่ 13 การพองตัวของข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หัก 5 ระดับ



ภาพที่ 14 ค่า L ของข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หัก 5 ระดับ



ภาพที่ 15 ค่าความกรอบ (แรง-กรัม) ของข้าวที่ผลิตจากข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หัก 5 ระดับ

3.7 การสกัดใยอาหารจากรำข้าว

1. *ส่วนประกอบของรำข้าว* พบว่ารำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้ว ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น, โปรตีน, ไขมัน และเถ้า ดังตารางที่ 24 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Gnanasambandam และ Hettiarachy (1995) ที่รายงานว่า ในรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว มี ความชื้น โปรตีน, ไขมัน และเถ้า ร้อยละ 10.05, 13.32, 2.03 และ 11.87 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 24 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว

องค์ประกอบ	% (น้ำหนักแห้ง)
ความชื้น[1]	10.74±0.48
โปรตีน	16.37±0.10
ไขมัน	2.91±0.09
เถ้า	13.87±0.03
ใยอาหารทั้งหมด	28.27±0.28
- ในอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	26.43±0.05
- ใยอาหารที่ละลายน้ำ	1.56±0.01

[1] คิดจากน้ำหนักเปียก

2. *สมบัติของใยอาหารที่สกัดได้*

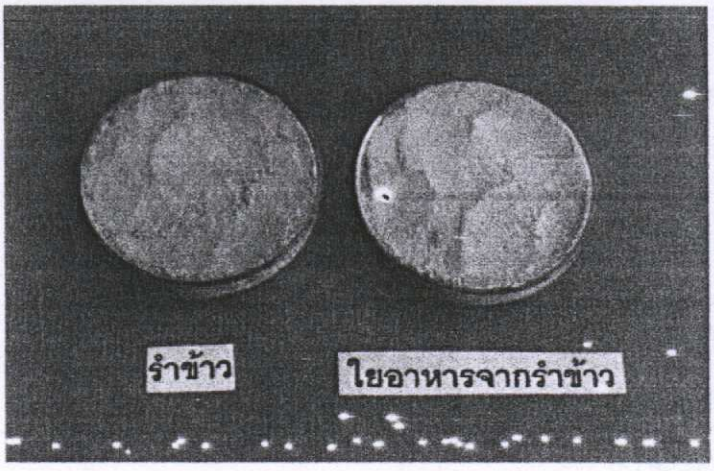
การสกัดใยอาหารจากรำข้าวทำได้โดยการลวกในน้ำร้อนเพื่อกำจัดแป้ง ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดโปรตีน หลังจากนั้นทำการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ใยอาหารที่สกัดได้มีสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังนี้

2.1 สมบัติทางกายภาพ

2.1.1 ค่าสี

ก่อนการวัดค่าสีของใยอาหาร นำใยอาหารมาบด และคัดขนาดที่ต่ำกว่า 40 เมช ใยอาหารที่ได้หลังการบด และคัดขนาดแล้ว มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ดังภาพที่ 16

ค่าสีของใยอาหารในระบบ Hunter พบว่ามีค่า L a และ b เท่ากับ 59.17, 2.03 และ 15.89 ตามลำดับ 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



ภาพที่ 16 รำข้าวและใยอาหารจากรำข้าว

2.1.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำ

เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำ ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าใยอาหารสามารถจับกับน้ำได้ดี คือมีลักษณะเป็น hygroscopic กับน้ำจากการทดลองพบว่าใยอาหารจากรำข้าวมีความสามารถดูดซับน้ำเท่ากับ 6.02 กรัมต่อกรัมใยอาหาร เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งใยอาหารอื่น ๆ พบว่ามีความสามารถในการดูดซับน้ำแตกต่างกัน เช่น รำข้าวเจ้า (เพลินใจ ตังคณะกูล และคณะ, 2538) รำข้าวโพด (Ning, wt al., 1991) รำข้าวโอต รำข้าวสาลี และใยอาหารจากแอปเปิ้ล (Chen, et al., 1988) มีค่าความสามารถในการดูดซับน้ำเท่ากับ 1.86, 2.94, 2.10, 5.03 และ 9.30 กรัมต่อกรัมใยอาหาร ตามลำดับ ความแตกต่างนี้น่าจะเกิดจากความแตกต่างของโครงสร้างและรูพรุนของผนังเซลล์ของแหล่งอาหารแต่ละชนิด โดยแหล่งใยอาหารที่มีโครงสร้างโมเลกุลของผนังเซลล์จับตัวกันแน่น หรือมีโครงสร้างของโมเลกุลยุบตัว และแหล่งใยอาหารที่ผนังเซลล์มีรูพรุนน้อย จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ (Chem, *et al.*, 1988; Gould, *et al.*, 1989; Jasberg, *et al.*, 1989 ; Ning, *et al.*, 1991)

