



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ

โดย

รองศาสตราจารย์ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และคณะ

พฤศจิกายน 2545



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ

โดย

รองศาสตราจารย์ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาสิก และคณะ

พฤศจิกายน 2545

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ

คณะวิจัย		สังกัด
รองศาสตราจารย์ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายพิทยา อุดุลยธรรม	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายจักรี ทองเรือง	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายวรัญญู ศรีเดช	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการข้าวและผลิตภัณฑ์



สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
ชั้น 4 อาคาร เอสเอ็มที อาคาร
เลขที่ 979/17-21 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน
เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทร. 298-0455 โทรสาร 298-0476
Home page : <http://www.trf.or.th>
E-mail : trf-info@trf.or.th



กิตติกรรมประกาศ

การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจาก สำนักงาน
กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) กระผมจึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ความสำเร็จของโครงการวิจัยนี้ ส่วนหนึ่งได้รับการสนับสนุนวัตถุดิบ ได้แก่ข้าวสารสายพันธุ์
ต่าง ๆ จากสถานีวิจัยข้าวพัทลุง จังหวัดพัทลุง และ บริษัท ปทุมไรซ์มิลล์ แอนด์ แกรนารี จำกัด จังหวัด
ปทุมธานี บริษัท N.R. Industries Co., Ltd. ที่ได้ช่วยสร้างเครื่องผลิตข้าวพอง อาจารย์พิทยา
อดุลยธรรม . อาจารย์จักรี ทองเรือง และอาจารย์วิญญู ศรีเดช ที่ได้ร่วมงานวิจัย จึงใคร่ขอ
ขอบคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้าย กระผมใคร่ขอขอบคุณ คุณสุธิชา วุ่นสะยุคะ, คุณนันทิยา สุวรรณข้า และคุณอรยาณี
แซ่ลิ้ม ที่ช่วยจัดพิมพ์ และธุรการ และการตรวจสอบการเงิน จนทำให้การดำเนินงานด้านธุรการ
สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

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 และสมบัติทางกายภาพของข้าวสารจากศูนย์วิจัย ข้าวพัทลุง จำนวน 5 สายพันธุ์	32
3.2. ผลของการเก็บเมล็ดข้าวสารที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทาง กายภาพ	35

เรื่อง	หน้า
3.3 อายุการเก็บรักษาเมล็ดข้าวที่มีผลต่อการงอกตัว	40
3.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการงอกตัวของเมล็ดข้าวสาร	46
3.5 สภาวะที่เหมาะสมต่อการงอกตัวของข้าวขาวดอกมะลิ 105	53
3.6 ผลของข้าวหักต่อการงอกตัวของข้าวสายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 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 ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์เจียงพัทลุงต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด	43
15 ผลของอายุการเก็บของข้าวสารพันธุ์เล็บนกปัตตานีต่ออัตราการพองตัวโดยวิธีการทอด	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

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ข้าวพองเป็นอาหารจากธัญพืชที่ได้รับความนิยมในหลายประเทศ เช่น อินเดีย ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และฟิลิปปินส์ สำหรับประเทศไทยได้มีการบริโภคข้าวพองในรูปแบบต่าง ๆ มาเป็นเวลานาน การผลิตข้าวพอง มักจะใช้วิธีการคั่วกับทรายร้อน การทอด การอบในตู้อบ และการใช้เครื่องเอกซ์ทราซัน การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพนี้มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มช่องทางการตลาดให้กับเกษตรกร และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าว นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่มีคอเรสเตอรอลต่ำ และมีใยอาหารสูง เพื่อเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ชนิดหนึ่ง

การผลิตข้าวพองเพื่อสุขภาพดำเนินการโดยการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ใช้ข้าวสารที่ปลูกในจังหวัดภาคใต้ โดยใช้ข้าวสาร 5 สายพันธุ์จากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง จังหวัดพัทลุง ประกอบด้วย พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2, พันธุ์เจียงพัทลุง, พันธุ์ดอกพยอม, พันธุ์เล็บนกปัตตานี และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากองค์ประกอบทางเคมี ทำให้สามารถจำแนกข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ปริมาณอะไมโลสต่ำ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปริมาณอะไมโลสปานกลาง-ค่อนข้างสูง ได้แก่ พันธุ์ดอกพยอม และปริมาณอะไมโลสสูง ได้แก่ พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 พันธุ์เจียงพัทลุง และพันธุ์เล็บนกปัตตานี เมื่อนำข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์ ไปเก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงพบว่า ปริมาณความชื้น และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลง สำหรับปริมาณอะไมโลส และไขมันไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ระยะการเก็บรักษาข้าวสารที่นานขึ้น มีผลต่ออัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัว โดยวิธีการทอด พบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำร้อยละ 18 ความชื้นร้อยละ 12 และอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีอัตราการพองตัวสูงสุด ประมาณ 5.35 เท่า อัตราการพองตัวที่สูงจะมีผลต่อค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น และมีสีขาวเพิ่มขึ้น

จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นที่ใช้ข้าวปลูกในห้องกึ่งได้ทำการทดลองข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในภาคกลาง ซึ่งบริษัทปทุมไรซ์มิลล์ แอนด์ แกรนารี จำกัด มาทำการศึกษาโดยใช้เครื่องผลิตข้าวพอง จากการศึกษาสภาวะในการผลิตข้าวพองด้วยเครื่องทำข้าวพองโดยใช้ข้าวหนึ่งที่มีความชื้น ร้อยละ 11, 12 และ 13 ที่อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ 160° , 170° และ 180° C เป็นเวลา 5, 6 และ 7 วินาที พบว่าความชื้นของข้าว 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 ทำให้พองตัวที่อุณหภูมิต่ำ และเวลาน้อย พบว่า 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 ส่วนความหอมของข้าวจะลดลง ในขณะเดียวกัน ปริมาณใยอาหารที่เติมไม่มีผลต่อการพองตัว และความกรอบของผลิตภัณฑ์ การเติมใยอาหารร้อยละ 1.5 ของน้ำหนักข้าว ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ($P>0.05$) และจากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคโดยทั่วไป พบว่าส่วนใหญ่ยอมรับผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบ แต่ความชอบลดลงเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีรสชาติและไม่คุ้นเคย ผลิตภัณฑ์ข้าวพองเสริมใยอาหารร้อยละ 1.5 มีปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นจากข้าวพองที่ไม่เสริมใยอาหารร้อยละ 2.83

จากการประเมินคุณภาพในด้านเคมี กายภาพ และ ประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น ค่าบีทีเอ และ Aw เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนคุณภาพด้านกายภาพพบว่า ค่า L ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนค่าความกรอบมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนคุณภาพด้านประสาทสัมผัสพบว่า มีค่าความกรอบและการยอมรับรวมลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนกลิ่นผิดปกติ และความรู้สึกหลังการกลืนเพิ่มขึ้น ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 4 สัปดาห์

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยของพันธุ์ข้าวที่มีต่อการพองตัวของข้าว โดยใช้ข้าวสาร 5 สายพันธุ์ที่มีระดับอะไมโลสต่ำ (พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) อะไมโลสปานกลาง-ค่อนข้างสูง (พันธุ์ดอกพยอม) และอะไมโลสสูง (พันธุ์เจียวกู่หลาน เล็บนกปัตตานี และ KGTLC 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 ได้แก่การใช้ข้าวหนึ่งที่มีความชื้น 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 หลังจากทำการเก็บรักษาลักษณะข้าวพองเสริมใยอาหาร ร้อยละ 1.5 บรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิดฟิล์มประกบ 2 ชั้น ระหว่าง พอลิเอทิลีน/พอลิเอ

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 variety of rice with 12% moisture content at 200°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°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 taste 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.

