

ผลของระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกต่อคุณสมบัติของข้าวสาร
แป้งข้าวและข้าวแฉ่นกรอบ

โดย

นางสาวนพมาศ พิมจุฬา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-464-520-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**EFFECT OF PADDY STORAGE TIME ON PROPERTIES OF MILLED RICE,
RICE FLOUR AND RICE CRACKERS**

By

Noppamat Pimjura

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2004

ISBN 974-464-520-2

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ผลของระยะเวลา
การเก็บข้าวเปลือกต่อคุณสมบัติของข้าวสาร แป้งข้าวและข้าวแฉ่นกรอบ” เสนอโดย
นางสาวนพมาศ พิมจุฬา เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิราวรรณ กงคล้าย)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย
2. อาจารย์ ดร.บัณฑิต อินดวงศ์
3. อาจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์ไผ่ชาติ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์
คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.โสภาค สอนไว)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์ไผ่ชาติ)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.บัณฑิต อินดวงศ์)

...../...../.....

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์)

...../...../.....

K 44403252 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : ข้าวเปลือก / ระยะเวลาการเก็บ / ข้าวสาร / แป้งข้าว / ข้าวแผ่นกรอบ

นพมาศ พิมจุฬา: ผลของระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกต่อคุณสมบัติของข้าวสาร แป้งข้าวและข้าวแผ่นกรอบ (EFFECT OF PADDY STORAGE TIME ON PROPERTIES OF MILLED RICE, RICE FLOUR AND RICE CRACKERS) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย, อ.ดร.บัณฑิต อินณวงศ์ และ อ.ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ. 123 หน้า. ISBN 974-464-520-2

เมื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกต่อคุณสมบัติของข้าวสาร แป้งข้าวและข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers) โดยเก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน ในกระสอบป่าน พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการดูดซึมน้ำและคุณภาพการหุงต้มของข้าวทั้งอัตราการขยายปริมาตรและน้ำหนักของข้าวสุก ($p>0.05$) ความชื้นของข้าวสารและแป้งข้าวมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ ค่ากำลังการพองตัวของแป้งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ($p<0.05$) แต่ค่าร้อยละการละลายไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) สีของแป้งข้าวมีค่าความสว่างต่ำลง ในขณะที่ค่าความเข้มของสีมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก ปริมาณโปรตีนไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาณอะไมโลสเพิ่มสูงขึ้น ($p<0.05$) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และค่าพีเอชของแป้งไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p>0.05$) อุณหภูมิและค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในเซชันและอุณหภูมิในการเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าเอนทัลปีของการเกิดรีโทรกราเดชันไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p>0.05$) ส่วนพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าว พบว่าค่าความหนืดสูงสุดและค่าการสูญเสียความหนืดลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ($p<0.05$) ในขณะที่ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าการคืนตัว ความหนืดสุดท้ายและอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้นของข้าวเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก ($p<0.05$) เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษามาผลิตข้าวแผ่นกรอบ แล้ววิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสพบว่าข้าวแผ่นกรอบมีค่าความแข็ง (hardness) และความเค้นเฉือน (shear stress) เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ($p<0.05$) แต่ค่าความแข็งและความเค้นเฉือนของข้าวแผ่น (rice pellets) ที่อบแห้งแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) อัตราส่วนการพองตัวและความหนาแน่นของข้าวแผ่นกรอบไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีเชิงพรรณนาโดยใช้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน พบว่าคะแนนความแข็งเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กลิ่นเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ลดลง ในขณะที่ความกรอบ กลิ่นหืนและคุณลักษณะโดยรวมไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ 1. 2. 3.

K 44403252 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : PADDY / STORAGE TIME / MILLED RICE / RICE FLOUR / RICE CRACKERS

NOPPAMAT PIMJURA : EFFECT OF PADDY STORAGE TIME ON PROPERTIES
OF MILLED RICE, RICE FLOUR AND RICE CRACKERS. THESIS ADVISORS :
EAKAPHAN KEOWMANEECHAI, Ph.D., BHUNDIT INNAWONG, Ph.D., AND PRASONG
SIRIWONGWILAICHAT, Ph.D. 123 pp. ISBN 974-464-520-2.

The effect of paddy storage time on the quality of milled rice, rice flour and rice crackers was investigated. The paddy of Hommali rice was stored in jute bags at the room temperature for 0-12 months. The results showed that the storage time did not affect the water uptake and cooking qualities of the rice, i.e., the expansion volume and weight of cooked rice ($p>0.05$). The moisture content of milled rice and rice flour was dependent on the weather. The swelling power of rice flour slightly changed but there was no significant difference in the degree of solubility ($p>0.05$). The whiteness of rice flour decreased while the color intensity increased upon the storage time. The protein content did not change significantly ($p>0.05$). The amylose content increased upon the storage time. The storage time did not affect the amount of reducing sugar and TBA No. ($p>0.05$). The gelatinization and retrogradation temperatures increased. The enthalpy of gelatinization also increased but there was no significant difference in the enthalpy of retrogradation ($p>0.05$). The pasting behavior of rice flour showed that peak viscosity and breakdown decreased ($p<0.05$) while the trough, final viscosity, setback and pasting temperature exhibited increases during the storage time ($p<0.05$). Rice crackers made from paddy stored for different periods were found to have a slight difference in the hardness and shear stress. There was no significant difference in hardness and shear stress of rice pellets ($p>0.05$). The expansion volume and density of the rice crackers were not affected by the storage time ($p>0.05$). According to sensory evaluation by QDA using trained panels, the hardness of rice crackers slightly changed. The flavor of rice crackers reduced while their crispiness, rancidity and overall characteristics did not significantly change over the storage time ($p>0.05$).

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2004

Student's signature

Thesis Advisors' signature 1. 2. 3.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ต้องใช้ความพยายามในการเรียบเรียงเป็นอย่างมากเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งการทำวิจัยและการเรียบเรียงรูปเล่มวิทยานิพนธ์นี้ไม่อาจสำเร็จได้หากปราศจากความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งท่านได้กรุณาให้ความรู้ ความเข้าใจตลอดจนเอาใจใส่ดูแลในช่วงการทำวิจัยและช่วยตรวจแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.บัณฑิต อินดวงศ์ ที่ท่านกรุณาให้แนวคิดต่าง ๆ ในระหว่างการทำวิจัยและให้ความรู้ในเรื่องการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ ที่กรุณาให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์รัชพงศ์ ชูศรี ที่ได้กรุณาให้ความรู้และสอนวิธีการใช้เกี่ยวกับเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาเพื่อตรวจสอบและให้คำแนะนำ ปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท นำเขา (ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยเหลือสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย ตลอดจนเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและขอขอบคุณพนักงานในโรงงานทุกท่านที่ช่วยให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพินิจ เจียนระทิก นักวิทยาศาสตร์ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ และอาจารย์ ดร.ชัชยงค์ เตชะไพโรจน์ ที่ได้ให้คำแนะนำและเอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง DSC

ขอขอบคุณ คุณปิยะฉัตร ใจเอื้อ คุณเพ็ญจันทร์ พิศาลศิลป์สกุล และคุณนัฐิยา แก้วสอาด นักวิทยาศาสตร์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกัญญณี จันทิพย์วงษ์ คุณสายทอง แซ่ตัน คุณทิพาภรณ์ ทรัพย์สมบูรณ์ และคุณธนรัตน์ พ่วงพร้อม ที่ช่วยเหลือและเอื้ออำนวยความสะดวกในการทำวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ เพื่อนและน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโททุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้
กำลังใจและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนสนิททุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้เข้มแข็ง สามารถเผชิญอุปสรรคต่าง ๆ
ได้แม้ในยามอ่อนล้าและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และคุณป้าที่คอยห่วงใย ให้กำลังใจ เป็น
แรงใจด้วยดีเสมอมา ตลอดจนสนับสนุนเงินทุนการศึกษาและเงินทุนในการทำวิจัยตลอด
ระยะเวลาที่ได้ศึกษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 เวลาที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.6 ค่าใช้จ่ายในงานวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนการวิจัย.....	3
1.8 สถานที่ทำวิจัย.....	3
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
2 การตรวจเอกสาร.....	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว.....	4
2.1.1 ความหมายและความสำคัญของข้าว.....	4
2.1.2 การจำแนกชนิดของข้าว.....	4
2.1.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของเมล็ดข้าว.....	9
2.1.4 คุณภาพของข้าว.....	10
2.1.5 การใช้ประโยชน์จากข้าว.....	14
2.1.6 ข้าวหอมมะลิ.....	14
2.2 การเปลี่ยนแปลงขณะเก็บรักษามล็ดข้าว.....	15
2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวในระหว่างการเก็บรักษา.....	15

บทที่	หน้า
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี.....	17
2.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ.....	19
2.2.5 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ.....	20
2.2.6 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส.....	22
2.3 ข้าวแผ่นกรอบ.....	24
2.3.1 การจำแนกชนิดของข้าวแผ่นกรอบ.....	24
2.3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวแผ่นกรอบ.....	25
2.3.3 กระบวนการผลิตเช่นแป้ง.....	25
2.3.4 การพองตัวของข้าวแผ่น.....	26
2.3.5 สภาพะในการอบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์.....	28
3 วัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีการ.....	30
3.1 วัตถุดิบ.....	30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	30
3.2.1 เครื่องมือ.....	30
3.2.2 เครื่องแก้ว.....	31
3.2.3 อุปกรณ์.....	32
3.3 สารเคมี.....	32
3.3.1 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์โปรตีน.....	32
3.3.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส.....	32
3.3.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์.....	33
3.3.4 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณทีบีเอ.....	33
3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	33
3.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสาร.....	34
3.4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าว.....	34
3.4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบ.....	35
3.4.4 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	37

บทที่	หน้า
4 ผลและการวิจารณ์.....	38
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสาร.....	38
4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าว.....	42
4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพของข้าวแผ่นอบแห้ง และข้าวแผ่นกรอบ.....	62
5 สรุปผล.....	71
5.1 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวสาร.....	71
5.2 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งข้าว.....	71
5.3 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านกายภาพของข้าวแผ่นกรอบ	72
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	72
เอกสารอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	79
ภาคผนวก ข แผนผังการผลิตข้าวแผ่นกรอบ.....	86
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง.....	90
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส.....	100
ภาคผนวก จ รูปผนวก.....	102
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	122
ประวัติผู้วิจัย.....	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทอินดิกา จาปอนิกาและจาวานิกา.....	5
2	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวเหนียว.....	7
3	การจัดแบ่งคุณภาพข้าวตามปริมาณอะไมโลส.....	7
4	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน.....	8
5	รูปร่างของเมล็ดข้าวสารกับค่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง.....	8
6	กระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวขณะเก็บรักษา.....	23
7	อัตราการพองตัวของแป้งชนิดต่าง ๆ.....	25
8	คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่ได้จากการอบข้าวแผ่นในปริมาณต่าง ๆ กัน.....	28
9	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....	46
10	ค่าทีบีไอในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....	50
11	ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบ ที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....	64
12	ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบ ที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ที่ผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....	65
13	ความหนาแน่นและอัตราการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ ที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....	67
14	ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบเชิงพรรณนาของข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers) ที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....10
2	การนำข้าว ไปใช้ประโยชน์และผลิตภัณฑ์จากข้าว.....16
3	การจำแนกชนิดของข้าวผ่านกรอบ.....24
4	กระบวนการผลิตเซนเบ้.....26
5	แผนภาพการเปลี่ยนแปลงระหว่างกรอบ.....27
6	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกรอบข้าวผ่านในปริมาณต่าง ๆ กัน.....29
7	ปริมาณความชื้นของข้าวสาร ข้าวเปลือกหอมมะลิเปรียบเทียบกับความชื้น สัมพัทธ์ภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....39
8	ปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวสารที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....40
9	น้ำหนักของข้าวสุกที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....41
10	ปริมาตรข้าวสุกที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....42
11	ปริมาณความชื้นของแป้งข้าว ข้าวเปลือกหอมมะลิเปรียบเทียบกับความชื้น สัมพัทธ์ภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....43
12	ปริมาณโปรตีนในแป้งที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ ห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....44
13	ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....45
14	ค่าความสว่าง (L*) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บ รักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....51
15	ค่าความเข้มสีของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....51
16	ค่ากำลังการพองตัว (swelling power) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือก หอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....53

รูปที่	หน้า
17	ความสามารถในการละลายของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....53
18	ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....56
19	ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....56
20	ค่าการสูญเสียความหนืด (breakdown) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....57
21	ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....57
22	ค่าการคืนตัว (setback) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....58
23	ค่าอุณหภูมิที่ทำให้แป้งเริ่มหนืด (pasting temperature) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....58
24	อุณหภูมิของการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....61
25	ค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....61
26	อุณหภูมิของการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....62
27	ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers) ที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....63
28	ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ของข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers) ที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน.....66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยไทยส่งออกข้าวปีละประมาณ 7 ล้านตัน เป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของการส่งออกข้าวทั้งหมดทั่วโลก ซึ่งทำรายได้ให้กับประเทศประมาณปีละ 70,000 ล้านบาท (นลินรัตน์ และ สิริลักษณ์, 2544) นอกจากการส่งออกข้าวแล้ว ประเทศไทยยังส่งออกผลิตภัณฑ์จากข้าวอีกเป็นจำนวนมาก เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว ข้าวเกรียบ โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ฯลฯ (นฤศันส์, 2541)

ประเทศไทยผลิตข้าวได้ประมาณปีละ 17.7 ล้านตันข้าวเปลือก (พีชยา, 2541) โดยร้อยละ 50.46 จะใช้ในการบริโภค ทำเมล็ดพันธุ์และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ภายในประเทศ ส่วนอีกร้อยละ 49.54 จะส่งออกในรูปแบบของข้าวสารและผลิตภัณฑ์จากข้าว ข้าวหอมมะลิเป็นพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณการส่งออกสูง โดยคิดเป็นร้อยละ 17 ของการส่งออกข้าวทั้งหมดของไทย (นลินรัตน์ และ สิริลักษณ์, 2544) การนำข้าวสารไปทำการแปรรูปจะได้ผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น

ผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers) เป็นอาหารขบเคี้ยวชนิดหนึ่งที่ทำมาจากข้าวของชาวญี่ปุ่น เช่น อาราระ (arare) ซึ่งทำจากข้าวเหนียว และเซนเบิ (senbei) ซึ่งทำจากข้าวเจ้า ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้เริ่มได้รับความนิยมในตลาดขนมขบเคี้ยวของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยอุตสาหกรรมข้าวแผ่นกรอบมีมูลค่าประมาณ 4 พันล้านเหรียญในปี พ.ศ. 2540 อุตสาหกรรมการผลิตข้าวแผ่นกรอบในประเทศญี่ปุ่นได้เกิดปัญหาข้าววัตถุดิบขาดแคลนและมีราคาสูง จึงได้มีการตั้งโรงงานผลิตข้าวแผ่นกรอบในประเทศไทยขึ้น โดยใช้ข้าวหอมมะลิเป็นวัตถุดิบในการผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของข้าวสารที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ถ้าหากข้าวสารวัตถุดิบมีคุณสมบัติที่แปรปรวน ก็จะทำให้เกิดปัญหาคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบไม่สม่ำเสมอ สาเหตุหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของข้าวสารก็คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกก่อนที่จะนำมาสีเป็นข้าวสาร โดยเมล็ดข้าวสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพระหว่างการเก็บรักษา ทำให้คุณภาพของข้าวแผ่นกรอบ เช่น การพองตัวและเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

พื้นฐานของข้าวสารและคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบ จึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงผลของระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารและแป้งข้าว

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงผลของระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกที่มีต่อคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัส การพองตัวและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารที่สีได้และแป้งข้าวที่ไม่ได้จากข้าวเปลือกนั้น

1.3.2 ระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตข้าวแผ่นกรอบมีผลต่อคุณภาพทางเนื้อสัมผัส การพองตัวและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาผลของการเก็บข้าวเปลือกหอมมะลิในช่วงระยะเวลา 0-12 เดือนต่อคุณสมบัติการดูดซึมน้ำและคุณภาพการหุงต้มของข้าวสาร ปริมาณความชื้น โปรตีน น้ำตาลรีดิวซ์ อะไมโลสและค่าทีบีเอ ค่าสี กำลังการพองตัว ความสามารถในการละลาย พฤติกรรมการให้ความหนืดและการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของแป้งข้าว

1.4.2 ศึกษาคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส การพองตัวและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิที่ผ่านการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลา 0-12 เดือน

1.5 เวลาที่ใช้ในการวิจัย

ประมาณ 2 ปี เริ่มงานวิจัยตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2545 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2547

1.6 ค่าใช้จ่ายในงานวิจัย

ประมาณ 100,000 บาท

1.7 ขั้นตอนการวิจัย

1.7.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้องจากวารสาร บทความและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ข้อมูลความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับข้าวและข้าวแผ่นกรอบ

1.7.2 การนำข้าวเปลือกหอมมะลิมาเก็บเป็นระยะเวลา 0-12 เดือน โดยในแต่ละเดือนจะสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกมาสีเป็นข้าวสารและโม้เป็นแป้ง นำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสารและแป้งข้าว รวมทั้งผลิตเป็นข้าวแผ่นกรอบแล้วตรวจสอบคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส การพองตัวและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

1.8 สถานที่ทำวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการจุลชีวอาหาร ห้องปฏิบัติการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และห้องปฏิบัติการทางประสาทสัมผัส ของภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม และบริษัท นานา (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดราชบุรี

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.9.1 ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและกายภาพของข้าวเปลือกหอมมะลิในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวต่อคุณภาพของข้าวสารและแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกนั้น

1.9.2 ทราบถึงผลของระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกที่มีต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส การพองตัวและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

1.9.3 ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

2.1.1 ความหมายและความสำคัญของข้าว

ความหมายของคำว่า “ข้าว” คือ “ชื่อไม้ล้มลุกหลายชนิด หลายสกุล ในวงศ์ Gramineae โดยเฉพาะชนิดโอไรซา ซาไตวา (*Oryza sativa* L.) ซึ่งใช้เมล็ดเป็นอาหารหลัก มีหลายพันธุ์ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า” (ราชบัณฑิตยสถาน, 2546)

ชาญ (2536) ได้กล่าวว่า ข้าวเป็นพืชวงศ์หญ้า (Family Gramineae) เผ่าพันธุ์ (tribe) โอไรซี (*Oryzae*) ซึ่งเผ่าพันธุ์นี้มีอยู่ประมาณ 25 ชนิด ในจำนวนนี้มีอยู่ 2 ชนิดเท่านั้นที่ใช้ปลูกเพื่อเป็นอาหาร คือ โอไรซา ซาไตวา (*Oryza sativa*) และ โอไรซา กลาเบอร์ริมา (*Oryza glaberrima*) ชนิดอื่นที่เหลือเป็นข้าวป่า

ข้าวเป็นพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก โดยเฉพาะประเทศในภูมิภาคเอเชียมีรับประทาน ข้าวเป็นอาหารหลักมากกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก ข้าวเจ้าเป็นพืชที่ปลูกมากในประเทศจีน อินเดีย ไทย เวียดนามและฟิลิปปินส์ (นฤศันต์, 2541) สำหรับประเทศไทยมีการปลูกข้าวเจ้าเพื่อใช้ในการส่งออกปีละประมาณ 7 ล้านตัน โดยมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 ของการส่งออกข้าวทั้งหมดทั่วโลก (นลินรัตน์ และ สิริลักษณ์, 2544) ทำให้ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย

2.1.2 การจำแนกชนิดของข้าว

การจำแนกประเภทของข้าวเจ้านั้น สามารถจำแนกได้หลายวิธี คือ ทางพฤกษศาสตร์ ความแข็งของเมล็ดข้าว คุณลักษณะเมื่อหุงสุก ปริมาณอะไมโลสในเมล็ดข้าวและลักษณะรูปร่างของเมล็ด เป็นต้น

(1) การจำแนกชนิดข้าวตามคุณลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1. อินдика (Indica type) เป็นข้าวที่มีลักษณะของเมล็ดเรียวยาว ก่อนข้างแบนมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างประมาณ 3.1-3.5 (ประพาส, 2537) มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 23-31 (ชาญ, 2536) ปลูกมากในประเทศไทย จีน อินเดียและฟิลิปปินส์