2.2 สมบัติทางเคมี

จากตารางที่ 25 พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของใยอาหารจากรำข้าวที่ผ่านกระบวนการสกัดเป็นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 84.36 โดยน้ำหนักแห้ง แบ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำและใยอาหารที่ละลายน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 82.85 และ 1.19 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับสารอาหารได้แก่ โปรตีน และ ไขมัน ร้อยละ 5.74 และ 0.31 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ นอกจากนี้ใยอาหารยังประกอบด้วย เถ้า เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในปริมาณร้อยละ 1.79, 36.95, 33.74 และ 15.67 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับใยอาหารทางการค้า Fibrex ซึ่งมีปริมาณใย

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

ตารางที่ 25 องค์ประกอบของใยอาหารที่สกัดได้จากรำข้าว

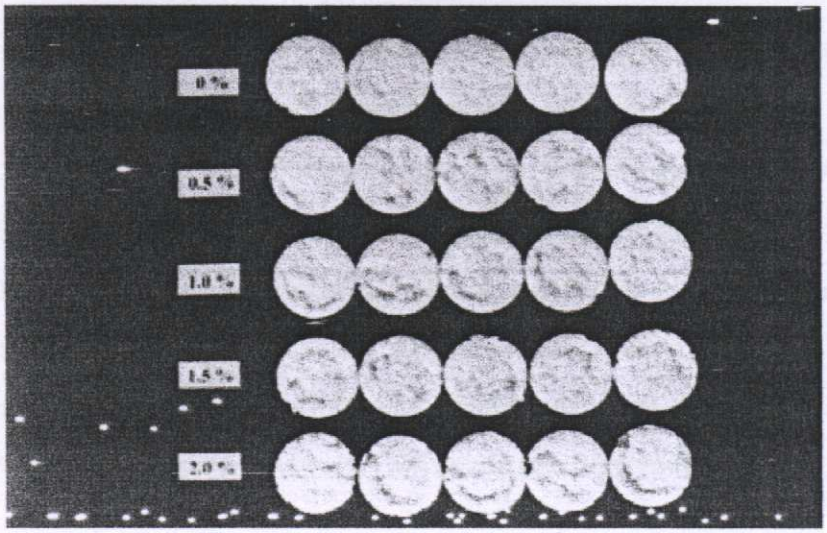
องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง[1]
ความชื้น[1]	7.44±0.11
โปรตีน	5.74±0.20
ไขมัน	0.31±0.06
เถ้า	1 .79±0.07
ใยอาหารทั้งหมด	84.36±0.41
ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	82.85±0.54
- เซลลูโลส	36.95±0.03
- เฮมิเซลลูโลส	33.74±0.24
- ลิกนิน	15.67±0.15
ใยอาหารที่ละลายน้ำ	1.19±0.55
พีเอช	4.5

[1] คิดจากน้ำหนักเปียก

3.8 อัตราส่วนของใยอาหารที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหาร

1 ผลของปริมาณใยอาหารที่มีต่อคุณภาพข้าวพอง

ใช้ข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักร้อยละ 20 มาทำการผลิตข้าวพองเสริมใยอาหาร โดยเติมใยอาหารในอัตราส่วนร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักข้าว พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มขึ้นตามปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 17 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการทดสอบแบบ QDA ประเมินคุณลักษณะทางด้านการพองตัวของข้าว สีความกรอบ ความรู้สึกหลังการกลืน และความชอบรวมด้วยวิธี Hedonic 9 scale ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 26



ภาพที่ 17 ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารในปริมาณร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2