บทที่ 1

บทนำ

(Introduction)

1.1 คำนำ

ข้าวเป็นธัญพืชหลักและเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยและภูมิภาคเอเชีย ปัจจุบันข้าวเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ (จากผลผลิตร้อยละ 60 ปริมาณภายในประเทศ 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
โอเชียเนีย	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 ทำให้ประเทศไทยต้องปรับปรุงและพัฒนาทั้งคุณภาพ และกระบวนการผลิต รวมถึงการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าข้าว

การส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปข้าวที่สำคัญของไทย ประกอบด้วย อาหารเส้น (ก๋วยเตี๋ยว / เส้นหมี่) ขนมปังกรอบ ขนมจีน แป้งแผ่น แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเจ้า และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งด้านปริมาณและมูลค่าการส่งออก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่อหน่วยสูง ได้แก่ ขนมปังกรอบ นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปจากข้าวที่ใช้อุปโภค เช่น แป้งที่ใช้เป็นส่วนผสมของยา แป้งที่ใช้เคลือบผ้า หรือเคลือบกระดาษ แป้งทาตัวเด็ก และแป้งที่ใช้เคลือบถุงมือ

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

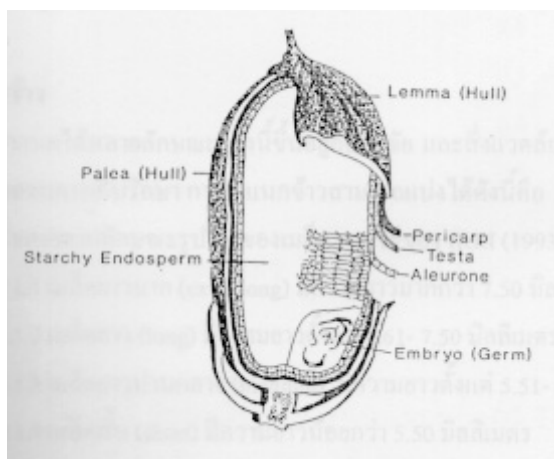
สำหรับการผลิตข้าวพองในประเทศไทยได้ทำกันมานานแล้ว ผู้ผลิตส่วนใหญ่เป็นชาวชนบท และทำกันเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว กรรมวิธีการผลิตอาศัยการเรียนรู้สืบทอดกันมาแต่บรรพบุรุษ และใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบหลัก ทำให้พองโดยการทอดจึงทำให้มีปัญหาด้านกลิ่นหืน และปริมาณไขมันสูง จึงยังไม่เป็นที่ยอมรับ (มาลี ชัมศรีสกุล,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

จากการที่ประเทศไทยมีความพร้อมทางด้านวัตถุดิบ เทคโนโลยีการผลิต และด้านการตลาด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพจึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ โดยเฉพาะในสังคมที่มีความระมัดระวังในเรื่องสุขภาพและความเร่งด่วนแข่งกับเวลา ข้าวพองเพื่อสุขภาพสามารถใช้เป็นอาหารเข้าแทนขนมปังได้

1.2 ข้าวและโครงสร้างของเมล็ดข้าว

ข้าว (*oryza sativa* L.) เป็นพืชเมล็ด ที่ปลูกมากกว่า 100 ประเทศ อยู่ในช่วงละติจูด 53 องศาเหนือ ถึง 40 องศาใต้ และที่ระดับน้ำสูงกว่าระดับน้ำทะเล 3,000 เมตร เช่น ประเทศในแถบเอเชีย บราซิล แอฟริกาใต้ (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 ทศน์สองชั้น (2530) ได้จำแนกไว้ดังนี้

1. ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) ประกอบด้วย 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 ระหว่างร้อยละ 20 – 25 ได้แก่ ข้าวนางมลอเอส 4 และข้าวปากหม้อ 148
3. ข้าวอะไมโลสปานกลางค่อนข้างสูง เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส ระหว่าง 25 – 29 ได้แก่ ข้าวแก้ววย 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.)	ปริมาณอะมิโลส (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 โดยเฉพาะ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณ ร้อยละ 90 แบ่งเป็น อะไมโลส และอะมิโลเพกทิน ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน สำหรับปริมาณโปรตีนซึ่งมีอยู่ในปริมาณไม่มากนัก (6.8 กรัมต่อ 100 กรัม) จะมีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม และรับประทาน โดยทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าวช้าลง ส่งผลต่อความชุ่มชื้น 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 ($N \times 5.95$)	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)

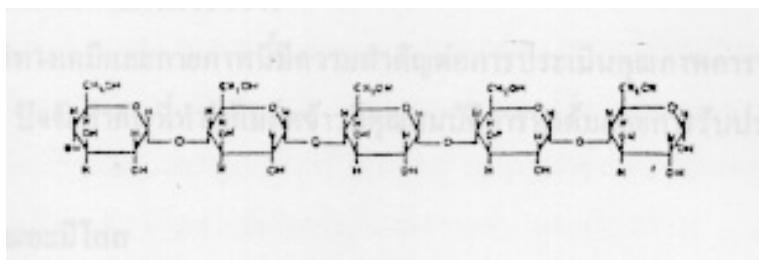
คุณภาพของเมล็ดข้าว ปกติจะพิจารณาตามความเหมาะสมที่ผู้บริโภคจะตัดสินว่าตรงตามความต้องการหรือไม่ ซึ่งรวมถึงคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพการสี คุณภาพในการหุงต้ม การนำไปรับประทาน และคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าว โดยอาจแบ่งตามคุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดข้าว เป็น 2 ชนิด (Webb, 1972)