2. จาปอนิกา (Japonica type) เป็นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดสั้นและค่อนข้างกลม มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างประมาณ 1.4 -2.9 (ประพาส, 2537) มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 20-25 ปลูกกันมากในประเทศจีน เกาหลี ญี่ปุ่น (ชาญ, 2536)

3. จาวานิกา (Javanica type) เป็นข้าวที่มีลักษณะอยู่ระหว่างชนิดอินдикаและจาปอนิกา ปลูกในประเทศอินโดนีเซียบางท้องที่เท่านั้น มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 10-24 (ชาญ, 2536)

โดยข้าวทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นข้าวโอไรซา ซาไควา โดยลักษณะรวงข้าวมีระแเงแตกแขนง (ประพาส, 2537) และมีลักษณะที่สำคัญบางประการแตกต่างกันตามประเภทของข้าว ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทอินдика จาปอนิกาและจาวานิกา

ลักษณะ	ชนิดข้าว		
	อินдика	จาปอนิกา	จาวานิกา
เมล็ด	ยาว ค่อนข้างแบน	สั้น ค่อนข้างกลม	กว้าง หนา
ลำต้น	สูง อ่อน	เตี้ย แข็ง	สูง แข็ง
ใบ	อ่อน กว้าง สีเขียวอ่อน	แข็ง แคบ สีเขียวแก่	แข็ง กว้าง สีเขียวอ่อน
การแตกกอ	แตกกอมาก	แตกกอปานกลาง	แตกกอน้อย
หางของเมล็ด	สั้นมาก	สั้น-ยาว	สั้น-ยาว
ขนของเปลือก	สั้น	มาก-ยาว	ยาว
การร่วงของเมล็ด	ง่าย	ยาก	ยาก
ร้อยละอะไมโลส	23-31	20-25	10-24

ที่มา: ชาญ (2536)

(2) การจำแนกชนิดข้าวตามความแข็งของเมล็ดข้าว

1. ข้าวเมล็ดแข็ง เป็นข้าวเมล็ดยาวเรียว มีเนื้อแข็งเป็นมัน ได้แก่ ข้าวเจ้า ปลูกมากในเขตร้อน เช่น ประเทศไทย อินเดีย จีน อินโดนีเซียและฟิลิปปินส์

2. ข้าวเมล็ดอ่อน เป็นข้าวที่มีเมล็ดสั้นป้อม เนื้อขาวขุ่น ไม่เหมือนพวกแรก ปลูกมากในประเทศไทยที่ญี่ปุ่น เกาหลีและตอนเหนือของจีน (นฤพันธุ์, 2541)

(3) การจำแนกชนิดข้าวตามคุณสมบัติของเมล็ดข้าวเมื่อหุงสุก

1. ข้าวเจ้า (non-waxy rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า โอไรซา ซาติวา (*Oryza sativa*) มีองค์ประกอบของสตาร์ชที่เรียกว่า อะไมโลส (amylose) ในปริมาณที่มากถึงร้อยละ 15-31 (ชาญ, 2536) ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าทำให้ข้าวซึ่งหุงสุกแล้วมีคุณภาพต่างกัน คือ ข้าวพันธุ์ที่มีอะไมโลสสูงเมื่อหุงสุกแล้วจะมีเนื้อสัมผัสแข็ง เช่น ข้าวพันธุ์ กข 1 มีปริมาณอะไมโลสประมาณร้อยละ 30 ส่วนข้าวหอมมะลิมิปริมาณอะไมโลสประมาณร้อยละ 22 (ประพาส, 2537) เมื่อหุงสุกข้าวหอมมะลิจะอ่อนนุ่ม นุ่มนวลกว่าข้าวพันธุ์ กข 1 เพราะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า นิยมบริโภคในแถบภาคกลางและภาคใต้ของประเทศไทย (ชาญ, 2536)

2. ข้าวเหนียว (waxy rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า โอไรซา กลูติโนซา (*Oryza glutinosa*) มีส่วนประกอบของอะไมโลสต่ำมากประมาณร้อยละ 5 - 7 เท่านั้น แต่มีอะไมโลเพกตินสูงถึงร้อยละ 93 - 95 (ชาญ, 2536) ลักษณะของข้าว คือ เมื่อดิบจะขาวขุ่น เมล็ดเปราะ หักง่าย เมื่อผ่านการหุงสุกเมล็ดข้าวจะใสเป็นมันวาว หุงสุกง่าย เหนียวเกาะกัน นิยมบริโภคในแถบภาคเหนือและอีสานของประเทศไทย (ชาญ, 2536)

สตาร์ชข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวเหนียวมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

(4) การจำแนกชนิดข้าวตามปริมาณของอะไมโลสที่มีอยู่ในเมล็ดที่ผ่านการขัดสี

สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute; IRRI) ได้จัดแบ่งข้าวตามปริมาณอะไมโลส ดังตารางที่ 3

ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะมีผลต่อคุณลักษณะของข้าว เนื่องจากอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4

(5) การจำแนกชนิดข้าวตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร

เป็นการจำแนกโดยอาศัยอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวเหนียว

คุณสมบัติ	สตาร์ชข้าวเจ้า	สตาร์ชข้าวเหนียว
อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (องศาเซลเซียส)	58-79	58-78.5
ขนาดเม็ดสตาร์ช (ไมโครเมตร)	1.6-8.7	1.9-8.1
ความหนาแน่น (แทนที่โดยไซลีน) (กรัม/มิลลิลิตร)	1.49-1.51	1.48-1.50
ความสามารถในการจับไอโอดีน (%)	2.36-6.96	0.15-0.86
ความหนืดขั้นของเจล (cP) (6% ใน KOH เข้มข้น 0.2 N)	140-1,200	64-1,890
ความหนืดขั้นในตัว (มิลลิลิตร/กรัม)	160-194	46-164
โปรตีน (ไนโตรเจน) ที่เหลืออยู่ (%น้ำหนักแห้ง)	0.02-0.12	0.01-0.02
ฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัม/กรัม)	0.12-0.45	0.02-0.03
โคลีน (ไมโคร โมล/กรัม)	3.9-9.2	0-0.02
กลูโคส -6 ฟอสเฟต (ไมโคร โมล/กรัม)	0.2-0.7	0.3-0.6
ไขมันที่เกาะเกี่ยว (%น้ำหนักแห้ง)		
- สกัดด้วยน้ำ - บิวทานอลอิมตัวที่เย็น	0.2-0.4	0.03-0.04
- สกัดด้วยน้ำ - บิวทานอลอิมตัวที่ร้อน	0.5-0.9	0.1-0.2

ที่มา: Juliano (1985)

ตารางที่ 3 การจัดแบ่งคุณภาพข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	อะไมโลส (%)	ข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0 - 5.0	เหนียวมาก
ข้าวเจ้า	อะไมโลสดำมาก	นุ่ม - เหนียว
	อะไมโลสดำ	นุ่ม - เหนียว
	อะไมโลสปานกลาง	นุ่ม - เหนียว
	อะไมโลสสูง	ร่วน (ข้าวอ่อน) ร่วน - แข็ง

ที่มา: นฤศันส์ (2541)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกติน	
		ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว
ความสามารถในการจับไอโอดีน (%)	17.4-20.0	0.37-2.74	0.07-0.09
เบต้า-อะไมโลไลซิส ลิ้มิต (%)	72-84	49-58	49-59
ค่าคงที่ของการตกตะกอน ($S_{20,W}$ Swedbergs)	4-14	20-510	60-520
ค่าเฉลี่ยของดีกรีการเกิดพอลิเมอร์ (กลูโคสยูนิต)	530-790	260-880	330-1,050
ความหนืดขั้นในตัว (มิลลิลิตร/กรัม) (0.15-0.10M KOH)	55-242	85-221	46-186
ค่าเฉลี่ยความยาวของเส้น(กลูโคสยูนิตต่อกิ่งก้าน)	100-160	18-28	18-27
ความหนืดขั้นของเจล (cP) (6% ใน KOH เข้มข้น 0.2 M)	13-160	290-740	19-330

ที่มา: Juliano (1985)

ตารางที่ 5 รูปร่างของเมล็ดข้าวสารกับค่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง

รูปร่างเมล็ด	อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง	
	รูปแบบที่ 1 ¹⁾	รูปแบบที่ 2 ²⁾
ข้าวเมล็ดยาว	>3.0	>3.0
ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง	2.1 - 3.0	2.4 - 3.0
ข้าวเมล็ดป้อมเกือบกลม	1.1 - 2.1	2.0 - 2.39
ข้าวเมล็ดกลม	1.0 และต่ำกว่า	ต่ำกว่า 2.0

ที่มา: นฤศันต์ (2541)

หมายเหตุ: ¹⁾ Khush และคณะ (1979)²⁾ Esmay และคณะ (1979) ตามมาตรฐานของ FAO

2.1.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วน (ละมุล, 2541) ดังรูปที่ 1 คือ

1. เปลือกหุ้มเมล็ดหรือเกลบ (hull) ก็คือใบประดับที่เปลี่ยนรูปมา เกลบมี 2 แผ่นประกบกัน คือ เปลือกใหญ่ (lemma) และเปลือกเล็ก (palea) โดยเกลบจะถูกกำจัดออกระหว่างการสีข้าว (ชาญ, 2536) ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วย

- ชั่วเมล็ด (rachilla)
- กลีบเลี้ยง (sterile lemma)
- หางเมล็ด (awn)

2. ส่วนเนื้อผล (caryopsis) เป็นส่วนที่เก็บสารอาหารด้านในสุด ประกอบด้วยสตาρχเป็นส่วนใหญ่ มีส่วนประกอบดังนี้ (ละมุล, 2541)

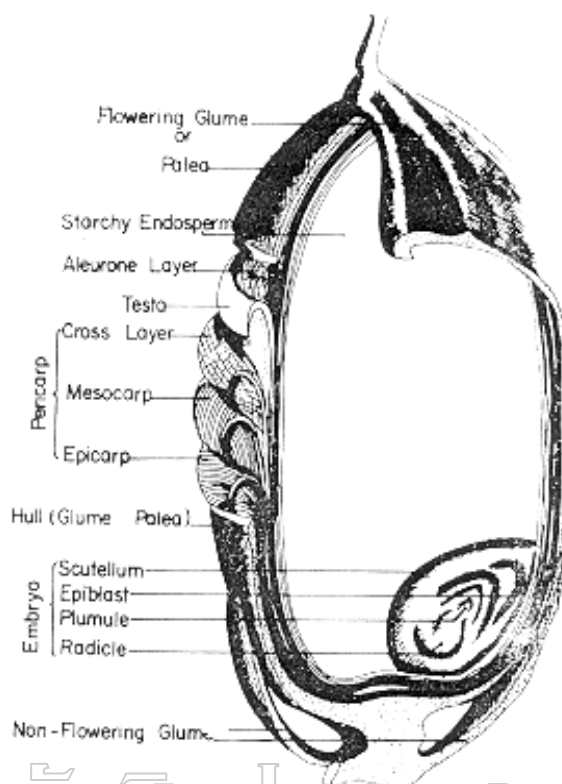
- เยื่อหุ้มผล (pericarp) ส่วนใหญ่มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ อยู่ในเกลบ เมื่อแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออกจะได้เมล็ดข้าวที่เรียกว่า “ข้าวกล้อง” มีสีต่าง ๆ กัน ตั้งแต่สีขาว น้ำตาลอ่อนจนถึงแดง (ชาญ, 2536)

- เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) เป็นส่วนที่อยู่ต่อจากเยื่อหุ้มผล มีโปรตีน ไขมัน เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ

- เยื่อชั้นใน (aleurone layer) ส่วนนี้มีไขมันและโปรตีนอยู่สูง จำนวนชั้นจะแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นกับพันธุ์ข้าวและสิ่งแวดล้อม (ชาญ, 2536)

- เอนโดสเปิร์ม (endosperm) คือส่วนที่เป็นข้าวสาร มีสตาρχอยู่มาก โดยสตาρχจะอยู่รวมกันเป็นไมเซลล์และมีโปรตีนแทรกอยู่บางส่วน

- กัพกะ (embryo) เป็นแหล่งที่มีโปรตีน ไขมันและวิตามินสูง แต่ไม่มีสตาρχ เป็นส่วนที่จะเจริญไปเป็นต้นอ่อนต่อไป ส่วนนี้จะถูกขัดสีออกไปเป็นรำ ซึ่งอาจนำมาสกัดเป็นน้ำมันรำและใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ (อรอนงค์, 2532; Juliano, 1985)



รูปที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2527)

ข้าวสารประกอบด้วยแป้งร้อยละ 75-80 ความชื้นร้อยละ 14 โปรตีนร้อยละ 4.5-14 สตาร์ชข้าวมีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็กประมาณ 2-9 ไมครอน เรียกว่า เม็ดสตาร์ช (starch granules) อัดตัวกันเป็นกลุ่มโดยมีโปรตีนแทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ชด้วย (งามชื่น, 2539)

2.1.4 คุณภาพของข้าว

คุณภาพของข้าวแบ่งออกเป็น คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพสำหรับการหุงต้ม คุณภาพการขัดสีและคุณภาพทางโภชนาการ (นฤศันส์, 2541) ดังนี้

(1) คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติภายนอกของเมล็ดที่เห็นได้ง่าย (เพลงพิน, 2541) พิจารณาตามลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- สีของข้าวเปลือก (paddy) ส่วนใหญ่เป็นสีน้ำตาลซึ่งเป็นสีเดียวกับฟางข้าว
- สีของข้าวกล้อง (brown rice) เป็นสีน้ำตาลอ่อนเพราะมีเนื้อเยื่อชั้นนอกและชั้นในหุ้มเมล็ดอยู่ (นฤศันต์, 2541)
- รูปร่างและขนาดเมล็ด พิจารณาตามอัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างของเมล็ด (L/W ratio) (นฤศันต์, 2541) ดังตารางที่ 5
- ท้องไข่หรือท้องข้าว (chalkiness) เป็นลักษณะการเกิดสีขาวขุ่นในเมล็ดที่ผู้บริโภคนิยม เกิดด้านหน้าเมล็ด เกิดทั่วเมล็ดแต่ขอบนอกยังขาวใสอยู่และเกิดขุ่นเต็มทั้งเมล็ด (ชาญ, 2536) การมีท้องไข่ของเมล็ดข้าวทำให้เมล็ดหักง่ายเมื่อนำไปขัดสีเป็นข้าวสาร ซึ่งทำให้ได้เมล็ดข้าวสารที่หักมาก (ประพาส, 2537)
- ความใส (translucency) เกิดกระจายทั่วเมล็ดทำให้ไม่ขุ่นทึบ มีผลกระทบต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวก่อนการขัดสี (นฤศันต์, 2541)
- ความชื้นที่เหมาะสมในการขัดสีข้าวคือร้อยละ 14 ทำให้ข้าวไม่แตกหักง่ายและลดการหายใจของเมล็ดอีกด้วย (นฤศันต์, 2541)

(2) คุณภาพการหุงต้ม

ความแตกต่างขององค์ประกอบในเมล็ดข้าวแต่ละพันธุ์จะมีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม เช่น ความอ่อนนุ่ม เหนียว ร่วนหรือแข็งของข้าวสุก ทั้งนี้ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการหุงต้มมีดังนี้

- ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกติน เนื่องจากเมล็ดข้าวมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ฉะนั้นปัจจัยข้อนี้จึงเป็นปัจจัยหลักที่มีความสำคัญ (นฤศันต์, 2541) อะไมโลสและอะไมโลเพกตินเป็นองค์ประกอบของสตาร์ชที่มีคุณสมบัติและผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มของข้าวแตกต่างกันไปดังต่อไปนี้

1. อะไมโลส (amylose) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสหลาย ๆ โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันเป็นสายด้วยพันธะแอลฟา-1,4 กลูโคซิดิก (α -1,4 glucosidic) ประมาณ 200 - 2,000 หน่วย (Julaino, 1985) อะไมโลสในสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลและมีค่า DP (Degree of Polymerization) ต่างกัน อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบไอโอดีนและให้สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่จะบ่งบอกว่าสตาร์ชมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ ตำแหน่งอะไมโลสในเม็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืช โดยบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพกตินกระจายตัวอยู่ในบริเวณอสัณฐาน (amorphous) และบริเวณผลึก (crystalline) เมื่อนำมาทำให้สุกในน้ำร้อนจะเกิด

เจลาติไนเซชัน (gelatinization) และเมื่อทำให้เย็นจะเกิดกระบวนการรีโทรกราเดชัน (retrogradation) ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลงและข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะหุงขึ้นห่อ (ข้าวสุกมีปริมาตรมาก) (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

2. อะไมโลเปกติน (amylopectin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยโมเลกุล กลูโคสหลาย ๆ โมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นสายด้วยพันธะแอลฟา-1,4 กลูโคซิดิก (α -1,4 glucosidic) และมีส่วนที่แตกกิ่งก้านเชื่อมกันด้วยพันธะแอลฟา-1,6 กลูโคซิดิก (α -1,6 glucosidic) อะไมโลเปกตินจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าอะไมโลสประมาณ 1,000 เท่าและมีอัตราการคืนตัว หรือการเกิดรีโทรกราเดชันต่ำ เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้าน เมื่อขย้อมสีด้วยไอโอดีน จะได้สีน้ำตาลแดง เมื่อทำให้สุกจะค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นานและเป็นส่วนทำให้ข้าวมีความเหนียวและเกาะติดกัน (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

อะไมโลสและอะไมโลเปกตินในสสารข้าวแต่ละพันธุ์มีปริมาณแตกต่างกันทำให้ข้าวสุก มีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น ข้าวพันธุ์ กข 1 จะได้ข้าวสุกที่ แข็งร่วน ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง เช่น ข้าวหอมมะลิจะได้ข้าวสุกที่อ่อนนุ่ม นุ่มรับประทาน (ชาญ, 2536) ในขณะที่ข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอะไมโลสต่ำมาก แต่มีปริมาณ อะไมโลเปกตินสูง จะได้ข้าวสุกที่เหนียวและเกาะกันมาก (ชาญ, 2536)

- ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) เป็นปัจจัยที่จะบ่งชี้ว่า ข้าวสุกจะมีเนื้อสัมผัส แข็งหรือนุ่ม โดยทั่วไปข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะมีความคงตัวของแป้งสุกมาก อย่างไรก็ตามข้าว บางพันธุ์มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน แต่คุณภาพการหุงต้มอาจแตกต่างกันได้ (นฤทัศน์, 2541)

- อุณหภูมิที่แป้งสุก (gelatinization temperature) การเกิดเจลาติไนเซชันของเมล็ดสสารซึ่งมี 3 ระยะ คือ ระยะแรกที่เมล็ดสสารดูดซึมน้ำเย็นได้จำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เมื่อ มีการให้ความร้อนจะเริ่มเข้าสู่ระยะที่สอง โดยเมล็ดสสารจะพองตัวอย่างรวดเร็ว โครงสร้าง ร่างแหภายในเมล็ดสสารอ่อนแอลงเพราะพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดสสารจะดูดซึมน้ำเข้ามา มากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งความหนืดเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็ว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจะเข้าสู่ระยะที่สาม เม็ดสสารจะแตกออกเป็น ส่วน ๆ มี รูปร่างไม่แน่นอน อุณหภูมิที่แป้งสุกจะเกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม (cooking time) โดย อุณหภูมิที่แป้งสุกจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณอะไมโลสและขนาดของเมล็ดสสาร คือ ถ้าปริมาณ อะไมโลสสูงและเมล็ดสสารใหญ่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้แป้งสุกก็จะสูงไปด้วย

- กลิ่นข้าวสุก ข้าวที่สุกใหม่ ๆ จะได้กลิ่นของสารระเหยพวกฟอรัลดีไฮด์ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ กรดอะมิโนที่มีพันธะซัลฟูริลและสารประกอบคาร์บอนิล (นฤทัศน์, 2541)

(3) คุณภาพการขัดสี

เป็นคุณภาพที่บอกให้ทราบว่า เมื่อนำข้าวเปลือกมาขัดสีแล้วจะได้ข้าวเต็มเมล็ดมากน้อยเท่าใด ปริมาณผลผลิตการขัดสีสูงหรือต่ำ โดยข้าวที่มีคุณภาพการขัดสีดี เมื่อนำมาขัดสีแล้วควรให้ข้าวที่เต็มเมล็ดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของผลผลิตที่ได้ทั้งหมด (นฤศันส์, 2541)

(4) คุณภาพทางโภชนาการ

องค์ประกอบที่สำคัญและมีปริมาณมากอยู่ในเมล็ดข้าวได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันและอื่น ๆ ตามลำดับ