ลักษณะการพองตัวของเมล็ดข้าว พิจารณาถึงความสม่ำเสมอของการพองตัวของเมล็ดข้าวและจำนวนเมล็ดข้าวที่ไม่พองตัว พบว่าปริมาณใยอาหารที่เติมมีผลต่อการพองตัวของเมล็ดข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คือเมื่อเติมใยอาหารมากขึ้นผู้ทดสอบชิมจะให้คะแนนน้อยลง แต่การเติมใยอาหารร้อยละ 1.5 ไม่ให้ผลแตกต่างจากชุดควบคุม และค่าการพองตัวของข้าวพองที่วัดได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 27) การเติมใยอาหารร้อยละ 2.0 แตกต่างจากระดับการเติมใยอาหารอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณใยอาหารที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลถึงความสามารถในการเกาะติดกันเป็นแผ่นของข้าวพอง กล่าวคือเมื่อปริมาณใยอาหารเพิ่มมากขึ้นเมล็ดข้าวปริมาณขอบของข้าวพองจะเปราะหัก และหลุดง่าย ทำให้แผ่นข้าวพองที่ได้ไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากใยอาหารจากรำข้าวมีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลสซึ่งโมเลกุลยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกว่าอะไมโลสในแป้ง 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 27) ข้าวพองจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อเติมใยอาหารมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากใยอาหารมีสีเหลืองอ่อน เมื่อเติมใยอาหารลงในข้าวจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Artz และคณะ (1990) ได้ทดลองเติมรำธัญพืชต่าง ๆ เช่น รำข้าวโพด รำข้าวสาลี รำข้าวโอต ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ พบว่า สีของผลิตภัณฑ์คุกกี้มีค่า L ลดลง

กลิ่นหอมของข้าว เมื่อเติมใยอาหารมากขึ้น พบว่าผู้ประเมินให้คะแนนกลิ่นหอมของข้าวลดลง ข้าวพองที่ไม่เติมใยอาหารคะแนนเท่ากับ 0.89 สูงกว่าข้าวพองที่เติมใยอาหารทั้ง 4 ระดับ คือ 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 ($P>0.05$) ในข้าวขาวดอกมะลิมีสารให้กลิ่นหอมของข้าวคือ 2-acetyl-1-pyrroline อยู่ประมาณ 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม เป็นสารที่ระเหยได้ง่าย (Lin, *et al.*, 1990) จึงทำให้กลิ่นหอมของข้าวลดลง ประกอบกับใยอาหารที่เติมเป็นใยอาหารที่สกัดจากรำข้าวซึ่งยังคงมีกลิ่นของรำข้าวอยู่ เมื่อเติมในข้าวพองจะไปบดบังกลิ่นหอมของข้าว ทำให้ผู้ประเมินกลิ่นหอมของข้าวลดลง

ความกรอบ พบว่าปริมาณใยอาหารที่เติม ไม่มีผลต่อค่าความกรอบของข้าวพองที่เติมใยอาหารในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับการวัดค่าความกรอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer ตารางที่ 27 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 และเป็นผงในปาก และลำคอ หลังการกลืนเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากเถ้าที่ยังเหลืออยู่ในใยอาหาร (Chou *et al.*, 1990 ; Pomeranz, *et al.*, 1977)

ความชอบรวม จากตารางที่ 26 พบว่า เมื่อเติมใยอาหารมากขึ้นคะแนนที่ได้น้อยลง ผู้ทดสอบมีความชอบผลิตภัณฑ์น้อยลง ข้าวพองที่ไม่เติมใยอาหารมีคะแนนสูงสุดคือ 7.2 ไม่แตกต่างจากข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 ซึ่งมีคะแนน 7.12, 1.10, 6.90 ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 2 มีคะแนน 5.4 แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) คะแนนด้านการยอมรับรวมเป็นผลมากจากคะแนนด้านการพองตัว ความกรอบ ส่วนคะแนนการไม่ยอมรับ สี กลิ่นหอมของข้าว และความรู้สึกหลังการกลืน อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบให้

คะแนนการยอมรับรวมของข้าวพองที่เติมใยอาหารร้อยละ 1.5 ไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ดังนั้นจึงเลือกเติมใยอาหารในข้าวพองในปริมาณร้อยละ 1.5 ในการผลิตข้าวพองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 26 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	3.90 b	5.40 a

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

ตารางที่ 27 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	4.26a	78.99 ab	3324 a
2	4.30 a	77.69 a	3396 a