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

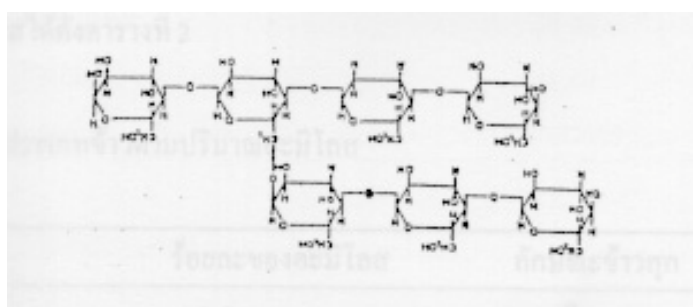
1. อะไมโลส (amylose) ประกอบด้วยหน่วยย่อย (monomer) ของ D-glucopyranose มาต่อกันเป็นเส้นตรงโดยพันธะ $\alpha(1\rightarrow4)$ glycosidic จำนวนหน่วยย่อยอาจมีได้ตั้งแต่เล็กน้อย ๆ หน่วยขึ้นไปถึง 3,000 หน่วย (Webb and Stermer, 1972) ภาพที่ 2 มีคุณสมบัติแตกต่างจากอะมิโลเพกทิน (amylopectin) คือ เมื่อสุกจะทำให้ความเหนียวของข้าวสุกลดลง และหากทิ้งไว้ให้เย็น อะไมโลสนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ข้าวสุกแข็งกระด้างและร่วนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ อะไมโลสยังทำให้เมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำได้ดีกว่าอะมิโลเพกทิน จึงทำให้ข้าวสุกไม่เหนียวง่าย (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 โครงสร้างของอะไมโลเพกทิน

ที่มา : webb และ Stermer (1972)

โมเลกุลของอะไมโลสและอะมิโลเพกทินในเมล็ดสตาร์ชจะจัดเรียงตัวกันเป็นกลุ่ม แบ่งได้ 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบเหมือนผลึก ซึ่งเป็นส่วนของอะไมโลส มีการพองตัวจำกัด เรียกส่วนนี้ว่า crystalline region อีกกลุ่มหนึ่งมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ดูดน้ำได้ดี เรียกส่วนนี้ว่า amorphous region เป็นส่วนที่อยู่รอบ ๆ ผลึก ซึ่งประกอบด้วยอะมิโลเพกทินเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในสตาร์ชที่มีอะมิโลเพกทินสูงจะมีส่วนที่เป็น crystalline 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 โดยการต้มในสารละลายต่างเข้มข้น 0.2 นอร์มอล 2 มิลลิเมตร นาน 8 นาที แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และวัดระยะทางที่แป้งสุกไหลไปเมื่อวางบนพื้นราบนาน 30 นาที Cagampang และคณะ (1973) ได้จัดแบ่งประเภทของข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก ดังตารางที่ 4 ความคงตัวของแป้งสุกที่มีผลต่อความนุ่ม และแข็งของข้าว นั่นคือ 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 ให้แป้งเปลี่ยนสภาพลักษณะหลายเหลี่ยมเป็นลักษณะที่ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน (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 ข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิหรือข้าวหอมมะลิ 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 ในขณะที่ปริมาณกรดไขมันอิสระและกรดฟีนอลิกอิสระเพิ่มขึ้น 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 โดยเมื่อนำมาหุง คุณภาพของข้าวสุกมีความใกล้เคียงกับข้าวใหม่ นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 6 เดือน พบว่า ปริมาณอะไมโลสของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

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

1.5 คุณภาพในการนำข้าวไปทำผลิตภัณฑ์

มาลี ชัมศรีสกุล (2535) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวมักใช้ข้าวที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของปริมาณอะไมโลส และอะมิโลเพกทิน ข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะไมโลสอยู่เลย มักใช้เป็นของหวาน ขนมพุดดิ้งและซอสต่าง ๆ ข้าวที่มีอะไมโลสต่ำนิยมนำไปผลิตเป็นอาหารเข้าจากธัญพืช และอาหารสำหรับเด็กอ่อน เนื่องจากปริมาณอะไมโลสทำให้เกิดเจลอยู่ตัวได้นาน ซึ่งทำให้แข็งตัวช้าในระหว่างการเก็บรักษา โรงงานผลิตข้าวพองจากข้าวหนึ่ง และข้าวตอกซึ่งผลิตจากข้าวสารนิยมใช้ข้าวเหนียวและข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เนื่องจากความสามารถในการพองตัวมีมาก ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลางนิยมใช้ทำซุประบือ และส่วนผสมแห้ง (dry soup mix) ข้าวอะไมโลสสูงให้เจลที่แข็งคงตัว เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเนื่องจากมีความคงตัวสูงมาก ทนต่อการสลายในระหว่างการหุงต้มและเป็นแผ่นดีมาก

1.6 ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (Puffed Rice Product)

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

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

1.7 การพองตัวของข้าว

Hsieh และ Luh (1991) อธิบายว่า การพองตัวเป็นผลมาจากความร้อนและความดัน โดยความร้อนจะมีผลทำให้เกิดการสุก และไอน้ำในข้าวเกิดการขยายตัวในช่องว่างหรือรูของเมล็ดข้าวทำให้เกิดการพองตัว ซึ่งในช่วงการพองตัวน้ำจะระเหยออกไปทำให้ปริมาตรของการพองตัวคงที่ ความร้อนได้จากไอน้ำที่มีความดันสูงภายในภาชนะที่ปิดสนิท จากนั้นก็จะลดความดันลงทันทีโดยเปิดฉีกของภาชนะที่ปิดอยู่ น้ำจะระเหยกลายเป็นไอน้ำอย่างทันทีทันใด 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 ร้อนทรายออก ตั้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง ให้ความชื้นลดลงจากนั้นใส่เอาเปลือกออกจะได้ข้าวสารที่ผ่านการนึ่งแบบแห้ง และทำให้ข้าวหนึ่งพองตัวโดยการคั่วในกะทะที่ไม่มีทรายอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นพักไว้ 30 นาที คั่วซ้ำอีกครั้งด้วยทรายร้อนอุณหภูมิ 240-540 องศาเซลเซียสในอัตราส่วน 1:10 เป็นเวลา 11-13 วินาที ร้อนเอาทรายออกจะได้ข้าวพองที่มีความชื้นร้อยละ 1-2 (Chinnaswamy and Bhattacharyay 1983 a) Chandrasekhar and Chattopadhyay (1992) กล่าวว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่มีกำลังการผลิตต่ำเพียง

2.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอาจจะแยกทราบออกไม่หมด ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเทคโนโลยีนี้จึงควรมีการปรับปรุง