- คาร์โบไฮเดรต แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ สตาร์ช (starch) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เซลลูโลส (cellulose) และน้ำตาล (sugars) (เพลงพิน, 2541) ข้าวสารมีสตาร์ชอยู่ร้อยละ 90 น้ำตาลพบในส่วนของคัพภะร้อยละ 20.7 และพบในรำข้าวร้อยละ 6.4-6.5 น้ำตาลที่สำคัญ คือ ซูโครสและน้ำตาลรีดิคซ์ที่พบมาก คือ กลูโคสและฟรุคโทส ส่วนเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งอยู่ในรูปของเส้นใย จะพบในแกลบที่ได้จากการขัดสีร้อยละ 40.1-53.4 และพบในรำหยาบ ร้อยละ 9.5 -13.2 (นฤศันส์, 2541)

- โปรตีน เป็นสารอาหารที่มีมากรองมาจากคาร์โบไฮเดรต (อรอนงค์, 2532) พบมากในส่วนของเอมบริโอ โปรตีนที่พบแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ กลูเตลิน (glutelin) แอลบูมิน (albumin) โกลบูลิน (globulin) และโพรลามิน (prolamin) โปรตีนในเมล็ดข้าวจะประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายหลายชนิด เช่น ลิวซีน (leucine) วาลีน (valine) ไลซีน (lysine) ฯลฯ (นฤศันส์, 2541)

- ไขมันเป็นองค์ประกอบที่พบมากในเอมบริโอหรือคัพภะ รำหยาบและรำละเอียด (นฤศันส์, 2541) โดยไขมันที่สกัดได้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ไขมันที่สกัดจากสตาร์ช (starch lipids) และไขมันที่ไม่ใช่มาจากสตาร์ช (nonstarch lipids) (อรอนงค์, 2532) ไขมันส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมัน (fatty acid) ได้แก่ กรดพาลมิติก (palmitic acid) กรดโอเลนิค (oleic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) (นฤศันส์, 2541) ไขมันในข้าวสารจะพบอยู่ประมาณร้อยละ 1.5-1.7 (เพลงพิน, 2541) ปริมาณไขมันโดยรวมของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวไม่แตกต่างกัน (อรอนงค์, 2532)

- วิตามิน ส่วนของรำหยาบ รำละเอียดและเอมบริโอจะมีวิตามินบี 1 บี 2 และไนอะซิน ซึ่งช่วยในการควบคุมเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ในร่างกาย นอกจากนี้ยังพบวิตามินอีซึ่งช่วยป้องกันการเหม็นหืนด้วย (นฤศันส์, 2541)

- เกลือแร่ เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในการทดลอง รองลงมาคือรำหยาบ คัฟกะและรำละเอียด แร่ธาตุที่พบมากที่สุดคือฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แมกนีเซียมและแคลเซียม (นฤพันธุ์, 2541)

2.1.5 การใช้ประโยชน์จากข้าว

ข้าวเป็นธัญพืชที่อยู่คู่กับมนุษย์มานาน ประโยชน์ที่ได้รับจากข้าว นอกจากจะใช้เมล็ดเพื่อบริโภคโดยตรงแล้ว ผลพลอยได้จากข้าวและส่วนต่าง ๆ ยังนำไปใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่เปลือกข้าวหรือแกลบจนถึงฟางข้าว (อัจฉรา และคณะ, 2540) เช่น รำข้าวนำไปเลี้ยงสัตว์และสกัดเป็นน้ำมันรำเพื่อใช้ในส่วนผสมของสบู่น้ำมันและเครื่องสำอาง ปลายข้าวใช้เป็นอาหารสัตว์และปรุงอาหารแกลบใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนฟางนำไปใช้ประโยชน์ด้านเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น เลี้ยงสัตว์ทำปุ๋ย เพาะเห็ด (อัจฉรา และคณะ, 2540) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากข้าวยังสามารถนำมาผลิตเป็นอาหารแปรรูปได้หลายชนิด (นฤพันธุ์, 2541) ดังรูปที่ 2

2.1.6 ข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิเป็นชื่อที่ผู้ประกอบการค้าข้าวและผู้บริโภคนิยมเรียก โดยเพี้ยนมาจากข้าวดอกมะลิ ข้าวพันธุ์นี้จัดอยู่ในประเภทข้าวเจ้าขาวเพราะข้าวเปลือกมีสีอ่อนหรือสีฟางและมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นใบเตย (เพลงพิน, 2541) ลักษณะที่สำคัญคือ เมล็ดข้าวเรียวยาว ขาว ใส เป็นเงา และมีท้องไข่น้อย ปลายเมล็ดโค้งเล็กน้อย มีจมูกข้าวเล็ก ความยาวของเมล็ดข้าวกล้องประมาณ 7.5 มิลลิเมตร (อัจฉรา และคณะ, 2540) เมื่อหุงสุกจะได้ข้าวที่มีความนุ่มมัน อ่อนนุ่มและมีกลิ่นหอมกว่าข้าวเจ้าทั่วไป (เพลงพิน, 2541) ถ้าเป็นข้าวที่เก็บใหม่ ๆ แม้เป็นข้าวสารก็มีกลิ่นหอม โดยข้าวใหม่มีกลิ่นหอมแรงกว่าข้าวเก่า แต่ร่วนน้อยกว่าเมื่อหุงสุก (พัชรี, 2537)

ข้าวหอมมะลิเป็นพันธุ์ข้าวที่มีความไวต่อช่วงแสง คือ พันธุ์ข้าวจะออกดอกในวันที่กลางคืนยาวกว่ากลางวัน โดยจะออกดอกในช่วงวันที่ 20-25 ตุลาคม เป็นข้าวนาปี ความสูงของต้นประมาณ 140-150 เซนติเมตร แดกกอดีปานกลาง ลำต้นและใบค่อนข้างเล็ก ใบมีสีเขียวอ่อน (อัจฉรา และคณะ, 2540)

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวหอมมะลิจจะมีโปรตีนประมาณร้อยละ 5.4 ไขมันร้อยละ 1 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 81.5 เนื้อเยื่อร้อยละ 0.1 เถ้าร้อยละ 0.3 โดยข้าว 100 กรัมจะให้พลังงาน 357 แคลอรี วิตามินบี 1 ประมาณ 0.18 มิลลิกรัม บี 2 ประมาณ 0.27 มิลลิกรัมและไนอะซิน 1.2 มิลลิกรัม ธาตุเหล็ก 0.6 มิลลิกรัม แคลเซียม 27 มิลลิกรัมและโปแตสเซียม 74 มิลลิกรัม (ชาญ, 2536)

ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูกมี 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15 ซึ่งข้าว กข 15 คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่นำไปอาบรังสีแกมมาเพื่อทำให้ได้ผลผลิตสูงกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ประมาณร้อยละ 4-6 ข้าวทั้งสองพันธุ์นี้มีระยะการพักตัวประมาณ 8 สัปดาห์ ปลูกได้ในนาดอนทั่วไป ทนแล้ง ดินเปรี้ยว ดินเค็ม ต้านทานโรคไส้เดือนฝอยรากปม ไม่ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและหนอนกอ (อัจฉราและคณะ, 2540)

สำหรับตลาดต่างประเทศของข้าวหอมมะลिर้อยละ 100 ที่ประเทศไทยส่งไปจำหน่ายยังกลุ่มประเทศต่าง ๆ ในตลาดโลกพบว่า ประเทศในภูมิภาคเอเชียมีการนำเข้าข้าวในปริมาณที่สูงกว่ากลุ่มประเทศอื่น รองลงมาคือทวีปอเมริกาและตะวันออกกลาง โดยประเทศที่นำเข้าข้าวหอมมะลิมากที่สุดคือ จีน ฮองกง สิงคโปร์และสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ (อัจฉราและคณะ, 2540) จากความต้องการของตลาดโลกนี้แสดงให้เห็นว่า ข้าวหอมมะลิของไทยมีศักยภาพสูงในด้านการแข่งขันในตลาดโลก

2.2 การเปลี่ยนแปลงขณะเก็บรักษาเมล็ดข้าว

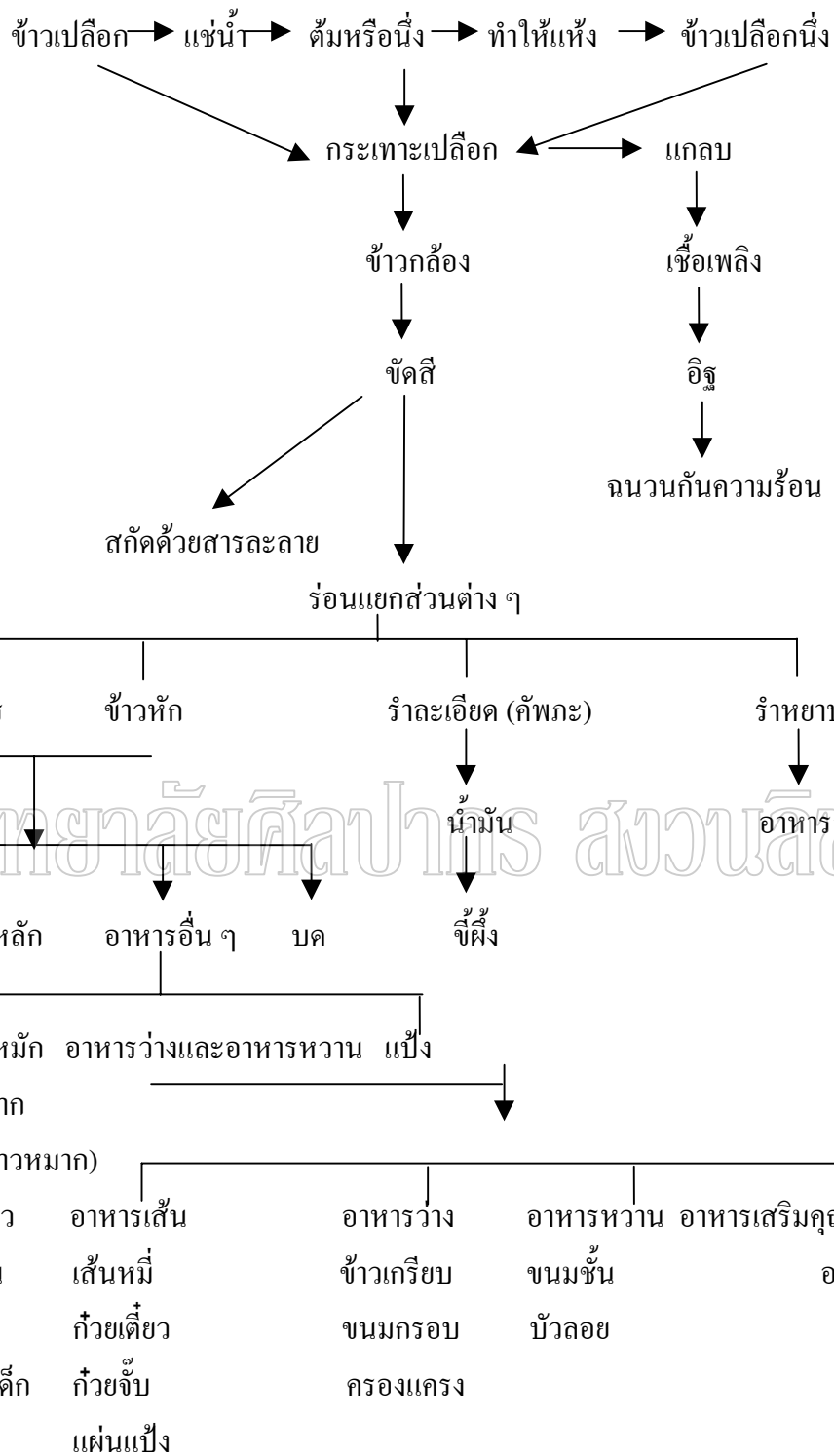
เมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพหลังการเก็บเกี่ยว ในระหว่างการเก็บรักษานี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของเมล็ดข้าว การเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นกับสายพันธุ์ของข้าว สภาพแวดล้อมที่เพาะปลูก การเก็บเกี่ยว อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวได้แตกต่างกัน

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา มีดังนี้

- ความชื้นในเมล็ดข้าว ข้าวที่มีค่าความชื้นสูงเหมาะแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา เช่น *Fusarium* sp. ทำให้เกิดเมล็ดสีเหลือง *Curvalaria* sp. ทำให้เกิดสีดำ เป็นต้น (ภัทรพร, 2540) จุลินทรีย์ที่เจริญอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นควรเก็บรักษาเมล็ดข้าวที่ความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 (อัจฉรา และคณะ, 2540)

- ความชื้นสัมพัทธ์ เนื่องจากข้าวสามารถแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศรอบ ๆ ได้เกิดการถ่ายเทความชื้นของเมล็ดกับบรรยากาศจนกว่าจะเกิดสมดุลของความชื้น หากเก็บเมล็ดข้าวไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้เมล็ดข้าวมีความชื้นสูงไปด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียได้ง่ายขึ้น (ภัทรพร, 2540)



รูปที่ 2 การนำข้าวไปใช้ประโยชน์และผลิตภัณฑ์จากข้าว

ที่มา: อรอนงค์ (2534)

- อุณหภูมิ การเก็บเมล็ดข้าวที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ สีคล้ำขึ้น ข้าวสุกจะแข็งมากขึ้น ความเหนียวลดลง ดังนั้นการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาจะช่วยลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ (ภัทรพร, 2540)

- แสง จะเป็นตัวช่วยเร่งการเปลี่ยนแปลง เช่น เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนได้รวดเร็วขึ้น (Sowbhagya และ Bhattacharyat, 1976)

- บรรยากาศของการเก็บรักษา เช่น การเก็บในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำจะช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ นอกจากนี้การเก็บในก๊าซไนโตรเจนจะช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและพบเชื้อราได้น้อยลง (ภัทรพร, 2540)

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา ความชื้นของข้าวลดลงเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง (เพลงพิน, 2541; ละมุล, 2541) เนื่องจากเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนความชื้นกับอากาศแวดล้อมได้ ทำให้เกิดการถ่ายเทความชื้นจากเมล็ดข้าวสู่บรรยากาศ (ละมุล, 2541) การเก็บรักษาเมล็ดข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิสูง (37 องศาเซลเซียส) ความชื้นของเมล็ดข้าวลดลงมีผลให้เมล็ดข้าวแข็งเพิ่มขึ้นเพราะแรงเกาะกันของไมเซลล์ในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวทนต่อแรงกระแทกได้มากขึ้น จึงแตกหักน้อยลงเมื่อนำมาขัดสี (ละมุล, 2541) การศึกษาการเก็บข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง (37 องศาเซลเซียส) มีผลให้ความชื้นของเมล็ดข้าวต่ำกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (25 องศาเซลเซียส) (เพลงพิน, 2541) ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิในการเก็บรักษาและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (Dhaliwal และคณะ, 1991)

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบข้าวสารเก่าที่เก็บไว้นาน เมื่อวิเคราะห์โดยรวมจะเห็นว่าได้ผลไม่ชัดเจนนัก คือ ปริมาณสตาร์ช ไขมันและโปรตีน มีค่าใกล้เคียงกับข้าวใหม่ (ภัทรพร, 2540; Noomhorm และคณะ, 1997) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวส่วนใหญ่ คือ สตาร์ช ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปริมาณสตาร์ชโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนองค์ประกอบของสตาร์ช คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกันนั้นปรากฏว่า ปริมาณอะไมโลสไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาข้าวสาร (ภัทรพร, 2540; เพลงพิน, 2541) แป้งข้าว (Teo และคณะ, 2000) และข้าวกล้อง (Zhou และคณะ, 2003) ส่วนปริมาณอะไมโลเพกตินพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา

แป้งข้าวเช่นกัน (Teo และคณะ, 2000) แต่จากการศึกษาของ Charstil (1990) พบว่าปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บข้าวเจ้าไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณสตาร์ชไม่เปลี่ยนแปลง การเก็บรักษาข้าวสารพันธุ์ กข 8 กข 23 และข้าวเสาไห้ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณอะไมโลสไม่มีความแตกต่างกันแต่การเก็บรักษาข้าวสารที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณอะไมโลสเพิ่มสูงขึ้น (ลินดา, 2537)

กระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) หรือการสลายตัว (degradation) ของสตาร์ชอาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และนอนรีดิวซ์ โดยเมื่อเก็บรักษาข้าวไว้เป็นเวลานานจะทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ลดลง (Charstil, 1994; Zhou และคณะ, 2002) อย่างไรก็ตามภทรพร (2540) พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวสารไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เนื่องจากการศึกษาในแต่ละงานวิจัยใช้พันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อมการเพาะปลูกและสภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวแตกต่างกันด้วย

ปริมาณโปรตีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงในขณะเก็บรักษาเมล็ดข้าวสารทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว (ภทรพร, 2540; Charstil, 1994; Nookhorm และคณะ, 1997; Zhou และคณะ, 2002)

ปริมาณไขมันที่มีในข้าวส่วนใหญ่อยู่ในรำข้าว พบน้อยในเอนโดสเปิร์ม โดยไขมันในข้าวสารส่วนใหญ่เป็นไขมันที่ไม่ได้มาจากสตาร์ช (nonstarch lipids) ส่วนไขมันที่มาจากสตาร์ช (starch lipids) จะแทรกอยู่กับสตาร์ชร่วมกับอะไมโลส (อรอนงค์, 2532)

ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวสารปริมาณไขมันรวมไม่เปลี่ยนแปลง (ภทรพร, 2540) แต่มีการเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสและออกซิเดชันของไขมัน โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสเอนไซม์ไลเปสจะย่อยพันธะเอสเทอร์ได้กรดไขมันอิสระ ส่วนกระบวนการออกซิเดชันกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide) และเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนิลหลายอย่าง เช่น อะเซทอลดีไฮด์ (acetaldehyde) โพรพานอล (propanal) เพนทานอล (pentanal) และเฮกซานอล (hexanal) การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระและสารประกอบคาร์บอนิลนี้ทำให้เกิดกลิ่นและรสที่ผิดปกติ (off-flavor) (สุภาวดี, 2542; อรอนงค์, 2534) การเก็บข้าวสารที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเกิดกระบวนการออกซิเดชัน (ภทรพร, 2540) ส่วนการเก็บข้าวที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้เพิ่มขึ้น (Meullenet และคณะ, 2000) ในส่วนกิจกรรมของเอนไซม์พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสในข้าวหอมมะลิทั้งข้าวสารและข้าวกล้องมีค่าคงที่ โดยสามารถคงกิจกรรมไว้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง (สุภาวดี, 2542) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในข้าว ส่วนของกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซิจีเนส

(lipoxygenase) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงขณะเก็บรักษาข้าวเปลือก (Dhaliwal และคณะ, 1991) และสามารถทำให้เกิดกลิ่นหืนในข้าวได้เช่นกัน

จากการศึกษาของเพลงพิณ (2541) พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันทั้งหมดในเมล็ดข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 แต่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงมากกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ละมุล, 2541) ข้าวเหนียวเกิดการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระมากกว่าข้าวเจ้า เนื่องจากข้าวเหนียวมีปริมาณไขมันที่ไม่ได้มาจากสตาร์ชในส่วนเนื้อของเมล็ดมากกว่าข้าวเจ้า แต่ไขมันที่แทรกอยู่กับสตาร์ชไม่เกิดกระบวนการออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในขณะที่เก็บรักษา (อรอนงค์, 2534)

วิตามินในเมล็ดข้าวที่สำคัญคือ บี 1 (ไทอะมีน) บี 2 (ไรโบฟลาวิน) และไนอะซิน โดยพบมากในส่วนรำข้าว เมื่อเก็บรักษาข้าวเป็นเวลานานทำให้วิตามินเกิดการสูญเสีย โดยไทอะมีนเกิดการสูญเสียได้เร็วเมื่อเก็บเมล็ดข้าวไว้ที่อุณหภูมิสูงและความชื้นสูง (ภัทรพร, 2540)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเมล็ดข้าวในขณะที่เก็บรักษา โดยเมล็ดข้าวมีการสูญเสียน้ำหนักซึ่งอาจเกิดจากการระเหยของความชื้นในเมล็ดข้าว การสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการหายใจและการระเหยของสารที่ระเหยได้ เช่น กรด แอลกอฮอล์ เป็นต้น (ภัทรพร, 2540) ส่วนของคุณภาพการขัดสี ข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งทนต่อการขัดสี ทำให้ได้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้น มีการสูญเสียความหนืดของข้าวลดลง (Juliano, 1985) โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิสูงจะแข็งแรงและทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ อาจเนื่องจากการเก็บรักษาทำให้ผนังเซลล์ของเอนโดสเปิร์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเพราะองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวยึดเกาะกันแน่นขึ้น เมื่อนำมาขัดสีการเปราะหรือการสูญเสียความหนืดจึงลดลง (เพลงพิณ, 2541)