หมายเหตุ อักษร ที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

2 *สมบัติของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5*

จากตารางที่ 27 พบว่าข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 สมบัติทางด้านกายภาพในด้านการพองตัว และความกรอบใกล้เคียงกัน ส่วนค่า L ของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 เท่ากับ 78.98 ซึ่งเข้มกว่าข้าวพองธรรมดาที่ไม่เติมใยอาหารซึ่งมีค่า L เท่ากับ 84.16 ส่วนสมบัติ

ในด้านเคมีข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหารมีค่าความชื้นและค่า 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 ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพองและข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5

คุณสมบัติ	ข้าวพอง	ข้าวพองเสริมใยอาหาร ร้อยละ 1.5
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] คิดจากน้ำหนักแห้ง

3.9 การเปลี่ยนแปลงของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา

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

1 คุณภาพทางเคมี

ข้าวพองที่บรรจุในถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าคุณภาพทางเคมีของข้าวพองมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 18

1.1 ปริมาณความชื้น

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นในระดับต่ำกว่าความชื้นในบรรยากาศจึงมีโอกาสดูดความชื้นจากภายในเข้าไปโดยเฉพาะในที่อุณหภูมิสูง (Labuza, 1982) และถุงพลาสติกแม้ว่าจะมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่ไอน้ำก็ยังมีโอกาสผ่านเข้าไปได้บ้าง ปริมาณความชื้นของข้าวพองเสริม

ใยอาหารที่เก็บรักษาจนถึงสัปดาห์ที่ 9 จึงมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9.4 อาจเป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความกรอบ

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

1.3 ค่าทีบีเอ

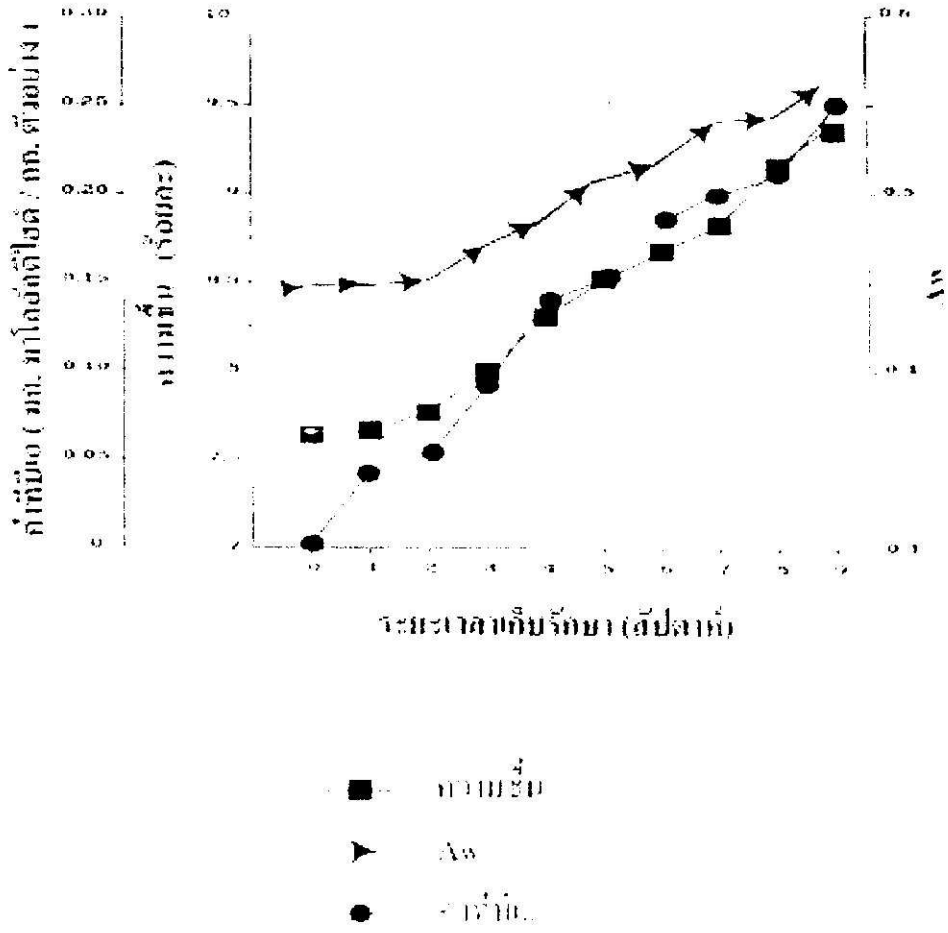
การเปลี่ยนแปลงค่าทีบีเอของข้าวพองเสริมใยอาหารระหว่างการเก็บรักษาพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าทีบีเออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งสัปดาห์ที่ 1 มีค่าทีบีเอเท่ากับ 0.04 มิลลิกรัมมาโลอัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าทีบีเอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องจากในข้าว และรำข้าวซึ่งวัตถุดิบหลักในการผลิตยังคงมีไขมันอยู่บ้าง เมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตข้าวพองที่ใช้ความร้อนสูง อาจจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ และเมื่อผ่านการเก็บรักษา เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในกระบวนการออกซิเดชัน ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลหลายชนิดมากขึ้น เช่น แอซิแตลดีไฮด์ โปรพาแนล เพนทาแนล และ เฮกซาแนล (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