1.3 การใช้ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

การผลิตข้าวพองโดยการใช้ตู้อบลมร้อนมี 2 ลักษณะ คือ

1.3.1 การใช้อากาศร้อนอย่างเดียว

Guraya และ Toledo (1994) กล่าวว่า การทำข้าวพองโดยการใช้แป้งข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นเป็นร้อยละ 10-12 ทำให้เกิดการพองตัวโดยการใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เวลา 10-20 วินาที Sweintek (1987) อธิบายว่าการผลิตข้าวพองสำหรับเป็นอาหารเข้าทำได้โดยนำแป้งข้าวที่มีความชื้นร้อยละ 21 บั่นเป็นลูกกลม ๆ เล็ก ๆ อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8-35 วินาที Chandrasekhaw และ Chattopadhyay (1989) ได้ทดลองนำข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำมาทำการนึ่งและอบแห้งจนมีความชื้นเหลือร้อยละ 12-13 จากนั้นสีเอาเปลือกออก นำมาหนึ่งอีกครั้งโดยการใช้ความดัน 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 20 นาที อบแห้ง ชัดสีเอาเปลือกออก นำมาทำให้เกิดการพองตัวโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสพบว่าข้าวจะเกิดการพองตัวสมบูรณ์เมื่อใช้เวลา 11 นาที และ Antonio (1973) ศึกษาการผลิตข้าวพองโดยใช้ข้าวเปลือกหนึ่งทำให้พองตัวโดยใช้ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16-20 วินาที พบว่าจะทำให้ข้าวมีอัตราการพองตัว 1.05-1.61

1.3.2 การใช้ตู้อบลมร้อนโดยใช้ไอน้ำพัดกวหรือการสั่นสะเทือน

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 ภายในตู้อบจะมีไอน้ำพัดกวติดอยู่กับตัวเครื่อง 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 ไปสู่ที่มีความดันต่ำกว่าอย่างทันทีทันใด วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการหรือการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของภาชนะที่ใช้ปิดซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุดิบในที่มีความชื้นเมื่อถูกทำให้อุณหภูมิสูง ในภาชนะที่ปิดสนิทอย่างแน่นหนา และเมื่อเปิดออกสู่ความดันบรรยากาศภายนอกอย่างทันทีทันใด จะเกิดการพองตัว

2.1 การทำให้พองโดยใช้เครื่อง Gun Puffing

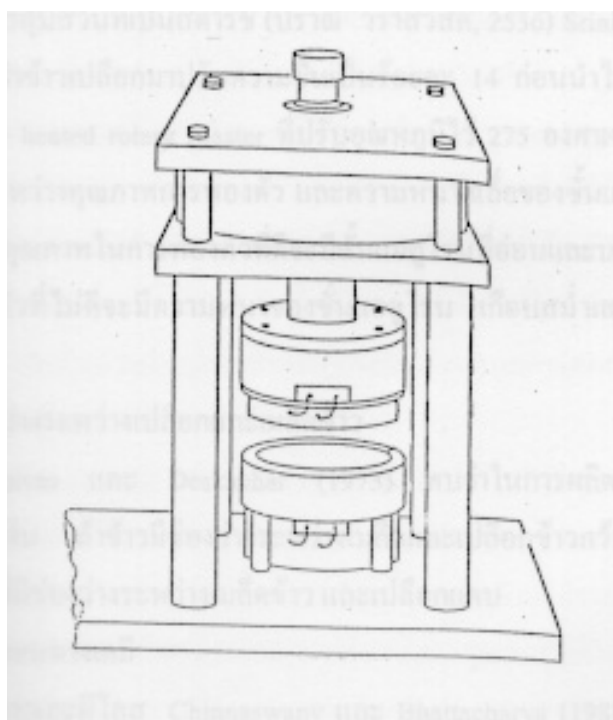
Luh (1991) กล่าวว่า Gun Puffing เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก (Gun) ภายในเป็นท่อสามารถหมุนได้ ภายในผนังท่อชั้นสุดท้ายจะเคลือบด้วยเหล็กกล้าเพื่อรองรับความดันที่สูงและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นเครื่องมือที่สามารถปลดปล่อยความดันได้อย่างรวดเร็ว วิธีนี้ทำได้โดยนำข้าวที่ผ่านการปรับความชื้นแล้วป้อนเข้าเครื่อง 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 หรือไอน้ำจนมีความชื้นร้อยละ 60-70 แป้งจะมีความเหนียว เมื่อป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์จะทำให้เกิดแรงเฉือนสูงมากภายในเกลียวสกรู และร่องที่ผนังด้านในของบาเรลทำให้เกิดความดันและความร้อนสูง แป้งจะถูกบดอัดและได้รับความร้อนสูงทำให้แป้งเปลี่ยนสภาพเป็นเจลหรือเกิดการสุก และเปลี่ยนสภาพจากผงแป้งเป็นของเหลวข้นหนืด และเมื่อผ่านออกมาทางรูเปิดหน้าแปลน (die) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ภายในระเหยกลายเป็นไอน้ำทันที ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะสุกพองและกรอบ แต่ความชื้นสูงประมาณร้อยละ 8-10 (Luh, 1991) จึงต้องนำไปผ่านขั้นตอนการลดความชื้น โดยการทอดในน้ำมัน หรืออบ หลังจากนั้นนิยมนำผลิตภัณฑ์ไปเคลือบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้สุดท้ายจะเบา มีความหนาแน่นต่ำ (44 – 60 กรัมต่อลิตร) มีความชื้นต่ำร้อยละ 1-2 (อภิญา เจริญกุล, 2538)

2.3 การทำให้พองโดยใช้เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine

Hsieh และคณะ (1989 a) ; Huff และคณะ (1992) อธิบายว่าการทำข้าวพองชนิดเป็นแผ่น ทำได้โดยนำข้าวกล้องหรือข้าวสารและน้ำมาปรับความชื้นโดยการใส่ในเครื่องที่หมุนด้วยความเร็ว 24 รอบต่อนาที ให้ข้าวมีความชื้นเป็นร้อยละ 12.5 จากนั้นทำให้พองโดยใช้ข้าวในพิมพ์ของเครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine (ภาพที่ 4) ซึ่งประกอบด้วย แผ่นให้ความร้อน 2 แผ่น และพิมพ์ ข้าวจะได้รับความร้อนจากแผ่นให้ความร้อน และเมื่อเคลื่อนแผ่นให้ความร้อนออกจากกันอย่างรวดเร็ว น้ำในข้าวซึ่งร้อนจัดจะกลายเป็นไอน้ำทันที และเชื่อมเข้าด้วยกันเป็นแผ่น โดยไม่ต้องใช้สารเชื่อม และยังสามารถคงโครงสร้างของเมล็ดอยู่ Hsieh และคณะ (1990) ได้ทดลองใช้เครื่องนี้โดยใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ พบว่าข้าวโพดสามารถพองตัวได้ดีเช่นเดียวกับข้าว และยังพบว่าเมื่อผลิตข้าวพองโดยใช้เครื่องนี้ที่อุณหภูมิ 170-210 องศาเซลเซียส สามารถทำลายแบคทีเรียชนิดทนความร้อนสูงคือ *Bacillus stearothermophilus* 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) ศึกษาขนาดของเมล็ดข้าวที่มีผลต่อการพองตัวของข้าวโดยใช้ ข้าวกล้อง 2 ขนาดคือข้าวเมล็ดยาว และเมล็ดปานกลาง ทำให้พองโดยใช้เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่าข้าวเมล็ดยาวพองตัวได้ดีกว่าข้าวเมล็ดปานกลาง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chandrasekhar และ Chattopadhyay (1991) ซึ่งพบว่าข้าวจะพองตัวน้อยลงเมื่ออัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวลดลง

1.2 ความหนาแน่นของชั้นแอมิโลโน

ชั้นแอมิโลโน เป็นชั้นที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีผนังหนา มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น โปรตีน ห่อหุ้มส่วนที่เป็นสตาร์ช (ปราณี วราสวัสด์, 2536) Srinivas and Deskachar (1973) ได้ทดลองนำข้าวเปลือกมาปรับความชื้นเป็นร้อยละ 14 ก่อนนำไปทำให้เกิดการพองตัวใน electrically – heated rotary roaster ที่ปรับอุณหภูมิไว้ 275 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างคุณภาพการพองตัว และความหนาแน่นของชั้นแอมิโลโน แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวที่ให้คุณภาพในการพองตัวที่ดีจะมีชั้นแอมิโลโนที่อ่อนและบาง ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพการพองตัวที่ไม่ดีจะมีความและชั้นแอมิโลโน เกือบสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งเมล็ด

1.3 ช่องว่างระหว่างเปลือกและเมล็ดข้าว

Srinivas และ Deskachar (1973) พบว่าในการผลิตข้าวพองโดยการใช้ข้าวเปลือกเป็นวัตถุดิบ ถ้าข้าวมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกข้าวกว้างจะให้คุณภาพการพองตัวที่ดีกว่าข้าวที่มีช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าว และเปลือกแคบ

2. องค์ประกอบทางเคมี

2.1 ปริมาณอะไมโลส Chinnaswamy และ Bhattacharya (1983 b) ตรวจสอบการ

พองตัวของข้าว 35 ชนิดประกอบด้วยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 5-32 พบว่าข้าวที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 27 จะมีอัตราการพองตัวเกิดขึ้นสูงสุด สอดคล้องกับ Chardraekhar และ Chattopadhyay (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 ทำให้พบโดยใช้ Gun puffing อุณหภูมิ 200-210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-7 นาที พบว่าการพองตัวของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะไมโลสอยู่เลยมีคุณภาพการพองตัวที่สูง เช่นเดียวกับ Antonio (1973) ศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสต่อการพองตัวของข้าวโดยใช้อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 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 Bhattacharyay (1990) กล่าวว่าปริมาณโปรตีนไม่มีความสัมพันธ์ต่อการพองตัวของข้าวเนื่องจากโปรตีนส่วนใหญ่เป็นชั้นที่อยู่ภายนอก และถูกกำจัดออกไปแล้ว

3. อายุการเก็บและวิธีการเก็บรักษาข้าว

Chainnswany และ Bhattacharya (1983 a) กล่าวว่าอายุของข้าวมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการพองตัวของข้าว โดยการทำการทดสอบเก็บข้าวเป็นเวลา 60 วัน และนำมาทดสอบการพองตัวทุก ๆ 15 วัน พบว่าในช่วงเดือนแรกอัตราการพองตัวจะค่อนข้างเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นจะลดลงตามลำดับซึ่งน่าจะมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านการดูดซับน้ำและความหนืดของเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บ และ Bhattacharjee และ Nath (1984) ทดลองเก็บรักษาข้าวสาร ข้าวหนึ่ง และข้าวกล้องหนึ่งในถุงพลาสติก 3 ชนิด คือ polyethylene, polyethylene impregnated jute bags และ jute bags เป็นเวลา 120 วัน เมื่อนำมาทำให้พองตัวโดยใช้อุณหภูมิ 230-250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10-15 วินาที พบว่าข้าวหนึ่ง และข้าวกล้องหนึ่งที่เก็บในถุง polyethylene และ polyethylene impregnated jute bags จะมีอัตราการพองตัวดีขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บ ทั้งนี้อาจจะเป็นไปได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านเคมีฟิสิกส์ระหว่างการเก็บรักษา ส่วนข้าวที่เก็บใน jute bags ถูกแมลงทำลายเมื่อเก็บรักษาได้ 60 วัน

สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าว จากการศึกษพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการพองตัวของข้าวได้แก่

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) ยังพบว่าความชื้นนอกจากมีผลต่อปริมาณแล้วยังมีผลต่อสีของข้าวพอง 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 และ 230 องศาเซลเซียสใช้เวลา 8 วินาที โดยเครื่อง เครื่อง Lite Energy Rice Cake Machine พบว่าอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียสข้าวพองตัวได้ดีที่สุด Channaswany และ Bhattacharya (1983 a) ทำข้าวพองจากข้าวเปลือกหนึ่งโดยการคั่วกับทรายร้อนที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที พบว่าข้าวมีอัตราการพองตัวสูงขึ้นตามลำดับ คือ 4.9, 5.3 และ 6.2

3. ระยะเวลาของการฟองตัว

เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการดูดซับน้ำมากขึ้นมีผลต่อการฟองตัวของข้าวเช่นเดียวกับอุณภูมิ (Huff et al., 1992) เมล็ดข้าวที่ดูดน้ำ และฟองตัวเต็มที่ เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีก ความร้อนจะทำให้เม็ดแบ่งแตกออกเป็นผลให้อัตราการฟองตัวลดลง (Chandrasekhar and Chattopahayay, 1991)

4. การเติมเกลือ

Chinnaswany และ Bhattachayay (1983 a) พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์จะสามารถเพิ่มการขยายตัวของข้าวได้ ช่วยให้อัตราการฟองตัวของข้าวเพิ่มขึ้น Murugesan และ Bhattacharya (1986) จึงได้ทดสอบว่า เกลือจะมีผลต่อการฟองตัวของข้าวหรือไม่ โดยแช่ข้าวเปลือกในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 3 วัน จากนั้นนำข้าวไปปรับความชื้น และทำให้ฟอง พบว่าเกลือจะช่วยเพิ่มคุณภาพการฟองตัวของข้าว และในขณะเดียวกันก็จะมีผลทำให้ความชื้นที่เหมาะสมต่อการฟองตัวของข้าวเปลี่ยนจากร้อยละ 14 เมื่อไม่มีเกลือ เป็นร้อยละ 17 เมื่อเติมเกลือความเข้มข้นร้อยละ 2 ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม และนอกจากเกลือโซเดียมคลอไรด์แล้ว เกลืออื่น ๆ เช่น CaCl_2 ก็สามารถเพิ่มอัตราส่วนการฟองตัวของข้าวได้เช่นเดียวกัน

1.9 รำข้าว

รำข้าว (rice bran) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสีข้าวกล้อง สีนํ้าตาลอ่อนปนเหลือง อยู่ภายนอกเมล็ดที่ถูกขัดออกโดยการขัดสี ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหุ้มชั้นนอกของเมล็ดข้าวกล้อง และสสารจำนวนเล็กน้อยจากบางส่วนของแอนโดสเปิร์ม (อรวินทร์ อิศรโกรกี, 2538) รำข้าวที่นำมาใช้ประโยชน์กับมนุษย์หลังจากผ่านการขัดสีแล้ว ต้องนำมาผ่านการทำให้คงตัวเพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส 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 สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น 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
กิโลแคลอรี/กรัม	3.5	2.1