นอกจากนี้การเก็บรักษาเมล็ดข้าวยังมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี โดยละมุล (2541) พบว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เป็นระยะเวลา 6 เดือนจะทำให้ข้าวมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของภัทรพร (2540) โดยเฉพาะข้าวสารที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีสีเหลืองเพิ่มมากกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยข้าวที่เก็บไว้นานจะมีสีน้ำตาลเกิดขึ้น คือ ถ้าเก็บที่อุณหภูมิสูง (>25 องศาเซลเซียส) ความชื้นสูง (>ร้อยละ 14) และการขัดสีน้อยจะทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ง่ายขึ้น (อรอนงค์, 2532) เช่นเดียวกับ

การทดลองของ Chrastil (1994) ที่พบว่าสีของข้าวที่ขัดสีแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเข้มขึ้นเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเมื่อเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 และ กข 8 ในรูปของข้าวสาร เป็นเวลา 4 เดือน มีการดูดซึมน้ำของข้าวสารไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลง ทำให้ปริมาตรการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (Noomhorm และคณะ, 1997) การดูดซึมน้ำจะสัมพันธ์กับการเกิดเจลลาตินในเซชัน โดยน้ำที่ดูดเข้าไปทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว แต่จากการศึกษาของ Zhou และคณะ (2001) และ Daniels และคณะ (1998) พบว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวไว้ทำให้อัตราการดูดซึมน้ำและการขยายปริมาตรของข้าวสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น (Gujral และ Kumar, 2003) ข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิสูงจะทำให้การดูดซึมน้ำของข้าวเพิ่มขึ้นด้วย (Chrastil, 1994)

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษามีผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการละลายและการเกิดเจลของสตาร์ชและโปรตีนในเมล็ดที่เจริญเต็มที่ให้กลายเป็นสารที่คงตัวขึ้นและไม่ละลายในน้ำมากขึ้น โดยในสตาร์ชเกิดการเพิ่มความแข็งแรงของพันธะที่ยึดโครงสร้างของสตาร์ช ส่วนกรดอะมิโนในโปรตีนที่ละลายในน้ำได้ลดลง มีผลทำให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้น เมื่อนำข้าวสารที่เก็บรักษาได้ระยะเวลาหนึ่งมาหุงต้มพบว่า เมล็ดข้าวดูดซึมน้ำได้มากขึ้นทำให้ปริมาตรของข้าวที่หุงสุกสูงกว่าการหุงข้าวใหม่ (อรอนงค์, 2534) จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษาทำให้ความคงตัวของเจลและความหนืดจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางด้านความหนืดเกิดการเปลี่ยนแปลง โดย Zhou และคณะ (2003) พบว่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นแต่ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มีค่าลดลง ในขณะที่ Sowbhagya และ Bhattacharyat (2001) พบว่าความหนืดสูงสุดมีค่าลดลง ค่าการสูญเสียความหนืด (breakdown) ลดลงอย่างต่อเนื่อง (Zhou และคณะ, 2003) Noomhorm และคณะ (1997) พบว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 นานขึ้นค่าความหนืดสูงสุดมีค่าลดต่ำลงส่วนค่าความหนืดสูงสุดของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 8 ก็มีแนวโน้มลดต่ำลงเล็กน้อย จากรายงานเหล่านี้จะเห็นได้ว่าข้าวสายพันธุ์ต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่แตกต่างกันทั้งในกรณีของข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ละมุล (2541) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวกล้องขาวดอกมะลิเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันพบว่า ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา

ในขณะที่ข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนที่ 1 ที่มีการเก็บรักษาหลังจากนั้นก็ลดต่ำลง แสดงว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาข้าวก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าว โดยค่าความหนืดสูงสุดลดต่ำลงเพราะเมล็ดสตาร์ชของข้าวด้านทานการพองตัวมากกว่าข้าวใหม่ โดยเฉพาะข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิสูง (Zhou และคณะ, 2003) แต่บางรายงานพบว่า ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Dhaliwal และคณะ, 1991; Perdon และคณะ, 1997) แต่การศึกษาของ Charstil (1994) พบว่าค่าความหนืดสูงสุดไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่าการคืนตัว (setback) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (เพลงพิน, 2541; Sowbhagya และ Bhattacharyat, 2001) ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (ละมุล, 2541; Noomhorm และคณะ, 1997) แต่ Daniels และคณะ (1998) พบว่าค่า ความหนืดสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกันเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น (pasting temperature) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว (ละมุล, 2541; Noomhorm และคณะ, 1997) แต่การศึกษาของเพลงพิน (2541) พบว่าระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษาข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 มีผลทำให้อุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มลดลง

คุณภาพการหุงต้มของข้าวก็เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการเก็บรักษาข้าว โดยทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้าวสุก (Perdon และคณะ, 1999) โดยข้าวเก่าจะแข็งกว่าข้าวใหม่ ซึ่งเนื้อสัมผัสของข้าวที่แข็งขึ้นทำให้ค่าการคืนตัวเพิ่มขึ้นและความคงตัวมีค่าน้อยลง (ละมุล, 2541) ระยะเวลาการหุงต้มเพิ่มขึ้น (Charstil, 1994) อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุกเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ภัทรพร, 2540; Daniels และคณะ, 1998) ส่วนปริมาณของแข็งในน้ำข้าว (ความสามารถในการละลาย) ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยข้าวใหม่มีปริมาณของแข็งในน้ำข้าวมากกว่าข้าวเก่า ทำให้แบ่งกระจายตัวในน้ำข้าวมากขึ้น (ภัทรพร, 2540) การเปลี่ยนแปลงดังที่กล่าวมานี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกด้วย (Gujral และ Kumar, 2003)

ในการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการพองตัวและร้อยละการละลายเป็นการบ่งบอกถึงความแข็งแรงของพันธะในเม็ดสตาร์ช โดยค่าการละลายของสตาร์ชไม่แตกต่างกันแต่มีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา (ภัทรพร, 2540) แสดงว่าแรงเกาะกันในเม็ดสตาร์ชมีมากขึ้นทำให้การละลายของสตาร์ชลดลง (Maritaka และ Yasumatsu, 1985) การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (Charstil, 1994; Gujral และ Kumar, 2003) โดยการพองตัวของข้าวเหนียวจะสูงกว่าข้าวเจ้า (Lii และคณะ, 1996) การศึกษาของ Teo และคณะ (2000) พบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างสตาร์ชกับโปรตีนโอไรซีนิน (oryzenin) ในข้าวเป็นปัจจัยหลักของการ

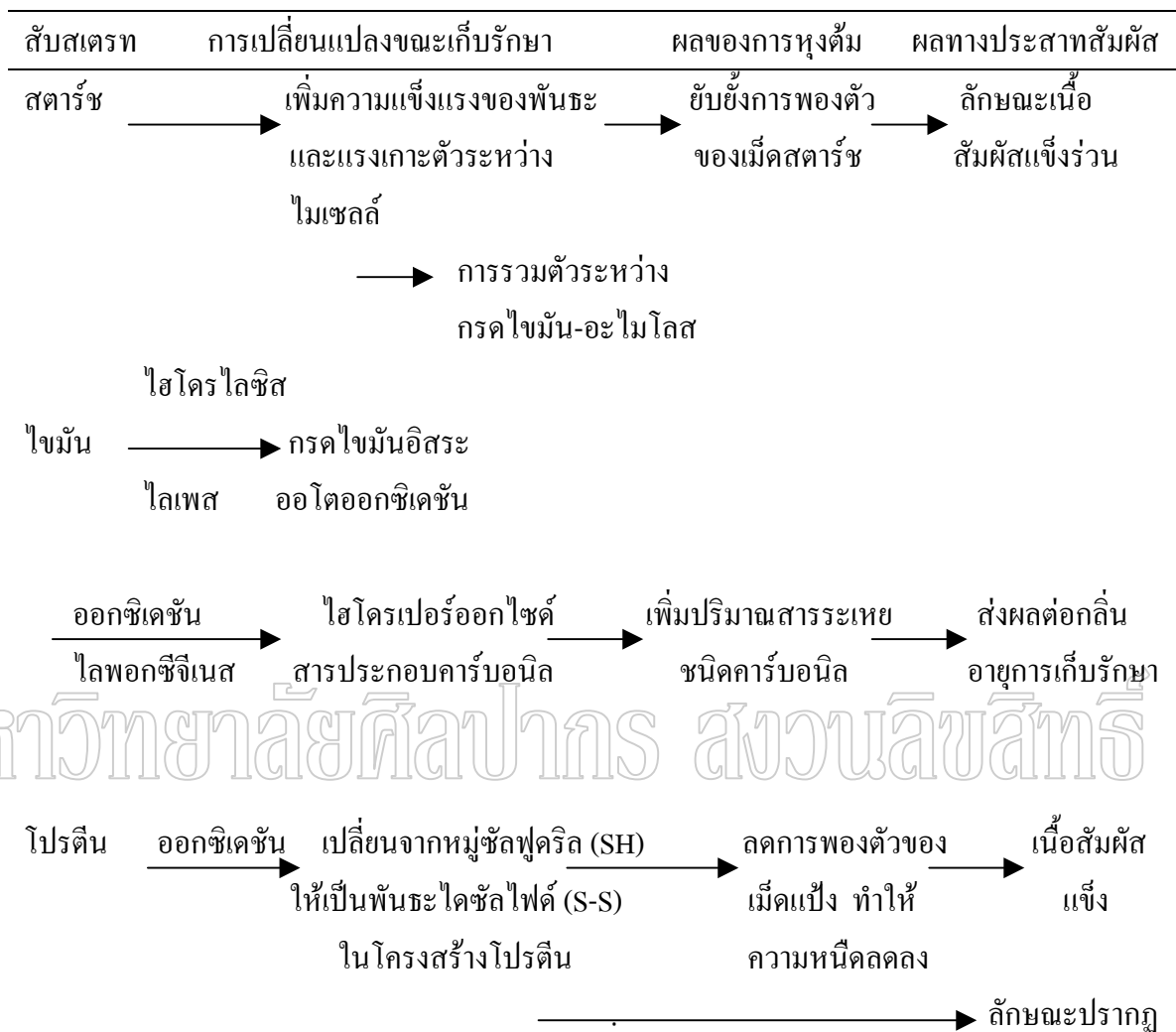
เปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของข้าว ซึ่งปฏิสัมพันธ์นี้มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของสตาร์ชทั้งการพองตัว (swelling) และการละลาย (solubility) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของโอไรซินินและสตาร์ชในระหว่างการเก็บรักษา

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น ลักษณะปรากฏ การเกาะตัว อ่อนนุ่ม ความเลื่อมมัน และกลิ่นรสเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ โดยผู้บริโภคแต่ละคนมีความชอบที่ต่างกัน ข้าวใหม่จะมีลักษณะเหนียวและแฉะง่าย ส่วนข้าวเก่าจะมีลักษณะร่วนและแข็งขึ้น การเกาะตัวของเมล็ดลดลง (Juliano, 1985) การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคบางคน แต่บางคนอาจไม่ต้องการ

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่มีการศึกษามานี้ได้ผลแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของพันธุ์ข้าว ระยะเวลาในการเก็บรักษา อุณหภูมิในการเก็บรักษาและสภาพแวดล้อมก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของข้าวสุกและผลิตภัณฑ์จากข้าว ดังตารางที่ 6 ซึ่งแสดงกลไกของกระบวนการเปลี่ยนแปลงของไขมัน โปรตีนและสตาร์ชในข้าวระหว่างการเก็บรักษา โดยความแข็งแรงของเมล็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้น ทำให้การพองตัวของเมล็ดสตาร์ชลดลง เนื้อสัมผัสจึงแข็งขึ้น ไขมันจะผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปสเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งสามารถรวมตัวกับอะไมโลสยับยั้งการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชทำให้มีผลต่อคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสด้วยเช่นกัน การที่ไขมันถูกไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ไลเปสได้กรดไขมันอิสระ ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในอายุการเก็บรักษาล้นลง เมื่อไขมันถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ไลเปสออกซิเจนทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์และคาร์บอนิลสามารถระเหยทำให้เกิดกลิ่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในโปรตีนเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของพันธะภายในโครงสร้างโปรตีน ซึ่งจะยับยั้งการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชและมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุก การเกิดออกซิเดชันของเพอร์รูลินเอทเทอร์ที่ผนังเซลล์ในระหว่างการเก็บรักษาทำให้เมล็ดข้าวมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งร่วน นอกจากนี้กรดอะมิโนในโปรตีนอาจเกิดปฏิกิริยามเมลลาร์ดทำให้เกิดสีคล้ำซึ่งมีผลต่อลักษณะปรากฏของข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวได้

ตารางที่ 6 กระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวขณะเก็บรักษา



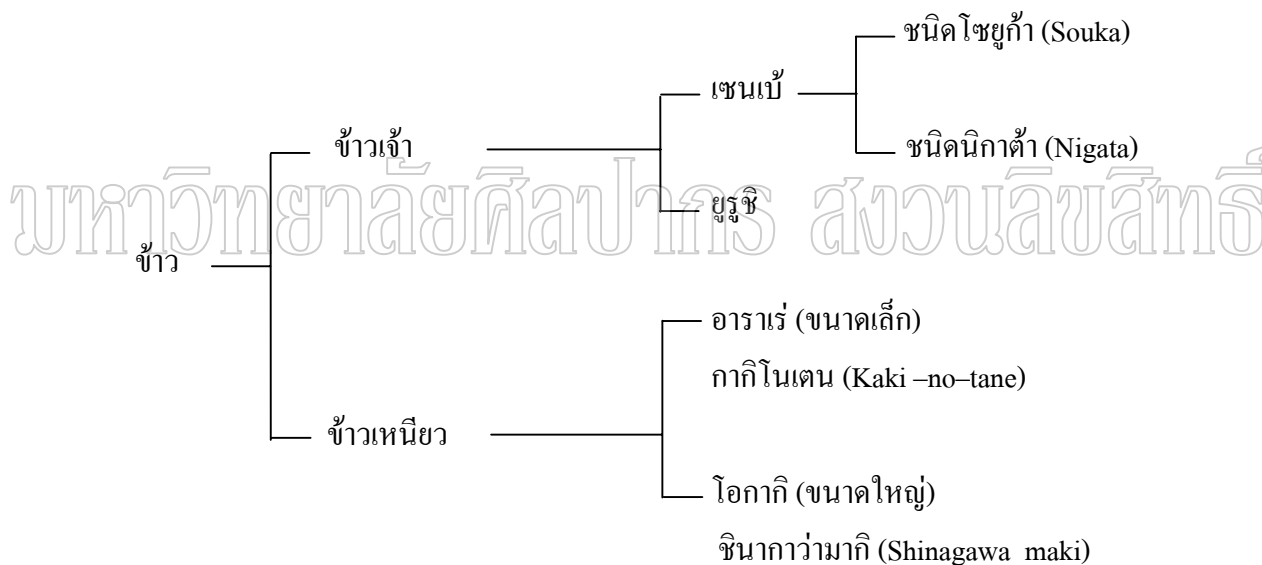
ที่มา: อรอนงค์ (2532)

2.3 ข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers)

ในประเทศญี่ปุ่นขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวเหนียว (Arare) และข้าวเจ้า (Senbei) เป็นขนมขบเคี้ยวที่สำคัญ อัตราส่วนของการบริโภคอาหารเร่: เซนเบ้ คือ 100: 40-45 กลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์นี้แตกต่างจากขนมขบเคี้ยวโดยทั่วไปของประเทศทางตะวันตก ทำให้ผลิตภัณฑ์มีศักยภาพในการแข่งขันและมียอดขายเพิ่มขึ้นทุกปี (Lu และ Luh, 1991)

2.3.1 การจำแนกชนิดของข้าวแผ่นกรอบ

การจำแนกชนิดของขนมอบกรอบแบบญี่ปุ่นจะจำแนกตามวัตถุดิบและขนาดของขนม โดยขนมที่ทำจากข้าวเจ้า คือ เซนเบ้ (Senbei) และยูรุชิ (Uruchi) ส่วนขนมที่ทำจากข้าวเหนียวขนาดเล็ก คือ อารารุ (Arare) ขนาดใหญ่ คือ โอกากิ (Okaki) (Lu และ Luh, 1991) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การจำแนกชนิดของข้าวแผ่นกรอบ

ที่มา: Lu และ Luh (1991)

ข้าวแผ่นกรอบที่ทำจากข้าวเหนียวซึ่งเรียกว่า อารารุและโอกากิ จะมีเนื้อสัมผัสที่มีลักษณะเฉพาะ คือ สามารถละลายได้ง่ายในปาก แต่ข้าวแผ่นกรอบที่ทำจากข้าวเจ้า ซึ่งเรียกว่า เซนเบ้และยูรุชิจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งและหยาบ ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติความพองตัวที่แตกต่างกันของแป้ง ดังตารางที่ 7

2.3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวแผ่นกรอบ

ข้าวเป็นวัตถุดิบหลักที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบจึงควรที่จะเลือกใช้ข้าวเหนียวหรือข้าวเจ้าที่มีคุณภาพข้าวสม่ำเสมอ ทั้งอัตราการดูดซึมน้ำ สิ่งแปลกปลอม กลิ่นและรสชาติ หากมีการใช้แป้งชนิดอื่นมาทดแทนควรพิจารณาเลือกใช้แป้งที่มีอัตราการพองตัวที่ดี สำหรับวัตถุดิบ ๆ ที่ใช้ในการแต่งกลิ่นและรสชาติ คือ ซอสถั่วเหลือง นอกจากนี้ยังมีการใช้สาหร่าย งา พริกไทยป่น น้ำตาลและเครื่องเทศอื่นๆ มาใช้ด้วย สำหรับน้ำมันที่ใช้ทอด ข้าวแผ่นกรอบต้องใช้น้ำมันที่มีคุณภาพดี มีความบริสุทธิ์และมีความคงตัวสูง (Lu และ Luh, 1991)

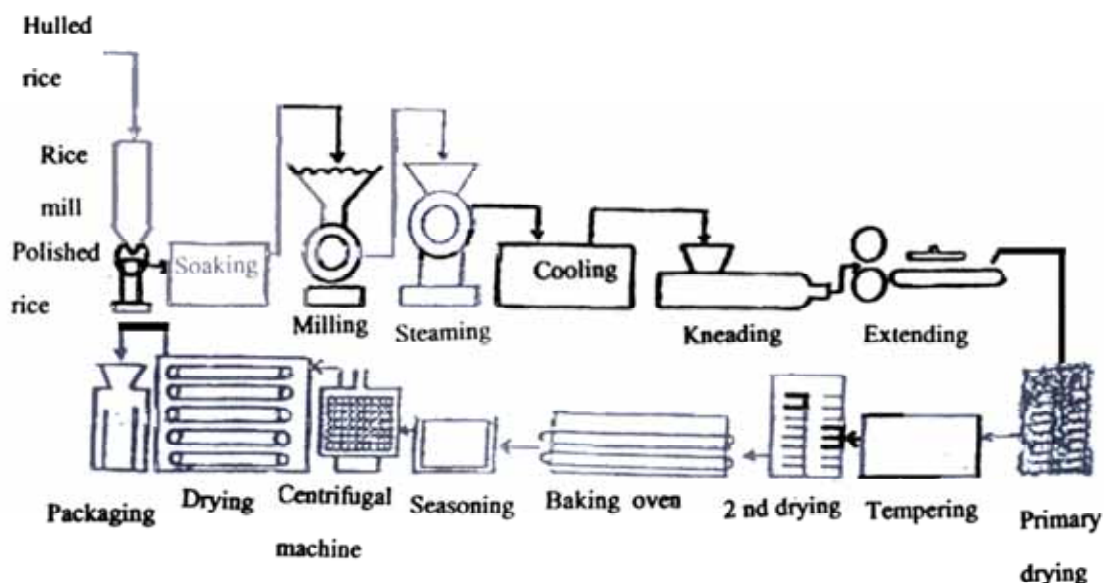
ตารางที่ 7 อัตราการพองตัวของแป้งชนิดต่าง ๆ