2 **คุณภาพทางกายภาพ**

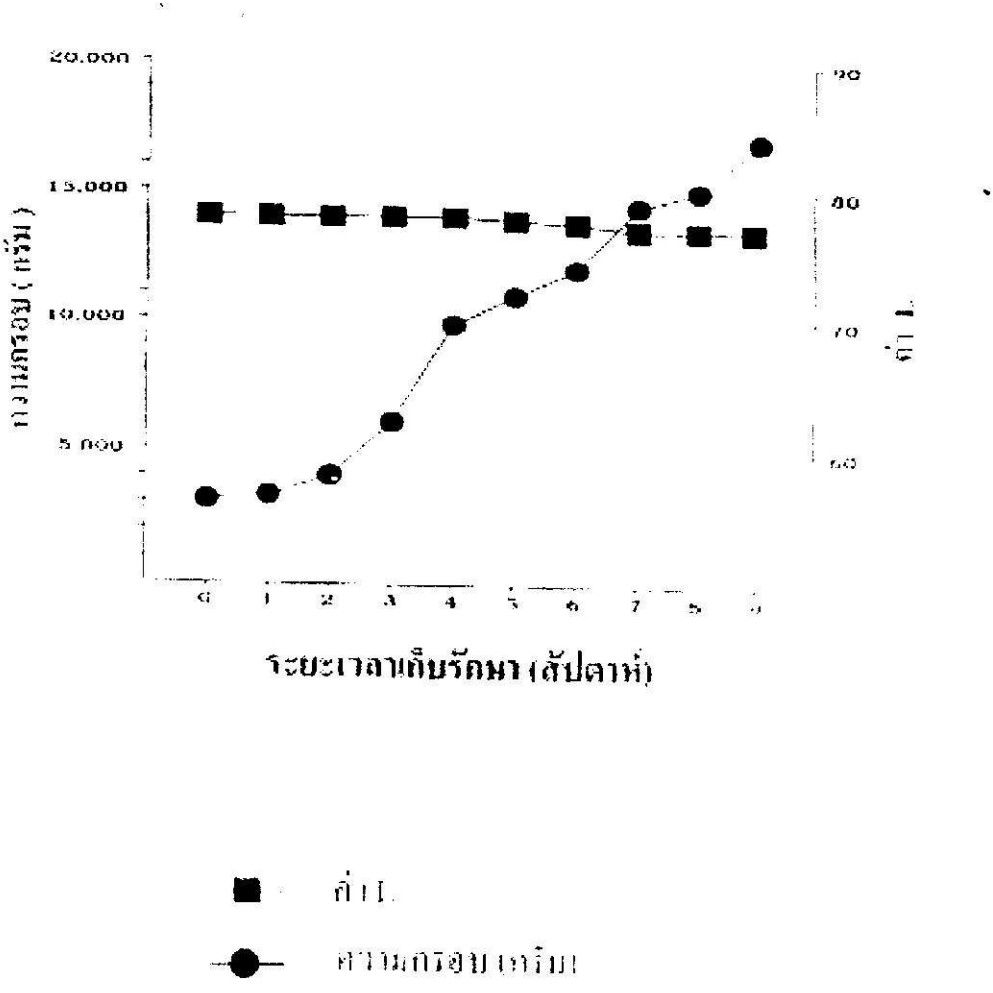
ภาพที่ 19 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ เมื่อทำการเก็บรักษาข้าวพองในถุงพลาสติกบรรจุแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ดังนี้