ที่มา : Keith (1994)

Saunders (1990) กล่าวว่า รำข้าวสามารถใช้เป็นแหล่งใยอาหารได้ดี เนื่องจากประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส ในรำข้าวร้อยละ 8.7 – 11.4 เซลลูโลส ร้อยละ 9.6 – 12.8, เบต้า กลูแคน (Beta-glucans) น้อยกว่าร้อยละ 1 ในรำข้าวมีส่วนประกอบของน้ำตาล โมเลกุลเล็กร้อยละ 3-8 ได้แก่ กลูโคส (glucose) ,ฟรักโทส (fructose), ซูโคส (sucrose) และ ราฟฟิโนส (raffinose) เมื่อเปรียบเทียบรำข้าวกับอาหารหลายประเภทที่สามารถใช้เป็นแหล่งใยอาหารได้ เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช และถั่วต่าง ๆ พบว่า รำข้าวมีส่วนประกอบของใยอาหารรวม (total dietary fiber) อยู่ในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารอื่น 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 การนำรำข้าวมาใช้เป็นแหล่งใยอาหาร

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

ใยอาหารตามความสามารถในการละลายน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ในอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และแว็กซ์ (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 ธรรมณารักษ์, 2539)

2. ในอาหารที่ละลายน้ำได้ (Soluble dietary fiber) ประกอบด้วย เพกทิน กัม มิวซิเลจส์ และแอสไมเซลลูโลสบางตัว (Schneemann, 1986) ด้วยคุณสมบัติที่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก ทำให้เกิดการกระจายตัวของโครงสร้างที่อัดแน่น และสามารถแลกเปลี่ยนประจุ โดยจับกับไอออนของโลหะบางตัวหรือโมเลกุลที่มีประจุไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ใยอาหารประเภทนี้มีผลให้อาหารผ่านกระบวนการย่อยช้าลง ซึ่งเชื่อกันว่าคุณสมบัติดังกล่าวมีผลในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด น้ำตาลในเลือด และช่วยลดสารพิษโลหะบางชนิดได้ 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 นอกจากรสชาติไม่ดีแล้วยังได้คะแนนการยอมรับในเรื่องความรู้สึกขณะกลืนต่ำ เนื่องจากลักษณะที่หยาบและเป็นทราย

2. คุณก็ Jeltima และคณะ (1983) ใช้รำข้าวสาลี รำข้าวโอต รำข้าวโพด ถั่ว navy และเปลือกถั่วเหลือง เติมน้ำใน sugar snap cookies โดยการทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแป้งสาลีในสูตร พบว่าคุณก็ที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น สี ความชื้น การกระจายตัว และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของคุณก็ที่เติมแหล่งใยอาหารต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างกัน คุณก็ที่เติมรำข้าวสาลี และรำข้าวโพด จะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากกว่าคุณก็ที่เติมรำชนิดอื่น ๆ Artz และคณะ (1990) ใช้รำข้าวโพดที่ผ่านการเอ็กซ์ทรูดและไม่ผ่านเติมลงใน sugar –snap cookies โดยการทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 15 การเอ็กซ์ทรูดรำข้าวโพดเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของรำข้าวโพด ให้สามารถเติมในผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ผลการศึกษาพบว่า การเติมรำข้าวโพดทั้งสองแบบในคุณก็ทำให้สีของคุณก็คล้ำขึ้น และผู้บริโภคสามารถรับรู้ความแตกต่าง ระหว่างคุณก็ผสมรำข้าวโพดทั้งสองแบบจากชุดควบคุม

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

1.10 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวพองระหว่างการเก็บรักษา

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

โครงการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มช่องทางตลาดให้กับเกษตรกรและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าว โดยมีวัตถุประสงค์

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

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

(Materials and Methods)

2.1 วัสดุ

1. ข้าวสารที่มีระดับอะไมโลสแตกต่างกัน 5 สายพันธุ์ จากศูนย์วิจัยข้าว จังหวัดพัทลุง ต.ควนกฎ อ.เมือง จ.พัทลุง ดังนี้ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (อะไมโลสต่ำ) พันธุ์ดอกพยอม (ระดับอะไมโลสปานกลาง-ค่อนข้างสูง) พันธุ์เจียงพัทลุง (อะไมโลสสูง) พันธุ์เล็บนกปัตตานี (อะไมโลสสูง) และ พันธุ์ KGTLR 97133 /3 /1/ 2 (อะไมโลสสูง)
2. ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากบริษัทปทุมไรซ์มิลล์ แอนด์แกรนารี จำกัด จังหวัดปทุมธานี
3. รำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกแล้ว จากบริษัทเบทาโกรอาหารสัตว์ ภาคใต้ (มหาชน) จำกัด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
4. บรรจุภัณฑ์ ถุงพลาสติกชนิดลามิเนตประเภท 2 ชั้นระหว่าง พอลิเอไมด์ กับ พอลิเอทิลีน (PA/PE) จากบริษัทยูโรแพค จำกัด
5. สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ โปรตีน ไขมัน ปริมาณอะไมโลส ปริมาณใยอาหาร และค่าทีบีเอ
6. สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการสกัดใยอาหาร

2.2 อุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ Mettler Deltar รุ่น 350
2. เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Juki รุ่น JP 7100F
3. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ยี่ห้อ Stable Micro System รุ่น TA-XT 2I
4. ตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาด
5. เครื่องบรรจุสุญญากาศ ยี่ห้อ Hankovac รุ่น 1000
6. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Aw) ยี่ห้อ Novasina รุ่น TH 200
7. ชุดอุปกรณ์กวนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า
8. อ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิได้
9. เครื่องผลิตข้าวพอง (ภาพที่ 5) ประกอบด้วยพิมพ์ที่มีฮีตเตอร์ฝังอยู่ภายใน
10. เครื่องวัดค่าความแข็งแรงของเมล็ดข้าว Instron รุ่น
11. ชุดเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

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

2.3.2 ศึกษาผลของการเก็บข้าวสารที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ นำตัวอย่างข้าวสาร 5 สายพันธุ์ 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 ึ่งให้สุก (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 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