แหล่งสตาร์ช	อัตราการพองตัว
ข้าวเหนียว	100.0
ข้าวเจ้า	10.8
มันฝรั่ง	17.0
มันฝรั่งหวาน	15.5
มันสำปะหลัง	10.8
ข้าวโพด	9.2

ที่มา: Lu และ Luh (1991)

2.3.3 กระบวนการผลิตเซนเบ้

เซนเบ้เป็นขนมขบเคี้ยวที่ทำมาจากแป้งข้าวเจ้า โดยมีกระบวนการผลิตดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นการนำข้าวสารมาแช่น้ำ (ความชื้นร้อยละ 20 -30) และนำมาบดให้เป็นผงด้วยลูกโม่ นำแป้งที่ได้ไปอบเข้าสู่การอบไอน้ำเป็นเวลา 5 -10 นาที เพื่อให้เกิดการเจลาติไนซ์แล้วนำไปจุ่มลงในน้ำเย็นเพื่อลดความเหนียวลง ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 60 -65 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้เป็นโดแล้ว ม้วนโดนี้ ตัดเป็นรูปร่างของเซนเบ้ตามแม่พิมพ์ แล้วทำให้แห้งด้วยลมร้อน 70 -75 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 10 - 12 เมื่อโดแห้งแล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 200 - 260 องศาเซลเซียส แล้วเคลือบผิวเซนเบ้ด้วยเครื่องปรุงรส (ใช้ซอสถั่วเหลือง) อาจมีการใส่เมล็ดงาสาหร่าย ถั่ว ชีส พริกไทย ปรุงแต่งลงไปได้ตามต้องการ



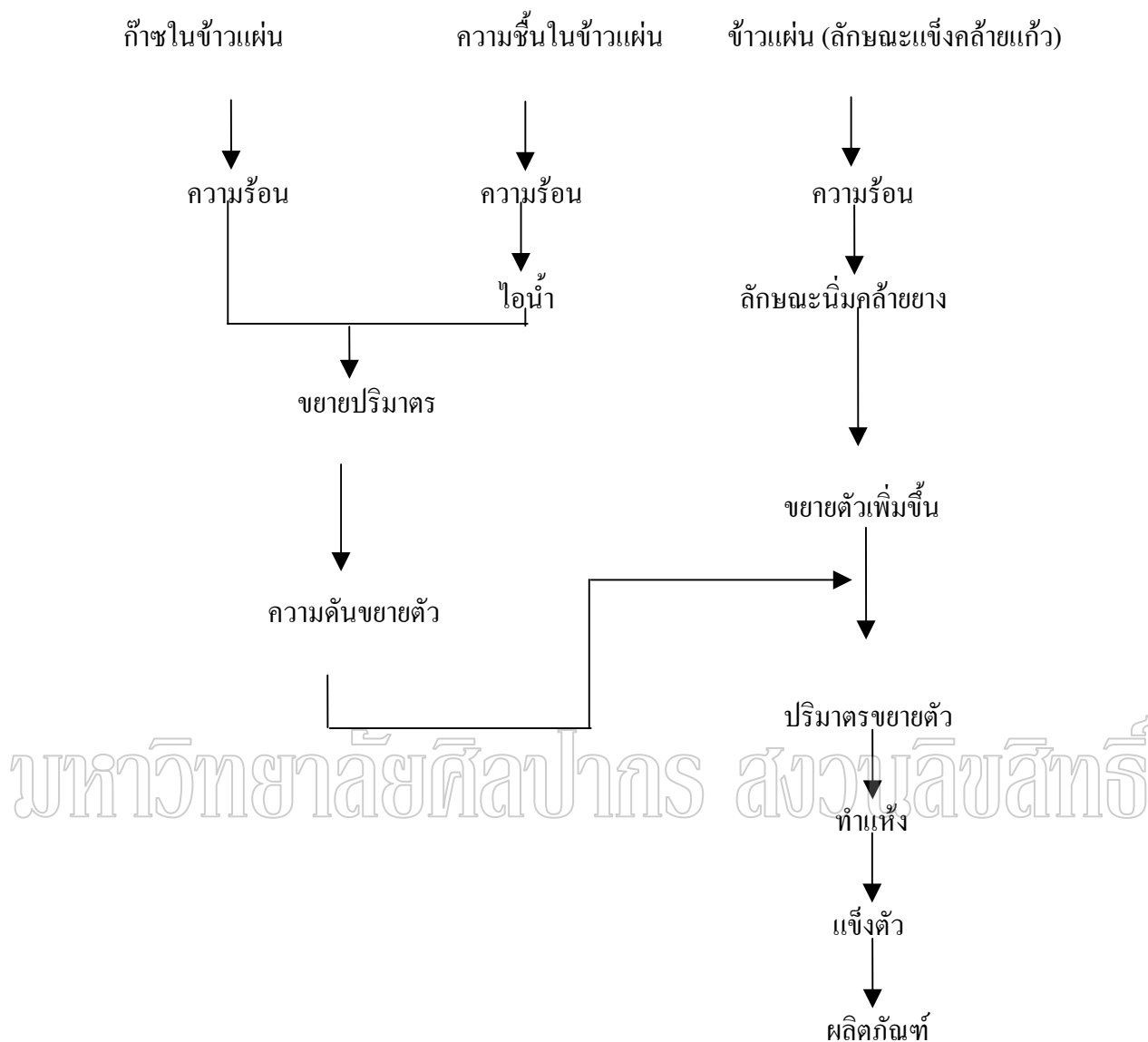
รูปที่ 4 กระบวนการผลิตเซนเบ้

ที่มา: Juliano (1985)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.3.4 การพองตัวของข้าวแผ่น

กลไกการพองตัวของข้าวแผ่นที่อบแห้งแล้วมีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบ การพองตัวจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการอบข้าวแผ่นที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 20 ลักษณะการพองตัวขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของข้าวแผ่นและอุณหภูมิของตู้อบ เมื่อได้รับความร้อนข้าวแผ่นที่มีลักษณะแข็งคล้ายแก้ว (glasslike) จะนิ่มขึ้นที่ละน้อยจนมีลักษณะคล้ายยาง (rubber state) ขยายขนาดใหญ่ขึ้น ความชื้นลดลงและแข็งตัวเกิดเป็นรูปร่างใหม่ การขยายขนาดเป็นผลจากความดันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณไอน้ำที่อุณหภูมิสูง การที่ข้าวแผ่นก่อนอบมีลักษณะแข็งทำให้ความชื้นจะถูกปิดกั้นอยู่ด้านใน ผิวของเนื้อข้าวแผ่นเสมือนเป็นเปลือกหุ้มอยู่ เมื่อให้ความร้อนถึง 100 องศาเซลเซียส ความชื้นข้างในจะระเหย แต่ถูกปิดกั้น จึงเกิดแรงดันไอน้ำทำให้เกิดการขยายตัวอย่างแรงและต่อเนื่องจนกระทั่งความดันไอและการขยายขนาดสมดุล ข้าวแผ่นมีความชื้นลดลงและแข็งตัวขึ้นกลายเป็นข้าวแผ่นกรอบ (รูปที่ 5) ดังนั้นการขยายตัวของข้าวแผ่นจึงถูกควบคุมด้วยการเกิดไอของความชื้นและสถานะทางกายภาพของข้าวแผ่น (Lu และ Luh, 1991)



รูปที่ 5 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบ

ที่มา: Lu และ Luh (1991)

2.3.5 สภาวะในการอบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การขยายตัวของข้าวแผ่นแสดงได้ด้วยการวัดปริมาตรของข้าวแผ่นก่อนและหลังอบหรือวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการอบ เมื่ออบข้าวแผ่นในเตาอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ปริมาตรของผลิตภัณฑ์จะลดลง เมื่อปริมาณข้าวแผ่นที่อบมากขึ้นตามตารางที่ 8 ส่วนรูปที่ 6 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการอบข้าวแผ่นปริมาณต่าง ๆ ที่

อุณหภูมิในช่วง 145 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณข้าวแผ่นที่อบยิ่งมากขึ้น อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ยิ่งช้าลง ทำให้ปริมาตรลดลง จึงกล่าวได้ว่าการพองตัวของข้าวแผ่นไม่ได้เกิดจากปริมาณของ แรงดันไอน้ำที่มาจากความชื้นในข้าวแผ่น แต่เกิดจากอัตราเร็วของการเกิดแรงดันไอ ซึ่งหากเกิด ได้ช้าจะทำให้การพองตัวลดลง

การผลิตข้าวแผ่นกรอบให้ได้มีคุณภาพดีนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ข้าว อุณหภูมิ ในการให้แก่ข้าว ในส่วนของข้าวที่เป็นวัตถุดิบสำคัญนั้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดความแปรปรวนต่อ คุณภาพ เช่น พื้นที่ปลูกและอายุการเก็บข้าว ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพ (physicochemical) ของข้าว ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของข้าวแผ่นกรอบด้วย

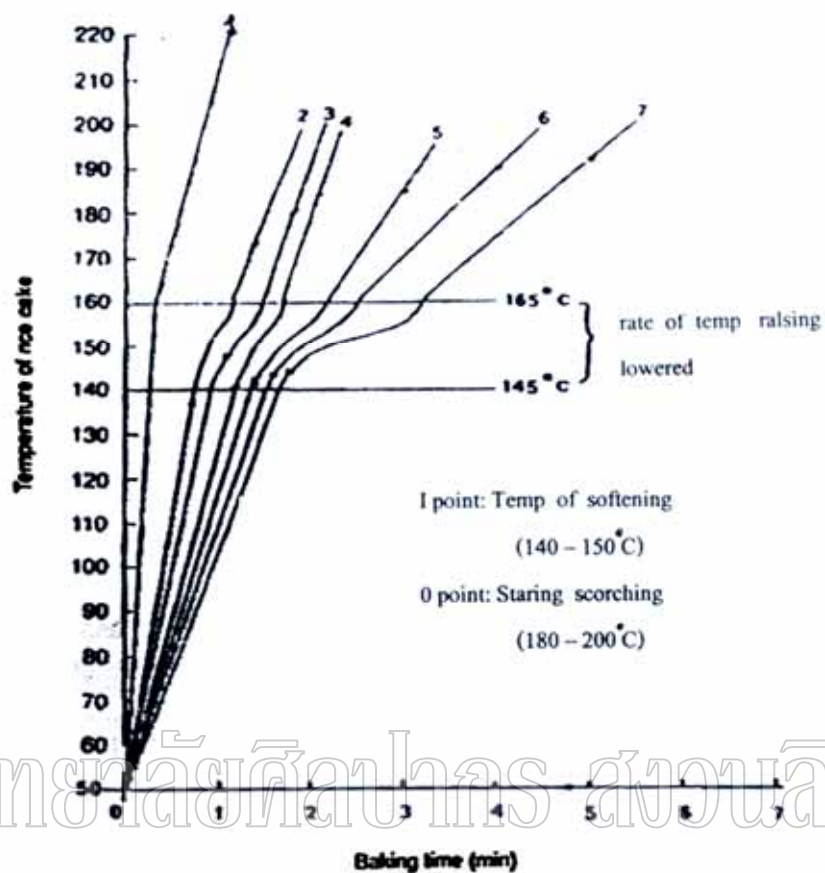
ตารางที่ 8 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบที่ได้จากการอบข้าวแผ่นในปริมาณต่าง ๆ กัน

จำนวนการอบ (kg)	ปริมาตรผลิตภัณฑ์ (ml/g)	ความแข็ง (kg)	รูปทรงของผลิตภัณฑ์	
			ยูกิโมโน (Ukimono) ^a	ชิมาริโมโน (Shimarimono) ^b
3.00	2.44	0.73	3	97
2.00	2.59	0.58	7	93
1.50	2.98	0.81	21	79
1.00	3.45	0.58	84	16
0.75	3.87	0.34	100	0
0.50	4.04	0.38	100	0

ที่มา: Lu และ Luh (1991)

หมายเหตุ: ^a ยูกิโมโน (Ukimono): เหมือนกับอาราเร่ (ผลิตภัณฑ์ขยายตัวอย่างอิสระ)

^b ชิมาริโมโน (Shimarimono): เหมือนกับกากิโนเดน (ผลิตภัณฑ์ขยายตัวอย่างจำกัด)



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการอบข้าวแผ่นในปริมาณต่าง ๆ กัน

ที่มา: Lu และ Luh (1991)

หมายเหตุ: (1) ความนุ่ม (2) 0.5 กิโลกรัม (3) 0.75 กิโลกรัม (4) 1.0 กิโลกรัม (5) 1.5 กิโลกรัม

(6) 2.0 กิโลกรัม (7) 3.0 กิโลกรัม

บทที่ 3

วัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

นำข้าวเปลือกหอมมะลิที่เพิ่งได้จากการเก็บเกี่ยวมาเริ่มเก็บรักษาไว้ในกระสอบป่าน เมื่อวันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2546

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือ

- เครื่องสีข้าว (K-1, Thailand)
- เครื่องโม่บดแบบค้อน (hammer mill, Retsch, GmbH 5657 HAAN, Germany)

ตะแกรงเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 และ 1.00 มิลลิเมตร

- พัดลม (Super Jumbo electric fan 16, Thailand)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก (Sartorius, BP 3100S, Germany)
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (Hettich Zentrifugen, Universal 16/16R, Germany)
- ตู้แช่เย็น (Samchai, Thailand)
- ตู้อบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิได้ (hot-air oven, WTB binder, Germany)
- โถดูดความชื้น
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath, SS-30, England)
- แท่นให้ความร้อนพร้อมระบบกวนด้วยแม่เหล็ก
- เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser, RVA, Newport

Scientific, Model RVA-4, Australia)

- เครื่องวัดสี (colorimeter, Color-view™ spectrophotometer, Model 9000, USA.)

- เครื่องย่อยโปรตีน (digestion block, Gerhardt Kjeldatherm, Type TR, Germany)
- ชุดวิเคราะห์โปรตีน (distillation unit, Gerhardt, VAP 33, Germany)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer, Model G10 Series, USA.)
- ตู้คลื่น
- เครื่องเขย่า (shaker, Gerhardt, LS 2/5 RO 2/5, Germany)
- เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน (Diferencial Scanning Calorimeter, DSC, Pyris 1, USA.) พร้อมเครื่องชั่งแบบละเอียด
- เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, Model TA-XT2I, Tex Tech Corp, USA.) พร้อมหัววัดเนื้อสัมผัส (base set with Warner Brazer probe)
- เครื่องนวดสองแขน (two-arm mixer, King Machines, Thailand)
- เครื่องรีดโค (roller, OFM FP-2, Thailand)
- เตาแก๊ส
- ไมโครมิเตอร์
- เวอร์เนียสคาลิเปอร์ (Vernier caliper)

3.2.2 เครื่องแก้ว

- ขวดเคดดาห์ล (Kjeldahl flasks)
- บีกเกอร์
- ปีเปต
- บิวเรต
- ขวดแก้วรูปลูกชมพู่
- หลอดทดลอง
- ขวดวัดปริมาตร
- กระจกตวง
- เม็ดแก้วกันกระแทก (glass beads)
- หลอดวัดค่าการดูดกลืนแสง
- หลอดเหวี่ยง
- กรวยกรอง

3.2.3 อุปกรณ์

- เทอร์โมมิเตอร์
- แท่งแม่เหล็กกวน (magnetic bar)
- ขวดน้ำกลั่น
- กระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 42 และ 50
- จุกยาง
- ภาชนะอะลูมิเนียมมีฝา
- ถ้วยอะลูมิเนียม
- ริงถึง
- ผ้าขาวบาง
- ไม้พาย
- พิมพ์กด (mold) รูปวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตร
- ตะแกรงสแตนเลส ขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร
- อุปกรณ์สำหรับทดสอบทางประสาทสัมผัส
- แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส
- ไม้บรรทัด

3.3 สารเคมี

3.3.1 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- โปแตสเซียมซัลเฟต
- คอปเปอร์ซัลเฟต
- โซเดียมคลอไรด์
- กรดบอริก
- เมทิลเรด
- กรดซัลฟูริก
- กรดไฮโดรคลอริก
- ไดโซเดียมเตตระโบเรตเดคะไฮเดรต

3.3.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

- เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดกลูเซอิคอะซีติก
- ไอโอดีน
- โปแตสเซียมไอโอไดด์
- โปแตสเซียมโมลิบเดต

3.3.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์

- กรดไดไนโตรซาลิไซลิก (dinitrosalicylic acid, DNS)
- กลูโคสมาตรฐาน

3.3.4 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณทีบีเอ (thiobarbitulic acid, TBA)

- กรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซีติก (ethylene diamine tetra acetic, EDTA)
- บิวไทเลตไฮดรอกซีแอลโนลีน (butylated hydroxyalcohol, BHA)
- โพรพิลีนไกลคอล (propyleneglycol, PG)
- บิวไทเลตไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene, BHT)
- ทวิน 20 (tween 20)
- กรดไทโอบาร์บิตูริก (thiobarbitulic acid, TBA)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดไตรคลอโรอะซีติก (trichloroacetic acid, TCA)
- กรดไฮโดรคลอริก
- คลอโรฟอร์ม
- ก๊าซไนโตรเจน

3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

นำข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งเป็นข้าวเปลือกใหม่ที่เก็บเกี่ยวประมาณเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 มาคลุกผสมให้กระจายตัวเข้ากัน แล้วนำมาแบ่งแยกเป็นส่วน ๆ บรรจุในกระสอบป่าน (ขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร) กระสอบละประมาณ 18 กิโลกรัม วางไว้กับพื้น

ห้องโดยไม่ซ้อนทับกัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน โดยในแต่ละเดือน จะสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกมาศึกษาดำเนินการดังต่อไปนี้

3.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสาร

สุ่มข้าวเปลือกหอมมะลิในกระสอบป่านมาขัดสีด้วยเครื่องสีข้าว (K-1, Thailand) แล้วทำความสะอาดโดยใช้พัดลมเป่าเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากข้าวสาร นำข้าวสารที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพดังนี้

3.4.1.1 ปริมาณความชื้น

ตามวิธีของ AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.1.2 ปริมาณการดูดซึมน้ำ (water uptake)

ตามวิธีของ Noomhorm และคณะ (1997) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.1.3 คุณภาพการหุงต้ม (cooking quality)

ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Daniels และคณะ (1998) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าว

นำข้าวสารจากข้อ 3.4.1 มาบดโดยใช้เครื่องมือบดแบบค้อน (hammer mill, Retsch, GmbH 5657 HAAN, Germany) ซึ่งมีตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร แล้วนำแป้งที่ไม่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพดังนี้

3.4.2.1 ปริมาณความชื้น

ตามวิธีของ AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2.2 ปริมาณโปรตีน

ตามวิธีของ AOAC (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2.3 ปริมาณอะไมโลส

ตามวิธีของ Juliano (1985) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Pearson (1970) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2.5 ค่าทีบีเอ (thiobarbituric acid number, TBA No.)

ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Wood และ Aurand (1977) และ ลินดา (2537) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2.6 ค่าสี

นำตัวอย่างแบ่งวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter, Color-view™ spectrophotometer, Model 9000, USA.) โดยใช้ D65 10° เป็นสิ่งให้ความสว่าง (illuminant) เพื่อหาค่าความสว่าง (L^*) และความเข้มของสี ($a^{*2} + b^{*2}$) โดยใช้อุปกรณ์เทียบมาตรฐาน (black and white reference) ในการเทียบมาตรฐานค่าสี ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.4.2.7 กำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (degree of solubility)

ตามวิธีของ กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2.8 พฤติกรรมการให้ความหนืด

ตามวิธีของ กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.2.9 การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน

ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543) และ Baker และคณะ (1998) ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบ

การผลิตข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers) โดยเริ่มจากการนำข้าวสารของข้าวหอมมะลิที่ผ่านการเก็บรักษาในรูปของข้าวเปลือก เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน มาบดด้วยเครื่องโม่บดแบบค้อน (hammer mill, Retsch GmbH 5657 HAAN, Germany) โดยใช้ตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 มิลลิเมตร นำแป้งไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ชั่งน้ำหนักแป้งข้าวเจ้า 2.5 กิโลกรัมและคำนวณปริมาณน้ำที่เติมลงไป เพื่อให้ได้ความชื้นของโดหลังจากการผสมประมาณร้อยละ 28-30

โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปนึ่งในรังถึง โดยกลับโคหลังจาก 30 นาทีแรก หลังจากนั้นกลับทุก ๆ 15 นาที จนครบ 90 นาที เพื่อให้แป้งสุกทั่วกัน เมื่อครบเวลาแล้ว นำโคซึ่งมีความชื้นประมาณ ร้อยละ 45 มาขนาดด้วยเครื่องนวดสองแขน (two-arm mixer, King Machine, Thailand) เป็นเวลา 10 นาที รีดเป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (roller, OFM FP-2, Thailand) โดยให้มีความหนาประมาณ 1.20-1.40 มิลลิเมตร พักไว้สักครู่เพื่อให้โคคงตัว จากนั้นนำพิมพ์กด (mold) รูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.80 เซนติเมตรกดลงบนแผ่นโคได้เป็นแผ่นกลม นำมาวางบนตะแกรงสแตนเลส นำไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้า (hot-air oven, WTB binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ประมาณ 80 นาที เพื่อให้ได้ข้าวแผ่นอบแห้ง (rice pellets) มีความชื้นประมาณร้อยละ 10-12 โดยน้ำหนัก นำไปปิ้งผ่านเปลวไฟที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส จนพองตัวและมีสีเหลืองอ่อนได้เป็นผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ แผนผังการผลิตข้าวแผ่นกรอบแสดงในภาคผนวก ข ทำการวิเคราะห์ 2 ซ้ำต่อการทดลอง

3.4.3.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส

นำตัวอย่างข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบมาทดสอบวิเคราะห์แรงกด (compression force) ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, Model TA-XT2i, Tex Tech Corp, USA.) โปรแกรมที่ใช้กับเครื่องคือ Texture Expert Version 1.22 (Stable Micro System Ltd.: Registered by Charpa Techcenter) โดยใช้หัววัด (base set with Warner Bratzer probe) นำตัวอย่างวางบนแผ่นอะลูมิเนียม เพื่อให้หัววัดกดลงบนตัวอย่างได้ ทำการวัด 10 ซ้ำต่อตัวอย่าง ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัด คือ ความแข็ง (hardness, N/g) ค่าความเค้นเฉือน (shear stress, N/g mm²) ดังแสดงวิธีคำนวณในภาคผนวก ก

3.4.3.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัว

นำตัวอย่างข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบมา 10 แผ่น ชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาหาปริมาตรด้วยการแทนที่ด้วยทรายละเอียด คำนวณหาค่าความหนาแน่นและอัตราการพองตัวของตัวอย่าง โดยคำนวณค่าความหนาแน่นและอัตราการพองตัว ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4.3.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ใช้ตัวอย่างข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิที่เก็บรักษาในเดือนที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 มาใช้ในการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยใช้การวิเคราะห์แบบเชิงพรรณนา (Quantitative Descriptive Analysis, QDA) โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความแข็ง

ความกรอบ กลิ่นเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหืนและคุณลักษณะโดยรวมของข้าวแผ่นกรอบ โดยให้ผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝน (trained panels) จำนวน 12 คน

3.4.4 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสารและแป้งข้าว ใช้การทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการตรวจสอบด้วยวิธี Least Significance Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SAS Version 8.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. (SAS, 2001)

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสข้าวแผ่นกรอบ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการตรวจสอบด้วยวิธี Least Significance Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SAS Version 8.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. (SAS, 2001)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสาร

4.1.1 ปริมาณความชื้นในข้าวสาร

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในข้าวหอมมะลิระหว่างเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง ปริมาณความชื้นก่อนการเก็บรักษา คือ ร้อยละ 12.75 เมื่อผ่านการเก็บรักษา แล้ว ปริมาณความชื้นของข้าวลดต่ำอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนที่ 2 หลังจากนั้นมีความคงที่จน

สิ้นสุดการเก็บรักษา ปริมาณความชื้นของข้าวในเดือนที่ 2-12 มีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นก่อนการ เก็บรักษา (ดังรูปที่ 7) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางผนวกที่ ค-1) ทั้งนี้เนื่องจาก

เมล็ดข้าวมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนความชื้นกับอากาศแวดล้อมได้ (Copeland และ McDonald, 1985) จึงทำให้ค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศระหว่างการ เก็บรักษา (เพลงพิน, 2541; ละมุล, 2541; Chrastil, 1991; Dhaliwal และคณะ, 1991; Gujral และ Kumar, 2003) การที่ปริมาณความชื้นลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดย ข้าวเปลือกที่เก็บไว้ 12 เดือน มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดนั้นสอดคล้องกับการทดลองของเพลง พิน (2541) ที่ได้เก็บรักษาข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในถุงพลาสติกเป็นระยะเวลา 7 เดือน โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาปริมาณความชื้นของข้าวมีค่าต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน แสดงว่า เมล็ดข้าวได้สูญเสียความชื้นให้กับบรรยากาศในระหว่างการเก็บรักษา

4.1.2 ปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวสาร (water uptake)

การศึกษาปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าว โดยการแช่ข้าวในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำโดยกระบวนการไฮเดรชัน (hydration) ซึ่ง อาจใช้เป็นเกณฑ์ในการแสดงคุณภาพของข้าวได้ จากผลการทดลองการดูดซึมน้ำของข้าวหอม มะลิที่ผ่านการเก็บรักษาในช่วง 0-12 เดือน พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังรูปที่ 8

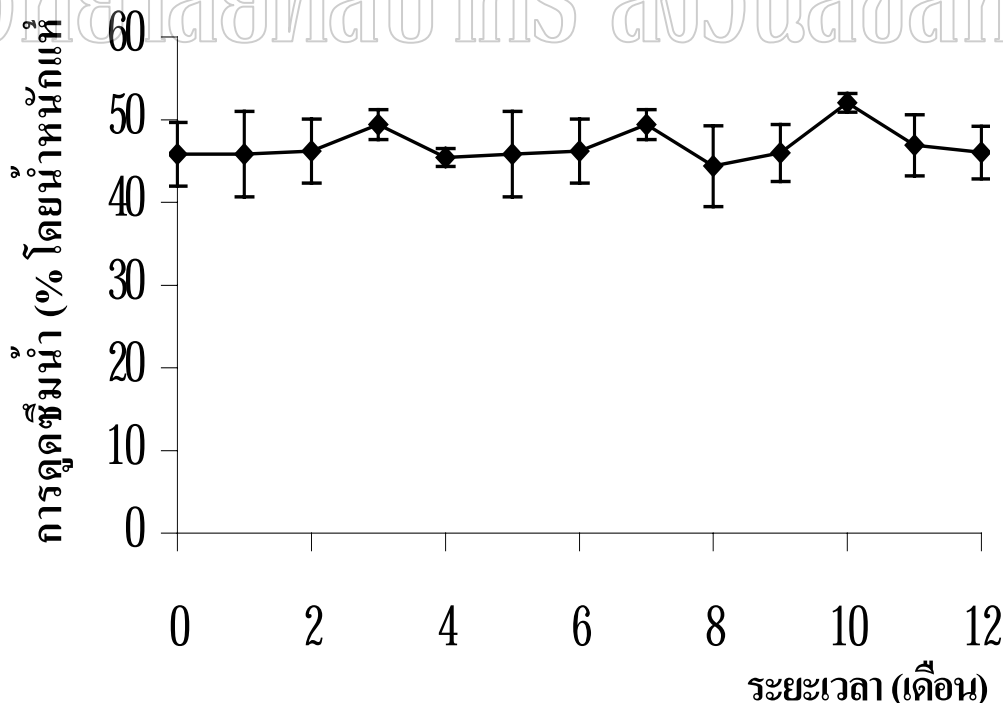
(ตารางผนวกที่ ค-2) การดูดซึมน้ำของข้าวเกิดจากการที่น้ำแพร่เข้าไปในร่างแหไมเซลลูลาร์บริเวณ

อสังฐานได้อย่างอิสระ เม็ดสตาร์ชจึงดูดซึมน้ำไว้ (ชนิพันธ์, 2542) ดังนั้นเมื่อการดูดซึมน้ำของข้าวมีแนวโน้มคงที่ ก็แสดงว่าบริเวณอสังฐานของเม็ดสตาร์ชไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือก

จากการศึกษาของ Sowbhagya และ Bhattacharyat (1971) พบว่าปริมาณการดูดซึมน้ำจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการหุงต้มของข้าว โดยปริมาณการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้การขยายตัวของปริมาตรและน้ำหนักของข้าวสุกเพิ่มขึ้นด้วย แต่ในผลการทดลองนี้พบว่าน้ำหนักของข้าวสุกและปริมาตรของข้าวสุกไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้น บ่งชี้ว่าน้ำหนักและปริมาตรข้าวสุกมีความสัมพันธ์กัน ส่วน Chrastil (1994) พบว่าปริมาณการดูดซึมน้ำจะสัมพันธ์กับค่าร้อยละการละลาย ซึ่งในการทดลองนี้ค่าร้อยละการละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าปริมาณการดูดซึมน้ำ คุณภาพการหุงต้มและค่า

ร้อยละการละลายมีความสัมพันธ์กัน โดยระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



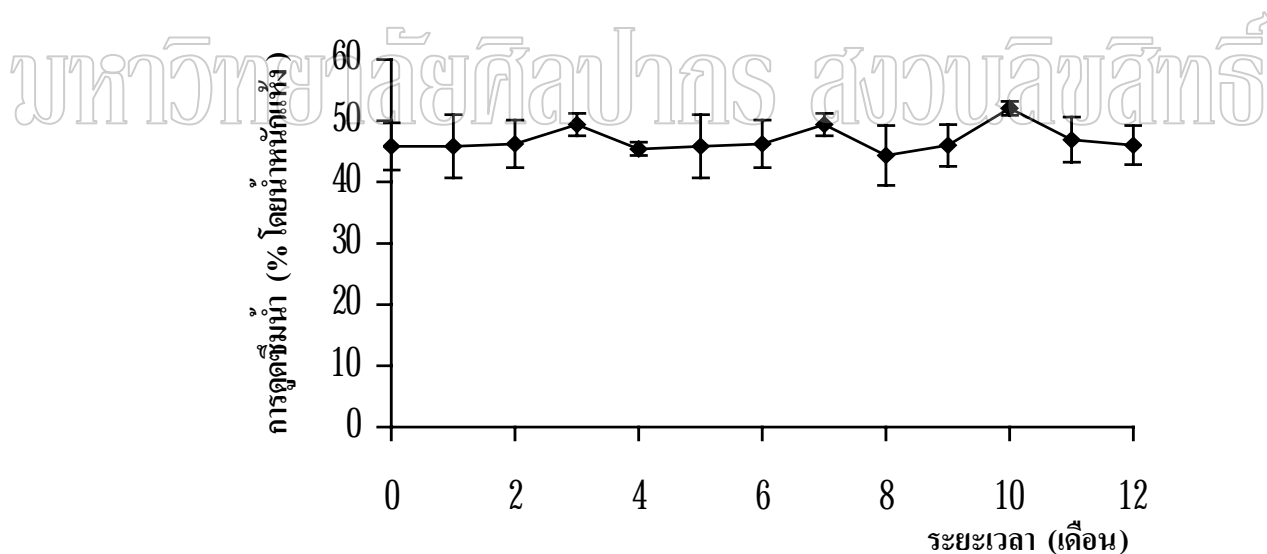
รูปที่ 7 ปริมาณความชื้นของข้าวสาร ข้าวเปลือกหอมมะลิเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

(ข้าวสาร ข้าวเปลือก ความชื้นสัมพัทธ์)

จากการศึกษาของ Daniels และคณะ (1998) กล่าวว่า อัตราการดูดซึมน้ำอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น การเกิดปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต Martin และ Fitzgerald (2002) พบว่า โปรตีนมีผลต่อการดูดซึมน้ำของข้าวก่อนการหุง โดยโปรตีนจะไปขัดขวางการดูดซึมน้ำของข้าว ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนในข้าวระหว่างการเก็บรักษาพบว่าปริมาณโปรตีนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมี

นัยสำคัญ จึงอาจทำให้ไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของข้าวไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญไปด้วย

ผลการทดลองนี้ไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Chrastil (1994) Daniels และคณะ (1998) และ Gujral และ Kumar (2003) ซึ่งพบว่าการดูดซึมน้ำของข้าวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเพราะปัจจัยในการศึกษา คือ พันธุ์ข้าว ลักษณะการเก็บรักษาและสภาพแวดล้อมมีความ



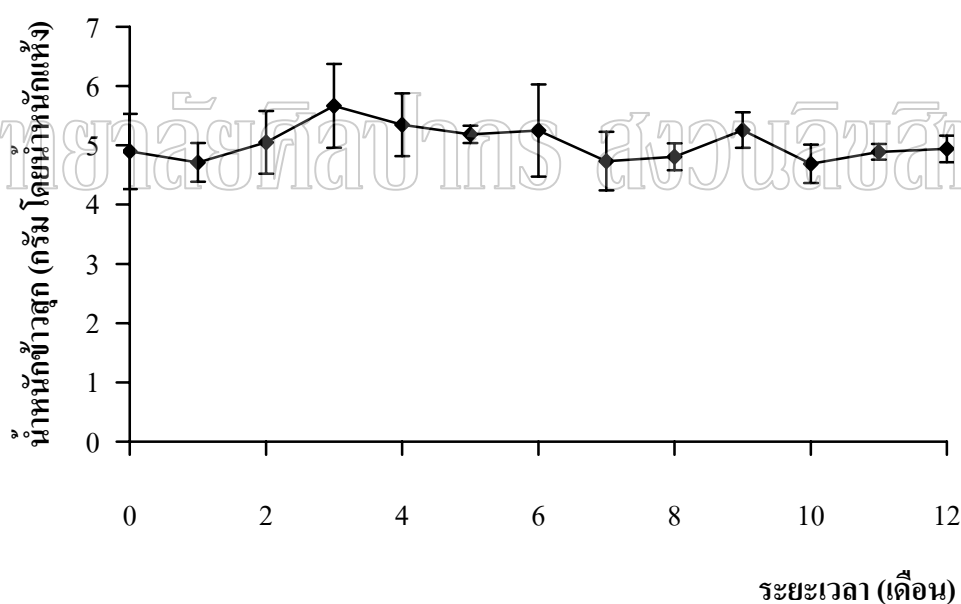
แตกต่างกัน

รูปที่ 8 ปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวสารที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

4.1.3 คุณภาพการหุงต้มของข้าวสาร

การตรวจสอบคุณภาพการหุงต้มประกอบด้วยการวัดน้ำหนักและปริมาตรของข้าวสุกที่ได้จากการหุงต้มข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาในแต่ละเดือน โดยพบว่าทั้งน้ำหนักและปริมาตรของข้าวสุกมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังรูปที่ 9 และ 10 ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังตารางผนวกที่ ค-3 ซึ่งผลการทดลองนี้คล้ายคลึงกับการศึกษาของภัทรพร (2540) ที่พบว่าอัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุกเพิ่มขึ้นในระยะแรกแล้วจึงคงที่

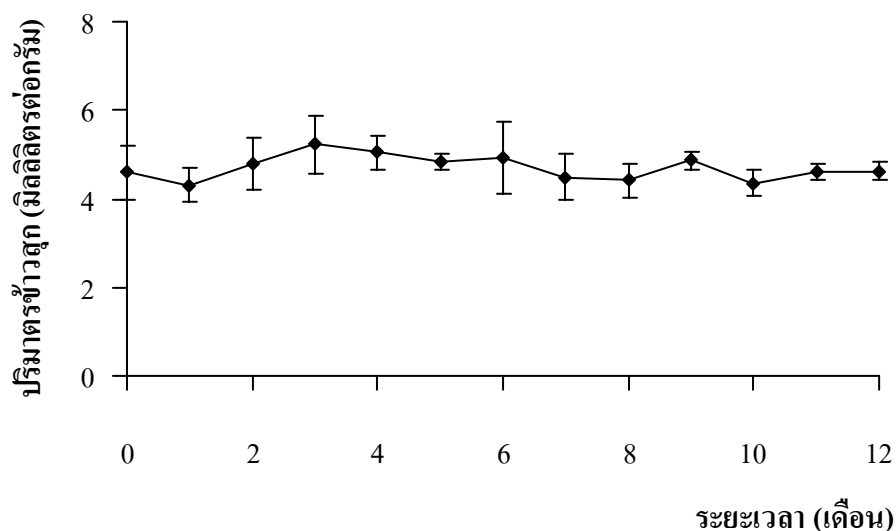
สำหรับคุณภาพการหุงต้มนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณการดูดซึมน้ำ (Sowbhagya และ Bhattacharyat, 1971) ดังนั้นเมื่อปริมาณการดูดซึมน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตามผลในข้อ 1.2) คุณภาพการหุงต้มจึงมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งเห็นได้จากการขยายปริมาตรและน้ำหนักของข้าวสุกไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตารางผนวกที่ ค-3)



รูปที่ 9 น้ำหนักของข้าวสุกที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

ผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับการทดลองของ Daniels และคณะ (1998) ที่ได้ศึกษาการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4, 21 และ 38 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการขยายปริมาตรเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ

กระบวนการทำแห้งก่อนการเก็บรักษาข้าว พันธุ์ข้าวและสถานะการเก็บรักษาข้าวมีความแตกต่างกัน จึงได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันไป



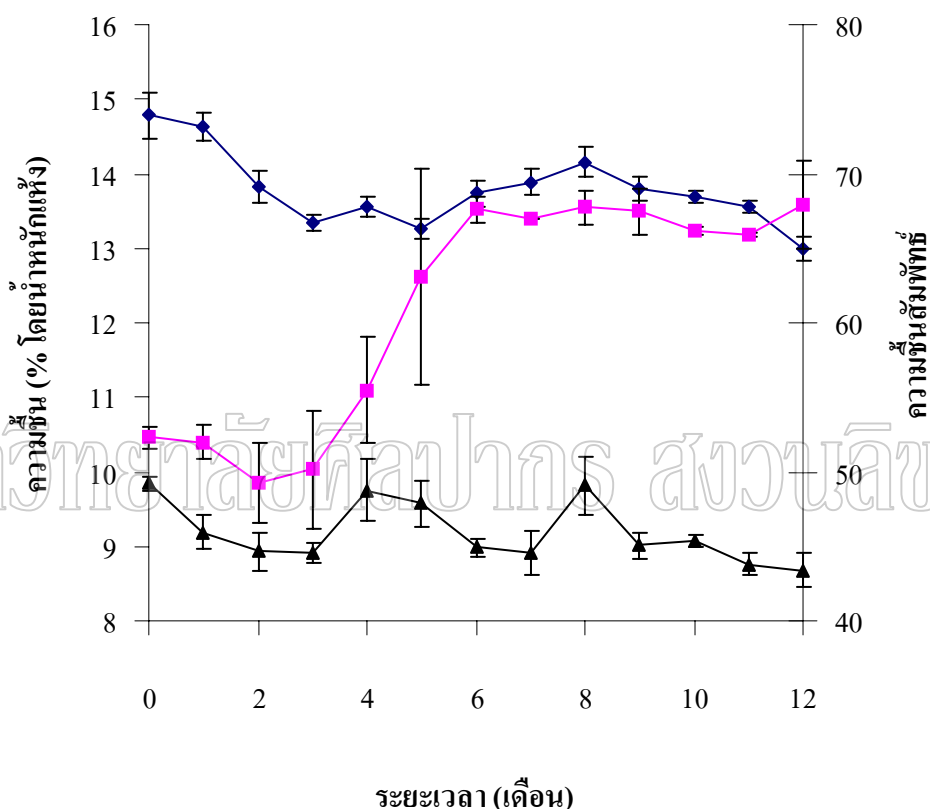
รูปที่ 10 ปริมาณของข้าวสุกที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าว

4.2.1 ปริมาณความชื้นในแป้งข้าว

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 0-12 เดือนพบว่า ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวก่อนการเก็บรักษา คือ ร้อยละ 8.96 เมื่อผ่านการเก็บรักษาพบว่า ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวลดลง โดยลดลงในช่วง 3 เดือนแรก จากนั้นในเดือนที่ 4 มีการเพิ่มขึ้นแล้วมีการเปลี่ยนแปลงตลอดการเก็บรักษา แต่ทั้งนี้ความชื้นในแต่ละเดือนที่เก็บรักษามีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นในช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษา เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาค่าความชื้นมีค่าต่ำที่สุด (ดังรูปที่ 11) ซึ่งคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในกรณีของข้าวสาร เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังภาคผนวกตารางที่ ค-4 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของแป้งข้าวนี้มีผลมาจากการเก็บรักษาข้าวเปลือกซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนความชื้นกับอากาศ