2.1 ค่าสี

ค่าสีของข้าวพองเสริมใยอาหาร เมื่อวัดค่าสีในระบบ Hunter ที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) คือข้าวพองเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาและเมื่อผ่านการเก็บรักษาครบ 9 สัปดาห์ มีค่า L ใกล้เคียงกัน (ดังภาพที่ 19) การที่ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารมีการเปลี่ยนแปลงค่า L น้อยมาก เนื่องจากเส้นใยอาหารเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มีคุณสมบัติค่อนข้างทนต่อปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ จึงทำให้ค่า L ของผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่ผ่านการเก็บรักษาไม่เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าบีทีเอ ความชื้น และ Aw ของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่า L และค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา

2.2 ค่าความกรอบ

การเปลี่ยนแปลงค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหาร พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าความกรอบของข้าวพองเสริมใยอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ความกรอบของผลิตภัณฑ์จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นจากบรรยากาศทำให้มีค่า ความชื้นและ ค่า Aw เพิ่มขึ้น และค่า Aw เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความเหนียวของผลิตภัณฑ์ประเภทขนมขบเคี้ยว

3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 โดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วจำนวน 10 คน โดยวิธีให้คะแนนแบบพรรณาเชิงปริมาณ ในปัจจัยสี กลิ่นผิดปกติ ความรู้สึกหลังการกลืน ส่วนการยอมรับรวมใช้วิธีให้คะแนนความชอบ แบบ 9 สเกล (1=ไม่ชอบมากที่สุด 9=ชอบมากที่สุด) ให้ผลดังตารางที่ 29

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 และ ค่า 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 ($P<0.05$) โดยคะแนนความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น การที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้น อาจจะมีสาเหตุมาจากระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง จึงทำให้ผู้บริโภคมีความรู้สึกแห้งและระคายคอมากขึ้น

การยอมรับรวม โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ และใช้คะแนนที่ต่ำกว่า 5 เป็นเกณฑ์กำหนดตัวอย่างที่ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่ยอมรับ คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารจากรำข้าวมีค่าลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ในวันเริ่มต้นมีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 8.5 และมีคะแนนลดลงตามลำดับเหลือ 5.13 ในสัปดาห์ที่ 4 และสัปดาห์ที่ 5 มีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 4.7 แสดงว่าผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ Katz และ Labuza (1981) กล่าวว่าความกรอบเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของอาหารขบเคี้ยว ดังนั้นการสูญเสียความกรอบจึงเป็นสาเหตุสำคัญ ประกอบกับกลิ่นผิดปกติที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์หลังจากสัปดาห์ที่ 4

ตารางที่ 29 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมไยอาหารร้อยละ 1.5 ระหว่างการเก็บรักษา

ระยะเวลา (สัปดาห์)	คะแนนเฉลี่ยการยอมรับ				
	สี[1]	กลิ่นผิดปกติ[1]	ความกรอบ[1]	ความรู้สึกหลังการกลืน[1]	การยอมรับรวม[1]
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

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

บทที่ 4
บทสรุป
(Conclussion)

ข้าวสาร 5 สายพันธุ์จากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง ประกอบด้วยพันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง, พันธุ์ดอกพยอม พันธุ์เล็บนกปัตตานี และ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากองค์ประกอบทางเคมีสามารถจำแนกเป็นข้าวที่มีอะไมโลสได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ ปริมาณอะไมโลสต่ำ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105, ปริมาณอะไมโลสปานกลาง-ค่อนข้างสูง ได้แก่ พันธุ์ดอกพยอม และ ปริมาณอะไมโลสสูง ได้แก่ พันธุ์เฉี้ยงพัทลุง เล็บนกปัตตานี และ KGTLR 79133/3/1/2 ตลอดระยะการเก็บรักษา 5 เดือน พบว่าปริมาณความชื้นและค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลง สำหรับอะไมโลสและไขมัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะการเก็บรักษา อายุการเก็บของข้าวสารที่นานขึ้น มีผลต่ออัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัว โดยวิธีการทอด พบว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ความชื้นร้อยละ 12 และอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีอัตราการพองตัวสูงสุด ประมาณ 5.35 เท่า อัตราการพองตัวที่สูงจะมีผลต่อค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ให้เพิ่มขึ้น และมีสีขาวเพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณอะไมโลสที่มีผลต่อการพองตัว พบว่าปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18 จะให้การพองตัวที่ดีที่สุด ปริมาณความชื้นร้อยละ 12 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้ใช้ข้าวปลูกในท้องถิ่น จึงได้ทำการทดลองโดยใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในภาคกลาง มาทำการทดลอง โดยใช้เครื่องผลิตข้าวพอง จากการศึกษาสภาวะในการผลิตข้าวพอง โดยใช้เครื่องผลิตข้าวพอง พบว่า 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 แต่ถ้าใช้อุณหภูมิและเวลานานเกินไป การพองตัวจะลดลง และสีจะเข้มขึ้น