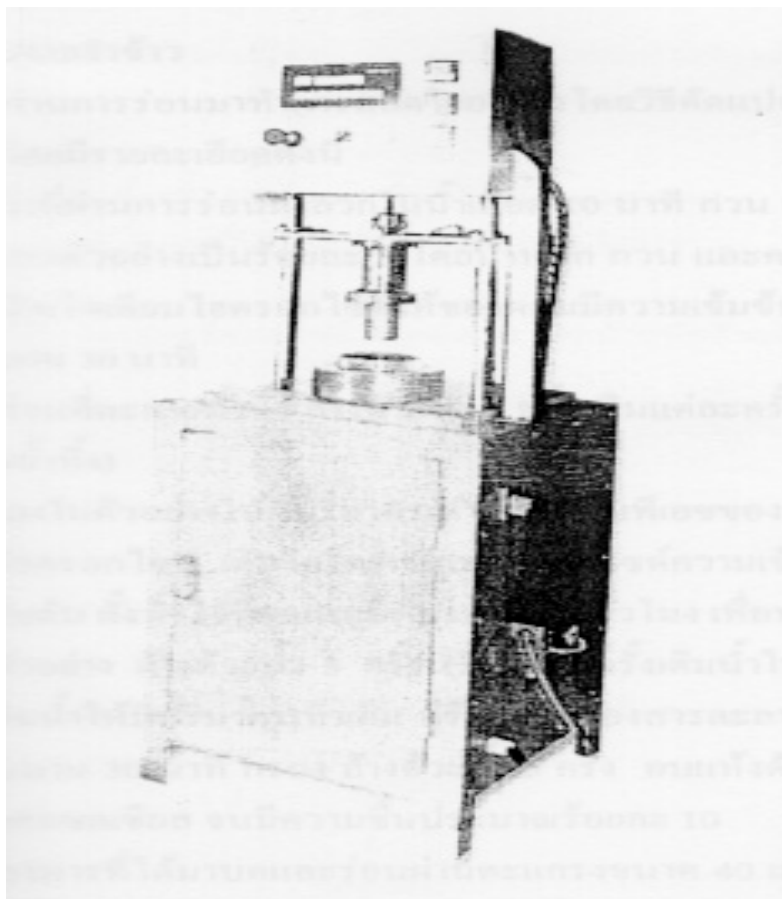
นำข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (จากบริษัท ปทุมไรซ์มิลล์ แอนด์แกรนารี จำกัด จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่ปลูกในภาคกลาง) มาวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ด้วยวิธี AOAC (1990) และปริมาณอะไมโลสโดยวิธี Juliano (1971)

2. สภาวะที่เหมาะสมต่อการพองตัวของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

นำข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง สะเด็ดน้ำ ปล่อยให้แห้งประมาณ 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 วัดความกรอบโดยวัดค่าแรงกดที่ทำให้ขึ้นข้าวพองแตกหัก 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 การสกัดใยอาหารจากรำข้าว

1. วิเคราะห์ส่วนประกอบของรำข้าว

นำรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว มาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช เพื่อแยกสิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนออก วิเคราะห์ส่วนประกอบของรำข้าว ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า โดยวิธี AOAC (1990) วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยวิธีของ Lee และคณะ (1992)

2. การสกัดใยอาหาร

นำรำข้าวที่ผ่านการร่อนมาทำการสกัดใยอาหารโดยวิธีดัดแปลงจาก Chou และคณะ (1990) ดังภาพที่ 6 โดยมีรายละเอียดดังนี้

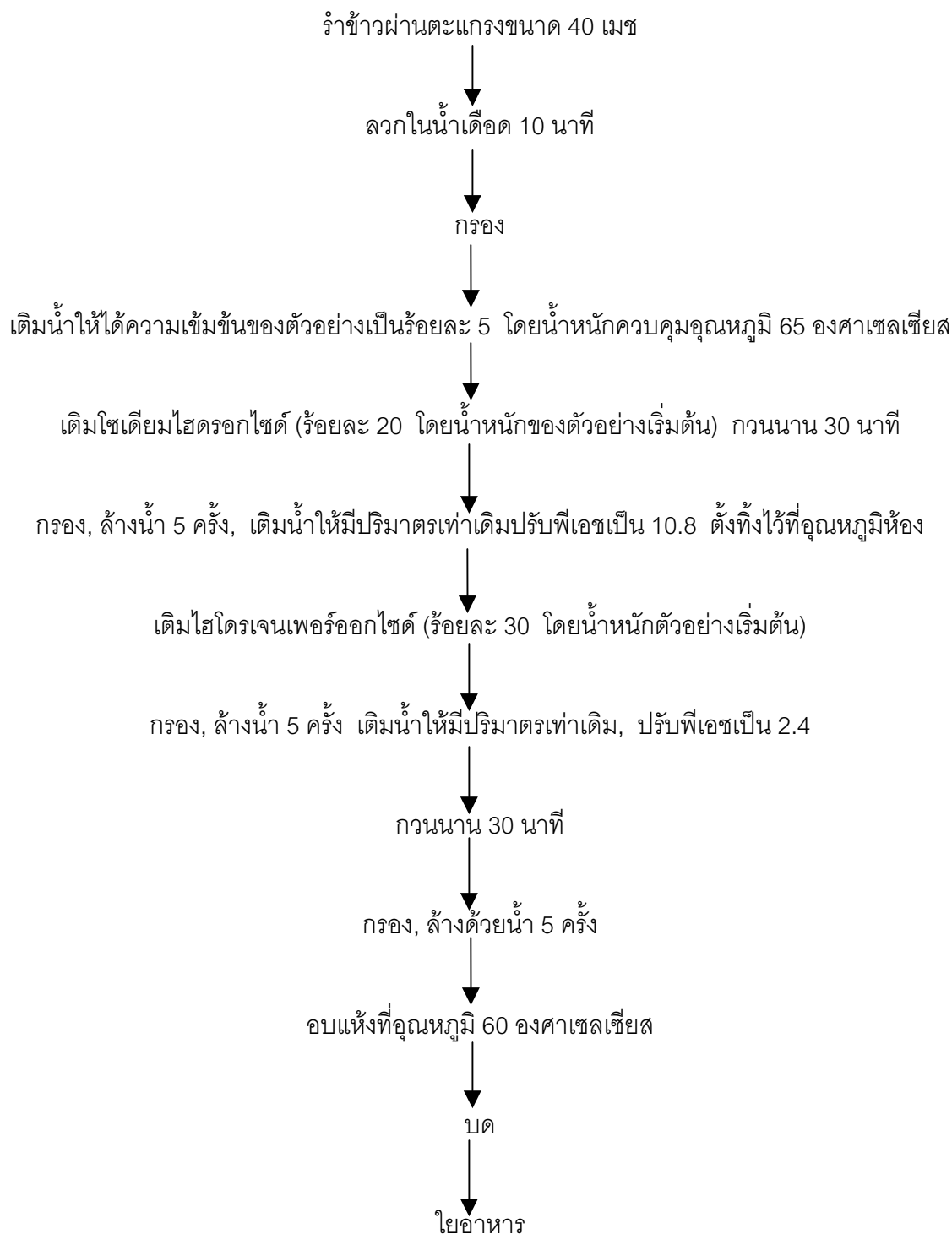
2.1 นำรำข้าวที่ผ่านการร่อนมาลวกในน้ำเดือด 10 นาที กวน ตลอดเวลา กรอง เติมน้ำ ให้ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก กวน และควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 65 องศาเซลเซียส เติมน้ำไฮดรอกไซด์ให้ของผสมมีความเข้มข้นร้อยละ 20 ของน้ำหนักตัวอย่าง เริ่มต้น แขนาน 30 นาที