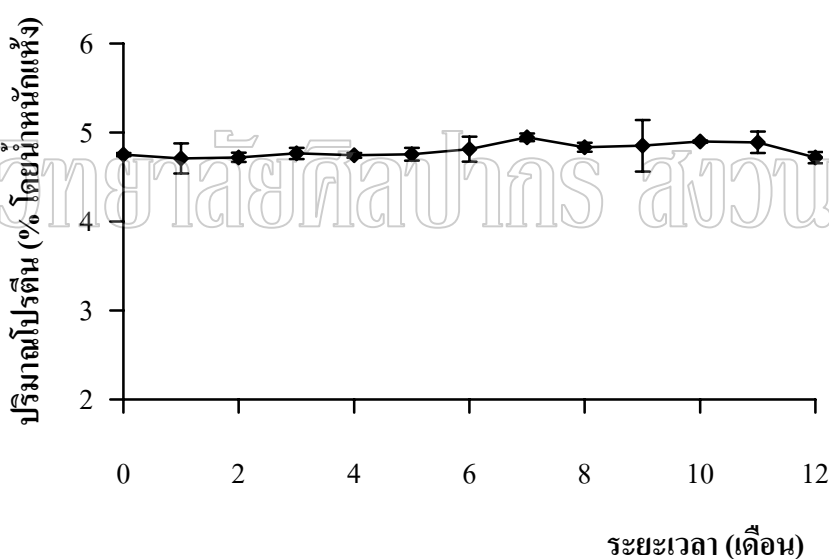
อากาศแวดล้อมได้จึงทำให้ค่าความชื้นของข้าวก่อนการบดเป็นแป้งมีความแตกต่างกัน (ละมุล, 2541; เพลงพิณ, 2541; Chrastil, 1990; Dhaliwal และคณะ, 1991; Gujral และ Kumar, 2003) เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อนำข้าวมาบดเป็นแป้งความชื้นของแป้งมีค่าต่ำกว่าค่าความชื้นของข้าวสารเนื่องจากเกิดการสูญเสียไปในระหว่างการบดเนื่องจากความร้อนเกิดขึ้นในระหว่างการบดทำให้ความชื้นส่วนหนึ่งระเหยออกไปจากแป้งที่บดได้



รูปที่ 11 ปริมาณความชื้นของแป้งข้าว ข้าวเปลือกหอมมะลิเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน
(แป้งข้าว ข้าวเปลือก ความชื้นสัมพัทธ์)

4.2.2 ปริมาณโปรตีนในแป้งข้าว

ปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิก่อนการเก็บรักษามีอยู่ร้อยละ 4.75 เมื่อผ่านการเก็บรักษาปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวที่ได้มีแนวโน้มคงที่ ดังรูปที่ 12 เมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังตารางผนวกที่ ค-5 ผลดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานส่วนใหญ่ที่พบว่า ปริมาณโปรตีนโดยรวมของข้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา (Chrastil, 1994; Noomhorm และคณะ, 1997; Zhou และคณะ, 2002) ถึงแม้ว่าแป้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนโดยรวมแต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างโปรตีนชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในแป้งข้าว คือ แอลบูมิน: โกลบูลิน: โพรลามีน: กลูเตลิน (โอโรซีนิน) (Chrastil, 1994) โดยโปรตีนที่ละลายในน้ำและน้ำเกลือ (แอลบูมิน และ โกลบูลิน) มีปริมาณลดลง โดยเฉพาะแอลบูมินที่มีปริมาณลดลงอย่างมาก (Juliano, 1985)

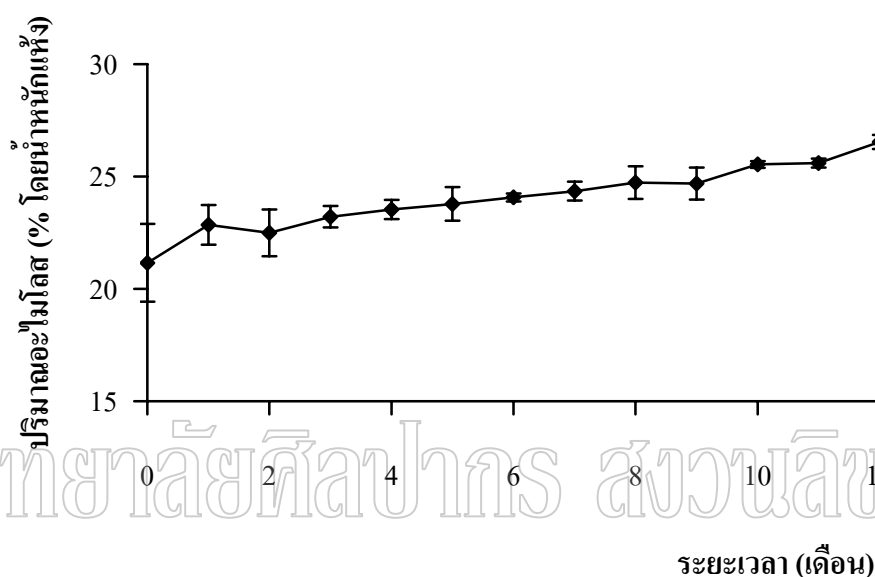


รูปที่ 12 ปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

4.2.3 ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าว

ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิก่อนการเก็บรักษามีอยู่ร้อยละ 21.16 เมื่อผ่านการเก็บรักษาปริมาณอะไมโลสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ดังรูปที่ 13 เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังตารางผนวกที่ ค-6 ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของลินดา (2537) ที่พบว่าพันธุ์ข้าว อุณหภูมิและ

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวมีผลให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น สาเหตุที่ปริมาณอะไมโลสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าช่วงเริ่มต้นการเก็บรักษาอาจเป็นเพราะเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ที่มีอยู่ในเนื้อเมล็ดตัดโมเลกุลส่วนที่เป็นเส้นตรงในกิ่งก้านของอะไมโลเปกตินได้เป็นสายสั้น ๆ ของอะไมโลส ส่วนเบต้าอะไมเลส (β -amylase) ซึ่งพบในเนื้อเมล็ดข้าวสาร (ภัทรพร, 2540; Zhou และคณะ, 2002) จะย่อยอะไมโลเปกตินทีละ 2 กลูโคสได้เป็นมอลโทส



รูปที่ 13 ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสในงานวิจัยนี้ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่พบว่าปริมาณอะไมโลสไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (ภัทรพร, 2540; เพลงพิน, 2541; Teo และคณะ, 2000; Zhou และคณะ, 2003) ทั้งอาจเป็นเพราะการศึกษาในสภาวะการเก็บรักษา พันธุ์ข้าวและระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกัน ทำให้การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวต่างกัน เช่น พันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์มีปริมาณอะไมโลสและเอนไซม์ก่อนการเก็บรักษาไม่เท่ากันจึงมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงในแต่ละงานวิจัยได้ผลที่แตกต่างกันไป

4.2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในแป้งข้าว

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 0-12 เดือน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 9 แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าว โดยน้ำตาลรีดิวซ์ส่วนใหญ่ที่พบคือ กลูโคสและมีฟรุกโตสเป็นส่วนน้อย (ภัทรพร, 2540)

ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (% โดยน้ำหนักแห้ง)
0	0.25 ± 0.01
1	0.24 ± 0.01
2	0.27 ± 0.02
3	0.24 ± 0.00
4	0.21 ± 0.04
5	0.27 ± 0.06
6	0.24 ± 0.04
7	0.24 ± 0.05
8	0.27 ± 0.02
9	0.23 ± 0.01
10	0.21 ± 0.01
11	0.23 ± 0.02
12	0.22 ± 0.04

งานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของภัทรพร (2540) พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวสารที่ผ่านการเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเป็นเพราะ

น้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดจากการย่อยสลายโดยเอนไซม์อะไมเลสถูกใช้ไปในปฏิกิริยามอลดาร์ด จึงไม่ได้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นหรืออาจเป็นเพราะการย่อยสลายของเอนไซม์อะไมเลสยังอยู่ในระดับต่ำ จนไม่ทำให้ได้น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ลดลง (Charstil, 1994; Zhou และคณะ, 2002)

4.2.5 ค่าทีบีเอของแป้งข้าว

ปริมาณไขมันทั้งหมดในข้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (ภัทรพร, 2540; ละมุล, 2541) แต่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันในข้าว โดยเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ การเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ไฮโดรไลซิสเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในข้าว ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ส่วนออกซิเดชันเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) และการสัมผัสกับออกซิเจน จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในข้าว (สุภาวดี, 2542) โดยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์เป็นสารเปอร์ออกไซด์และเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนิล ส่วนกรดไขมันอิสระเกิดออกซิเดชันเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนิลเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (off-flavor) (สุภาวดี, 2542; อรอนงค์, 2534)

ค่าทีบีเอ (TBA No.) แสดงถึงคุณภาพทางเคมีของข้าวที่เสื่อมลงเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสียของไขมันในเมล็ดข้าว ซึ่งมีผลทำให้เกิดกลิ่นหืน (rancid flavor) โดยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ มาโลนอลดีไฮด์ (malonaldehyde) จะทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริกทำให้เกิดสี ซึ่งวิธีทีบีเอจึงเป็นวิธีที่ใช้ตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (นิธิยา, 2543) ค่าทีบีเอของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิก่อนการเก็บรักษา คือ 0.67 ดังตารางที่ 10 และค่าทีบีเอของแป้งข้าวจากข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ 0-12 เดือน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.99 Caldwell และ Grogg (1955) ได้กล่าวว่าค่าทีบีเอ 12.20 จะเป็นดัชนีบ่งชี้ว่าอาหารเกิดกลิ่นหืนในระดับที่ผู้ชิมสามารถรับรู้ได้ อันเป็นจุดที่บอกถึงการเสื่อมคุณภาพของอาหาร (ลินดา, 2537) ดังนั้นค่าทีบีเอของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษาไว้ 0-12 เดือน จึงยังไม่ถึงจุดเสื่อมคุณภาพและเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก 0-12 เดือน ไม่มีผลกระทบต่อค่าทีบีเอของแป้งข้าว โดยทั่วไปการเกิดไฮโดรไลซิสของไขมันในข้าวจะเกิดภายหลังจากการสีข้าว เนื่องจากการขัดสีทำลายโครงสร้างชั้นต่างๆ ของข้าว ซึ่งมีผลทำให้เอนไซม์ไลเปสกับไขมันมีโอกาสสัมผัสกันจึงเกิดการไฮโดรไลซิส

โดยไขมันที่อยู่บริเวณผิวหนังหน้าของเมล็ดข้าวจะเกิดการไฮโดรไลซิสได้ดี (Piggott และคณะ, 1991) ดังนั้นการเก็บรักษาเมล็ดข้าวในรูปของข้าวเปลือกจึงทำให้เอนไซม์ไลเพสและไขมันมาสัมผัสและทำปฏิกิริยากันได้ยาก ส่วนการเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสต้องอาศัยแสงออกซิเจนและน้ำเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา แต่การเก็บรักษาเมล็ดข้าวในรูปของข้าวเปลือกจะป้องกันตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้เพราะส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดหรือเกลบช่วยป้องกันการสัมผัสกับตัวเร่งเหล่านี้ อีกทั้งข้าวเจ้าเป็นข้าวที่มีปริมาณไขมันที่ไม่ใช่มาจากสตาร์ช (nonstarch lipid) ในส่วนของเนื้อเมล็ดอยู่น้อย จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระและการเปลี่ยนแปลงการหีนของข้าวเกิดขึ้นได้น้อยหรือช้า (Houston, 1972) ในระหว่างการเก็บรักษา

4.2.6 ค่าสีของแป้งข้าว

ค่าสีของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษา 0-12 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเข้มของสี โดยค่าความสว่างของแป้งข้าวลดลงในขณะที่ค่าความเข้มของสีเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 14 และ 15 เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางผนวกที่ ค-7 ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของละมุด (2541) เพลงพิน (2541) และ Chrastil (1994) การที่แป้งข้าวมีสีเข้มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง (non-enzymatic browning) คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่สร้างสารประกอบสี

น้ำตาลประเภทเมลานอยดิน (melanoidins) จึงทำให้สีของแป้งเข้มขึ้น (งามชื่น, 2539; Chrastil, 1994) โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนในโปรตีน ในการทดลองนี้พบว่า ปริมาณโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์โดยรวมไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อาจเกิดจากการลดลงของโปรตีนบางชนิดที่ละลายในน้ำและน้ำเกลือ (Juliano, 1985) ทำให้อัตราส่วนระหว่างโปรตีนชนิดต่าง ๆ ในแป้งข้าวมีการเปลี่ยนแปลง (Chrastil, 1994) กรดอะมิโนจากส่วนนี้อาจถูกใช้ไปในปฏิกิริยาเมลลาร์ด โดยเฉพาะกรดอะมิโนไลซีน (lysine) (เพลงพิน, 2541) ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์โดยรวมไม่มีการเปลี่ยนแปลงอาจเพราะเอนไซม์กลูโคสไมเลสย่อยสตาร์ชในแป้งข้าวเปลี่ยนเป็นกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ชนิดหนึ่ง (ภัทรพร, 2540) จึงควรมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่อาจถูกใช้ในปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้ส่วนที่ควรเพิ่มขึ้นถูกใช้ไป ดังนั้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยรวมในแป้งข้าวจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว ปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถเกิดขึ้นทั้งในส่วนเปลือกและในส่วนเอนโดสเปิร์มของข้าว (เพลงพิน, 2541) นอกจากนี้รงควัตถุ (pigment)

บริเวณเปลือกและชั้นเนื้อโรนอาจเคลื่อนไปสู่ส่วนของเอนโดสเปิร์มได้ (Bason และคณะ, 1990) ทำให้สีของเอนโดสเปิร์มของข้าวเปลี่ยนไป

4.2.7 กำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (degree of solubility) ของแป้งข้าว

ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 0-12 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 16 เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางผนวกที่ 8 ผลดังกล่าวแตกต่างจากการทดลองของ Chrastil (1994) และ Gujral และ Kumar (2003) ที่พบว่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา การที่ค่ากำลังการพองตัวของแป้งข้าวหอมมะลิมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำของข้าวสารและน้ำหนักรับกับปริมาตรของข้าวสุกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือก ค่ากำลังการพองตัวเป็นค่าที่แสดงคุณสมบัติของอะไมโลเปกติน (รุ่งนภา, 2543) ข้าวที่มีอะไมโลเปกตินสูงหรืออะไมโลสต่ำจะมีผลให้ค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกำลังการพองตัวไม่สามารถอธิบายจากปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเปกตินเท่านั้น ค่ากำลังการพองตัวยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายในระหว่างการเกิดเจลาตินในเซชันและถูกแทนที่ด้วยพันธะไฮโดรเจนของน้ำ นอกจากนี้ค่ากำลังการพองตัวยังขึ้นกับอุณหภูมิหรือปริมาณความร้อนของการเจลาตินในเซชันอีกด้วย (รุ่งนภา, 2543)

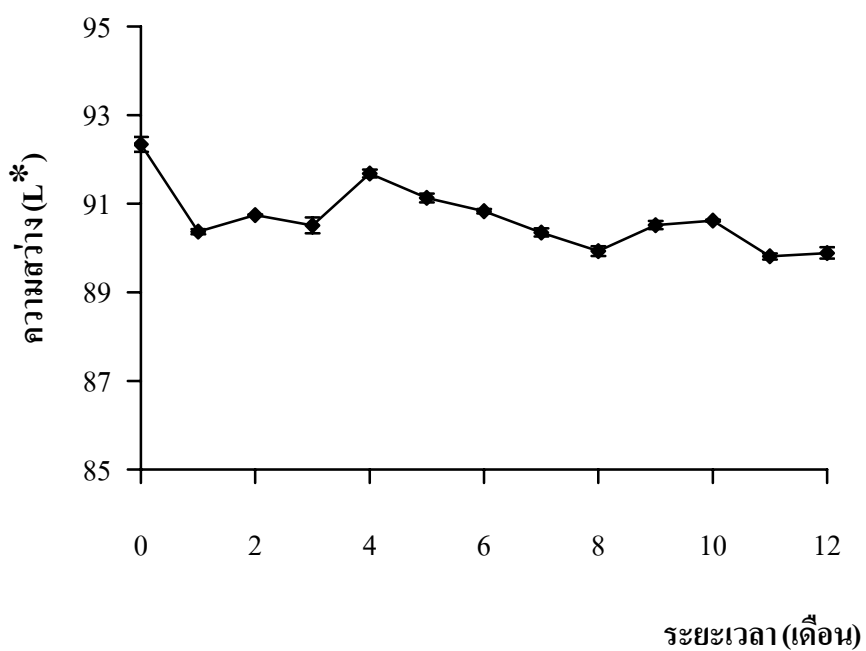
ความสามารถในการละลายของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ 0-12 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังรูปที่ 17 เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังตารางผนวกที่ 8 ซึ่งค่าความสามารถในการละลายของแป้งจะบ่งบอกถึงแรงเกาะกันระหว่างพันธะในเม็ดสตาร์ช (ภัทรพร, 2540) และปริมาณอะไมโลสโมเลกุลเล็กที่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ชที่พองตัวแสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือกหอมมะลิไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติดังกล่าวของแป้งข้าว ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำของข้าวสารและน้ำหนักรับกับปริมาตรของข้าวสุกที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่าง

ชัดเจนระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือก

ตารางที่ 10 ค่าทีบีเอในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ค่าทีบีเอ (TBA No.)
0	0.67 ± 0.08
1	0.86 ± 0.18
2	0.81 ± 0.14
3	0.96 ± 0.11
4	0.71 ± 0.13
5	0.71 ± 0.05
6	0.87 ± 0.10
7	0.88 ± 0.09
8	0.99 ± 0.05
9	0.73 ± 0.10
10	0.86 ± 0.30
11	0.59 ± 0.06
12	0.86 ± 0.28

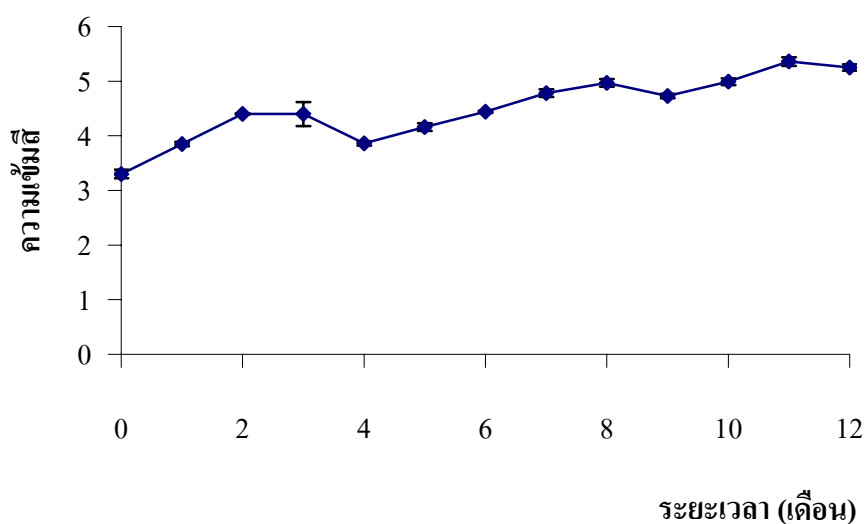
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขาวิชาพืชไร่

รูปที่ 14 ค่าความสว่าง (L*) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่

อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน



รูปที่ 15 ค่าความเข้มสีของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่

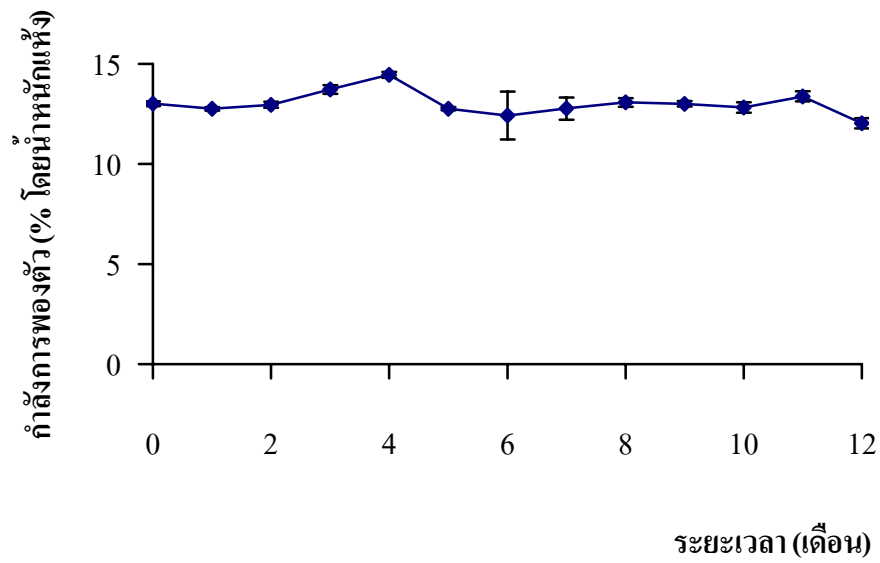
อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