เปอร์เซ็นต์หักของข้าวไม่มีผลต่อการพองตัวของข้าว โดยข้าวที่มีเปอร์เซ็นต์หักร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 มีค่าการพองตัว ค่า (L) และค่าความกรอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพอง โดยการเสริมใยอาหาร พบว่าปริมาณใยอาหารที่มีมากขึ้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือ สี และความรู้สึกหลังการกลืนจะเพิ่มขึ้น ความหอมของข้าวจะลดลง 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 ค่าบีทีเอ และ Aw เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนคุณภาพด้านกายภาพพบว่า ค่า L ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนค่าความกรอบมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนคุณภาพด้านประสาทสัมผัสพบว่า มีค่าความกรอบและการยอมรับรวมลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนกลิ่นผิดปกติ และความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 4 สัปดาห์

เอกสารอ้างอิง

กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ : http/www.dfr.moc.go.th

เครือวัลย์ อัตตวิริยะสุข. 2534 คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

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

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

งามชื่น คงเสรี. 2539. คุณภาพข้าวสุก. ใน ข้าว : ความรู้คู่ชาวนา. เอกสารวิชาการครบรอบ 80 ปี ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

งามชื่น คงเสรี และ Takechita, H. 2536. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว กข 23 เมื่อเก็บเมล็ดในสภาพต่าง ๆ. ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2 (1) : 50 – 58.

มาลี ชิ้มสกุล. 2538. ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือก และต่อคุณสมบัติแป้งข้าวพองที่ได้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปราณี วราสวัสดิ์. 2536 เทคโนโลยีธัญพืช. ภาควิชาเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. เชียงใหม่

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

วิไลลักษณ์ กมลธรรม. 2538 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวผัดปูแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

รุ่งนภา ประกอบกิจ. 2538. การสกัดใยอาหารจากเปลือกโกโก้ และการประยุกต์ใช้ในการผลิตภัณฑ์คุกกี้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

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

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

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. เคมีทางธัญญาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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. 15th 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.

Bhattacharjee, M. and Nath, S. 1985. Puffing characteristics of some processed rice stored in different packaging systems. J.Sci. Food Agri. 36 : 37 – 42.

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

_____1983 b. Studies on expanded rice : Optimum processing condition. J. Food Sci 48 : 1604-1608.

Chikubu, E.S. and Suzuki, M. 1970. Palatability evaluation of cooked milled rice by physicochemical measurement. Rep. Nat. Food Re. Inst 31.

Chou, Y.T., Garrison, D.F. and Lewis, W.I. 1990. Alkaline extraction, peroxide bleaching of nonwoody lignocellulose substate. U.S. Partent. 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 : prepartion 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 and 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.

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 (50 : 1164-1167.

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. 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 reponse 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 Warmen, 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 Technology. 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. F. 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. Conn. : AVI Publishing Co.,

Mridula, B. and Nath, S. 1985. Puffing characteristics of some processed rice stored in different packaging system. J.Sci Food Agri. 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 Chattacharya, 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 treatment in combination with twin-screw extrusion. Cereal Chem,. 68 (6) : 632-636.

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

Puwastien, P., Burlingame, B., Raroengwichit, M., and Sungpuag, P. 2000. ASEAN Food Composition Tables. 1st ed. Institute of Nutrition, Mahidol University, Thailand.

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.

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