2.2 กรองส่วนที่ละลายน้ำทิ้ง ล้างด้วยน้ำ 5 ครั้ง (ในแต่ละครั้งเติมน้ำให้มีปริมาตรเท่าเดิม กวน แล้วกรองน้ำทิ้ง)

2.3 เติมน้ำลงในตัวอย่างให้มีปริมาตรเท่าเดิม ปรับพีเอชของสารละลาย ตัวอย่างให้ได้ 10.8 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เติมน้ำไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 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 อบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนแบบ ภาดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10

2.5 นำใยอาหารที่ได้มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช จะได้ใยอาหารจากรำข้าว



ภาพที่ 6 กระบวนการสกัดโยอาหารจากรำข้าว
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Chou และคณะ (1990)

3. วิเคราะห์สมบัติของโยอาหารที่สกัดได้นำโยอาหารที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณสมบัติดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยวิธีดัดแปลงของ Ning และคณะ (1991) วัดค่ารังสีในระบบ Hunter Lab เป็น tristimulus colorimeter ที่ใช้ filter-photodetector และแหล่งกำเนิดแสงที่มีเลนส์และกระจกเงาที่ปล่อยแสงไปยังตัวอย่าง 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 ศึกษาอัตราส่วนของโยอาหารที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพองเสริมโยอาหาร

1. นำข้าวสารที่มีเปอร์เซ็นต์หักที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.6 มาแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง นึ่งด้วยไอน้ำ 15 นาที เติมโยอาหารร้อยละ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 ของน้ำหนักข้าวสาร ผสมโยอาหารให้กระจายอย่างทั่วถึงในข้าว จากนั้นนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างที่เติมโยอาหารทำให้เกิดการพองตัวโดยเครื่องทำข้าวพองและใช้สภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.5

2. ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเสริมโยอาหารในปัจจุบัน คุณภาพลักษณะการพองตัว สี กลิ่น ความกรอบ ความรู้สึกล้นหลังการกลืนด้วย โดยวิธีการทดสอบแบบพรรณนาเชิงปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis : QDA) และความชอบรวมด้วยวิธี Hedonic scale แบบ 9 สเกล โดยใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกอบรมในห้องปฏิบัติการจำนวน 10 คน

3. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารเสริมโยอาหาร

3.1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC (1990) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Aw) โดยใช้ Aw-meter วิเคราะห์ปริมาณโยอาหารทั้งหมด โยอาหารที่ละลายน้ำได้ โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ 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)

ค่าที่บีเอ ตามวิธีของ Egan และคณะ (1981) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี โดยใช้ Aw-meter

2. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยวัดค่าสีในระบบ Hunter โดยใช้เครื่อง

วัดสี Juki วัดความกรอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer

3. ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีทดสอบแบบ QDA ในปัจจัย

คุณภาพ สี กลิ่นผิดปกติ ความกรอบ ความรู้สึกลังการกลืน และการยอมรับรวม โดยใช้วิธี Hedonic scale โดยผู้บริโภครายหนึ่งผ่านการฝึกจำนวน 10 คน

บทที่ 3

ผล และ วิจารณ์ผล

(Results and Discussion)

3.1 องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของข้าวสารจากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง จำนวน 5 สายพันธุ์

3.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

ข้าวสารจากศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง จำนวน 5 สายพันธุ์ได้แก่ พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 , พันธุ์เจียงพัทลุง, พันธุ์ดอกพยอม, พันธุ์เล็บนกปัตตานี และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ประกอบด้วย ความชื้น, โปรตีน, อะไมโลส และไขมัน ดังในตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นของข้าวสารทั้ง 5 สายพันธุ์ อยู่ระหว่างร้อยละ 11-12 ซึ่งปริมาณความชื้นนี้จะป้องกันการเสื่อมเสียอันเนื่องจากจุลินทรีย์ ปริมาณความชื้นจะมีผลต่ออายุการเก็บของข้าวสาร จากรายงานของ กัมปนาท 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 , พันธุ์เจียงพัทลุง, 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 ข้าวสารเจ้าที่อะไมโลสต่ำ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กลุ่มอะไมโลสปานกลางค่อนข้างสูง ได้แก่ พันธุ์ดอกพยอม กลุ่มอะไมโลสสูง ได้แก่ พันธุ์เจียงพัทลุง 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 ให้ผลิตภัณฑ์ของสารประกอบคาร์บอนิล 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
เจียะพัทลุง	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
เล็กนกกัปปัตตานี	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 อักษรที่เหมือนกันในแถวตั้ง 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.)	อัตราส่วนความยาว ต่อความกว้าง	
KGTLR 79133/3/1/2	7.05 ± 0.03^a	2.14 ± 0.01^a	3.29^b	24.79 ± 2.38^a
เจียงพัทลุง	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 $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดขนาดเมล็ดข้าวสาร 50 เมล็ด
 2 ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสาร 20 เมล็ด
 a,b อักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความหมายแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
 (P>0.05)

จากตารางที่ 9 พบว่า ข้าวสารพันธุ์ดอกพยอมมีเมล็ดยาวที่สุด คือ 7.19 มม. รองลงมาได้แก่พันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105, พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 และพันธุ์เจียงพัทลุง 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, พันธุ์เจียงพัทลุง, พันธุ์ดอกพยอม, และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จัดอยู่ในกลุ่มเมล็ดข้าวสารที่มีเมล็ดยาว สำหรับพันธุ์เล็บนกปัตตานี จัดอยู่ในกลุ่มที่มีเมล็ดยาวปานกลาง

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

2. ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสาร

การวัดค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสารวัดในรูปของแรงตัดเฉือน (cutting shear) มีหน่วยเป็นนิวตัน ถ้าแรงตัดเฉือนมีค่ามาก แสดงว่าเมล็ดข้าวสารมีความแข็งมาก จากตารางที่ 9 พบว่า พันธุ์ KGTLR 79133/3/1/2 มีความแข็งของเมล็ดมากที่สุด ซึ่งมีค่าแรงตัดเฉือนเท่ากับ 24.7 นิวตัน รองลงมาได้แก่ พันธุ์เจียงพัทลุง, พันธุ์ขาวดอกมะลิ 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 นอกจากนี้มีตำแหน่งที่วัดค่าความแข็งของเมล็ดข้าวสาร ก็จะมีผลต่อความแข็ง ตำแหน่งกึ่งกลางของเมล็ดจะมีความแข็งมากที่สุด

3.2 ผลของการเก็บเมล็ดข้าวสารที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

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