4.2.8 พฤติกรรมการให้ความหนืดของแป้งข้าว

พฤติกรรมการให้ความหนืดของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 0-12 เดือน โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser, RVA) (ความเข้มข้นร้อยละ 12) ได้ผลดังตารางผนวกที่ ก-9 และ รูปที่ 18-23

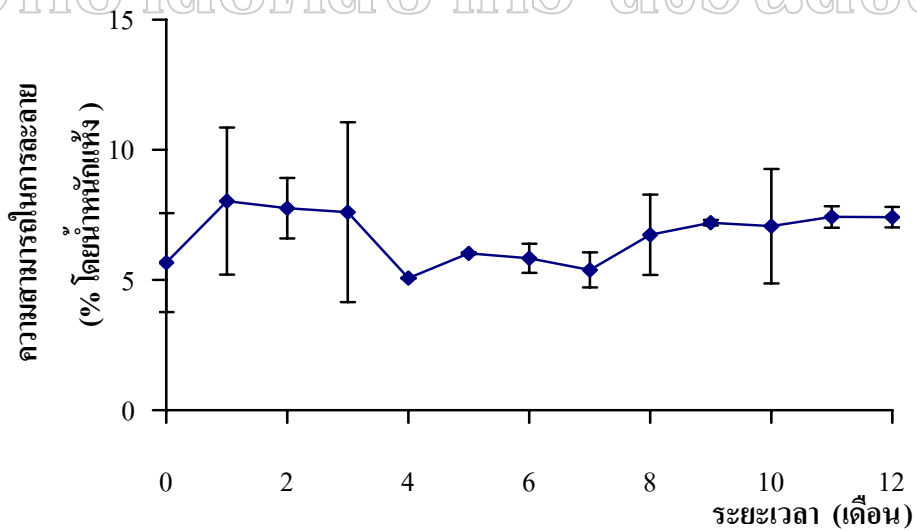
ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นค่าที่แสดงความหนืดสูงสุดของแป้งเมื่อเม็ดแป้งส่วนใหญ่พองตัวเต็มที่ระหว่างการให้ความร้อน ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสามารถในการจับน้ำของแป้ง (รุ่งนภา, 2543) ความสามารถในการพองตัวและความคงทนต่อการแตกของเม็ดสตาร์ช ก่อนการเก็บรักษาแป้งข้าวความหนืดสูงสุดเท่ากับ 414.03 RVU และลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังรูปที่ 18 จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเพิ่มขึ้น ความสามารถในการพองตัวและการจับน้ำของแป้งลดลง ซึ่งผลที่ได้ขัดแย้งกับค่ากำลังการพองตัวเพราะเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ปริมาณน้ำ อุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน รวมทั้งสภาวะการกวนต่างกัน ทำให้ได้ผลซึ่งแสดงความสามารถในการพองตัวของแป้งต่างกัน ในการวัดค่ากำลังการพองตัวซึ่งใช้ปริมาณน้ำมาก อุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เม็ดสตาร์ชพองตัวได้อย่างเต็มที่ ค่าที่ได้จึงไม่ต่างกันอย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าความหนืดสูงสุดเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ปริมาณน้ำน้อย อุณหภูมิสูง 95 องศาเซลเซียส และมีการกวนผสมตลอดเวลา เม็ดสตาร์ชที่พองตัวแล้ว จึงมีการเสียดสีทำให้แตกตัวได้ง่าย ค่าที่ได้จึงมีโอกาที่จะแตกต่างกันอย่างชัดเจน

การพองตัวของแป้งยังขึ้นกับความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ช โดยการพองตัวของแป้งลดลงอาจเนื่องจากเม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น พันธะไฮโดรเจนที่จับกันในโครงสร้างแข็งแรงเพิ่มขึ้น การทำลายพันธะไฮโดรเจนลดลง ทำให้ปริมาณน้ำเข้าไปในโครงสร้างภายในลดลง การพองตัวของแป้งจึงลดลง ทั้งนี้สาเหตุที่โครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชแข็งแรงขึ้นเนื่องจากปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มขึ้น การจับกันของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจึงแน่นขึ้น การจับตัวระหว่างกรดไขมันอิสระและอะไมโลสมีผลยับยั้งการพองตัวของแป้งด้วย (อรอนงค์, 2532) นอกจากนี้การเกิดออกซิเดชันในโปรตีน โดยหมู่ซัลฟูริลเปลี่ยนเป็นพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้ความแข็งแรงของพันธะภายในโครงสร้างของโปรตีนแข็งแรงขึ้น จึงมีผลยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (อรอนงค์, 2532)



รูปที่ 16 กำลังการพองตัว (swelling power) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 17 ความสามารถในการละลายของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

ความหนืดต่ำสุด (trough) คือ ค่าความหนืดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างการทำเย็น โดยก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 174.25 RVU และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อข้าวผ่านการเก็บรักษานานขึ้น ดังรูปที่ 19 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลทำให้ความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้น

ค่าการสูญเสียความหนืด (breakdown) เป็นค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด (peak viscosity - trough) ซึ่งแสดงถึงความคงตัวของเม็ดสตาร์ชต่อการแตกตัวหลังเกิดเจลาติไนเซชัน เป็นค่าที่ได้ในช่วงระดับอุณหภูมิคงที่ เมื่อเม็ดสตาร์ชแตก โมเลกุลของอะไมโลสจะหลุดออกมาสู่สารละลายมากขึ้น (รุ่งนภา, 2543) โดยค่าการสูญเสียความหนืดมีประโยชน์ในการอธิบายความคงตัวของความหนืดของแป้งสุก (Wang, 1997) จากผลการศึกษาพบว่า ค่าการสูญเสียความหนืดของแป้งข้าวก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 239.78 RVU จากนั้นลดลง ดังรูปที่ 20 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยแป้งที่มีการสูญเสียความหนืดมากจะสูญเสียปริมาณน้ำที่จับไว้ในโครงสร้าง ทำให้แป้งมีความหนืดลดลงด้วย (Wang, 1997) ค่าการสูญเสียความหนืดจะเป็นการบ่งบอกถึง

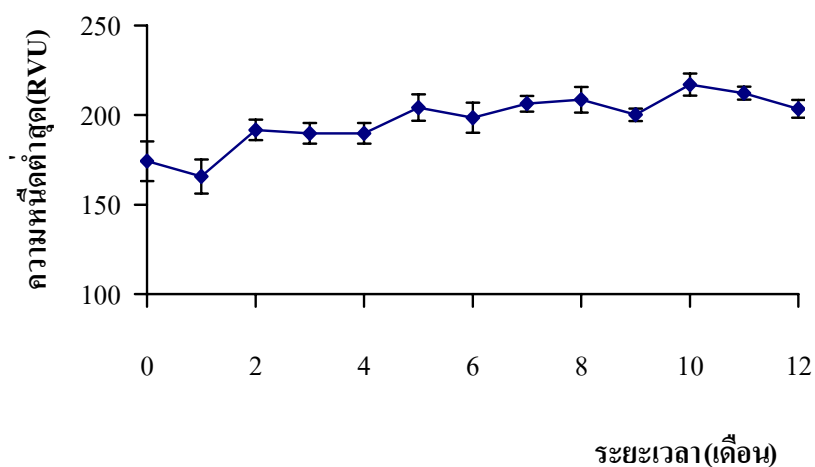
ความสามารถในการทนต่อการให้ความร้อนและความเคঁเดือนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ด้วย (รุ่งนภา, 2543) ดังนั้นเมื่อค่าการสูญเสียความหนืดลดลง แสดงว่าความสามารถในการทนต่อการให้ความร้อนของแป้งข้าวเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา สาเหตุที่แป้งข้าวมีความคงทนต่อการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอาจเป็นเพราะ โครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชที่มีความแข็งแรงขึ้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) คือ ค่าความหนืดสุดท้ายหลังจากผ่านการทำเย็น เป็นความหนืดที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งเรียงตัวกันอีกครั้ง เรียกว่า การคืนตัวของแป้งสุก (retrogradation) (ละมุล, 2541) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวหอมมะลิ แสดงในรูปที่ 21 ก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 267.42 RVU และสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสุดท้ายอาจเนื่องจากปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสสามารถจับกันได้มากขึ้น เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีความแข็งแรงขึ้น ค่าความหนืดสุดท้ายจึงเพิ่มขึ้น

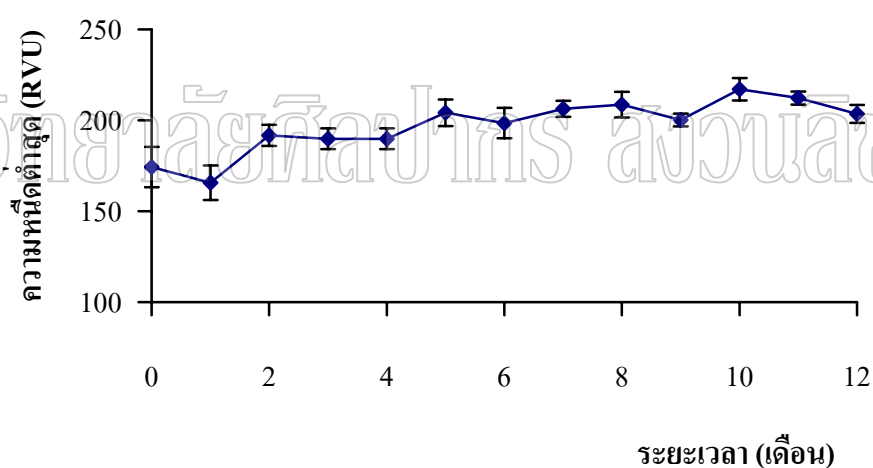
ค่าการเพิ่มความหนืดของแป้งสุกเมื่อผ่านการทำให้เย็นลงหรือค่าการคืนตัว (setback) คือ ผลต่างของค่าความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (final viscosity - trough) เป็นผลมาจากเมื่อมีการต้มแป้ง เม็ดสตาร์ชจะมีการพองตัวและแตกตัว ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชบางส่วนละลาย

ออกมาจากเมื่อดสตาร์ช โดยโมเลกุลที่ละลายออกมาจากเมื่อดสตาร์ชสามารถเคลื่อนที่มาจับกันเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อแป้งสุกเย็นตัวลง เป็นผลให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้น เรียกว่าการเกิดรีโทรกราเดชัน จากผลการศึกษาค่าการคืนตัวของแป้งข้าวก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับ 93.17 RVU และเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังรูปที่ 22 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการเพิ่มขึ้นของค่าการคืนตัวของแป้งเกิดจากปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ทำให้โครงสร้างร่างแหมีความแข็งแรงมากขึ้นเพราะอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรง จึงจับกันเรียงตัวเป็นโครงสร้างได้ง่ายกว่า อะไมโลเพกตินที่เป็นพอลิเมอร์ที่แตกกิ่งก้าน โดยค่าการคืนตัวมีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกถ้าค่าการคืนตัวเพิ่มขึ้นแสดงว่า ข้าวเก่าเมื่อหุงสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวใหม่และได้เจลที่มีความคงตัวมากขึ้น (ละมุล, 2541)

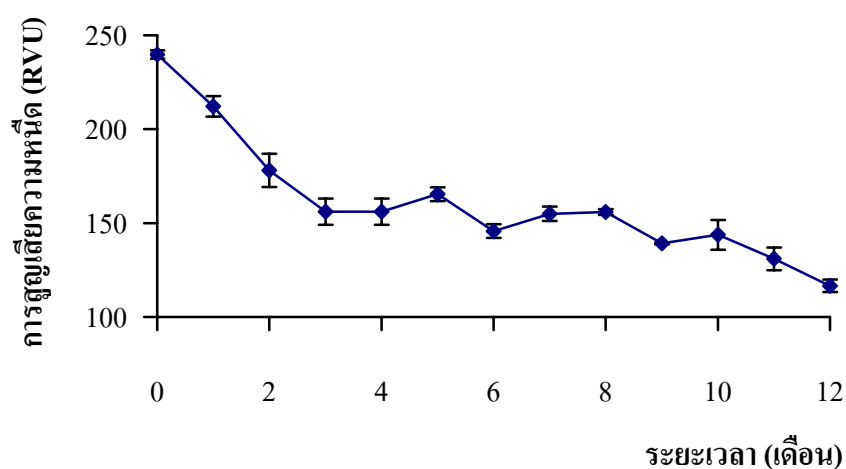
อุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น (pasting temperature) คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้นขณะให้ความร้อน โดยค่าอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้นของแป้งข้าว ก่อนการเก็บรักษาเท่ากับ 68.55 องศาเซลเซียส และมีการเปลี่ยนแปลงโดยเพิ่มขึ้นในช่วง 2 เดือนแรก แล้วคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังรูปที่ 22 เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้นของแป้งข้าวในช่วงแรก โดยการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากปริมาณกรดไขมันอิสระในเมล็ดข้าว โดยไขมันมีส่วนในการขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้ง (Marshall และคณะ, 1990) ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อทำลายพันธะไฮโดรเจนในเม็ดสตาร์ช ซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาการหุงต้มด้วย โดยข้าวที่มีอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้นสูงจะใช้ระยะเวลาการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้นต่ำ (Juliano, 1965) แสดงว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวไว้นานขึ้นจะต้องใช้ระยะเวลาในการหุงต้มเพิ่มขึ้นด้วย



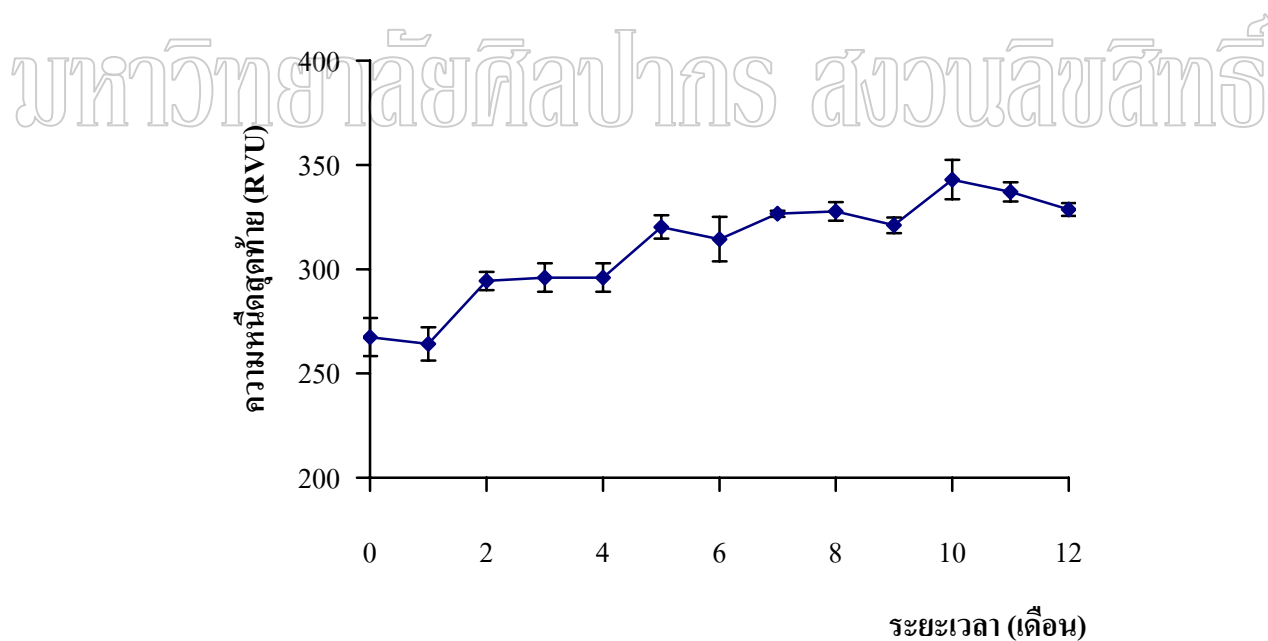
รูปที่ 18 ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน



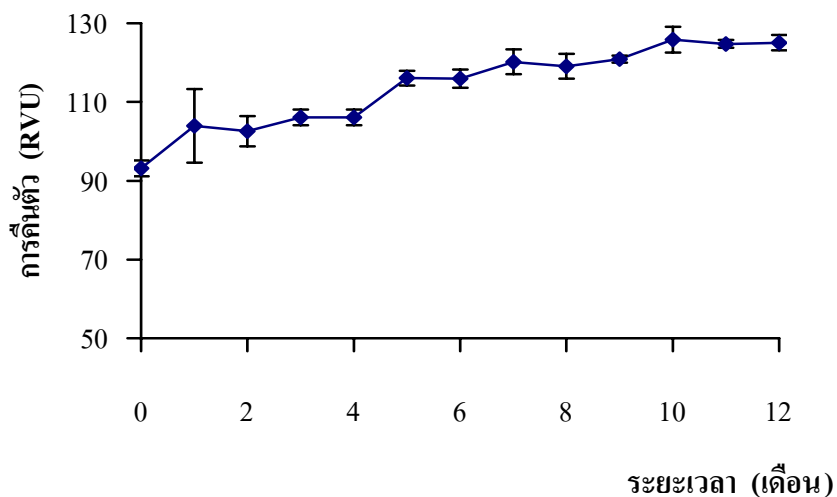
รูปที่ 19 ค่าความหนืดต่ำสุด (trough) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน



รูปที่ 20 ค่าการสูญเสียความหนืด (breakdown) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

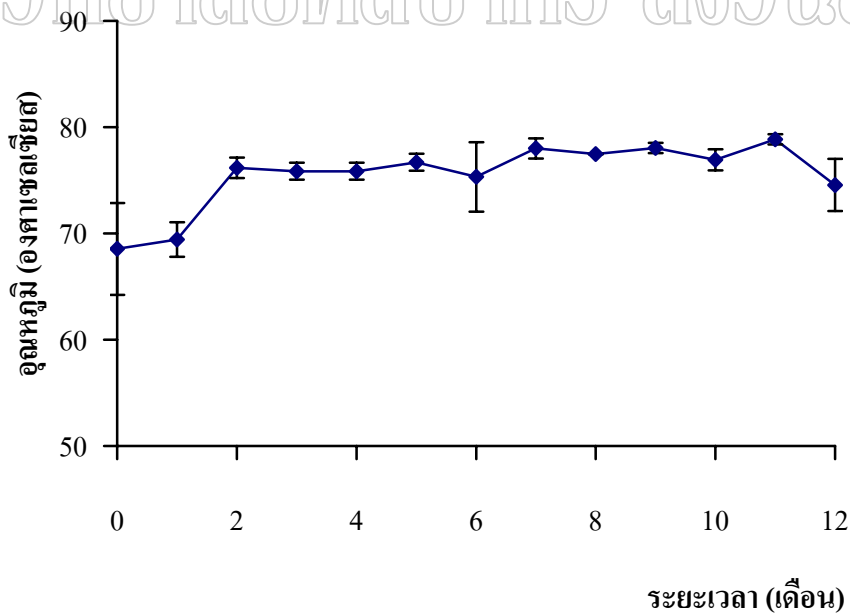


รูปที่ 21 ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน



รูปที่ 22 ค่าการคืนตัว (setback) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 23 ค่าอุณหภูมิที่ทำให้แป้งเริ่มหนืด (pasting temperature) ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งผ่านเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

4.2.9 การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของแป้งข้าว

การศึกษาการเกิดเจลลิตในเซชันและรีโทรกราเดชันของแป้งข้าวหอมมะลิด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน (Differential Scanning Calorimetry, DSC) เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงความร้อนที่สัมพันธ์กันกับอุณหภูมิ (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2543) โดยวิเคราะห์อุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งได้มาจากค่าอุณหภูมิที่ทำให้ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น (T_{onset}) เมื่อตรวจสอบอุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษา 0-12 เดือน พบว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อาจเพราะโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงขึ้น จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้แป้งเริ่มพองตัว ดังรูปที่ 24 เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางผนวกที่ ค-10 ซึ่งเมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ทำให้แป้งเริ่มหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็วพบว่า ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชันมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องวัดความหนืดจะเริ่มตรวจจับความหนืดได้ต้องเกิดการพองตัวหรือเจลลิตในเซชันของเม็ดสตาร์ชเสียก่อน

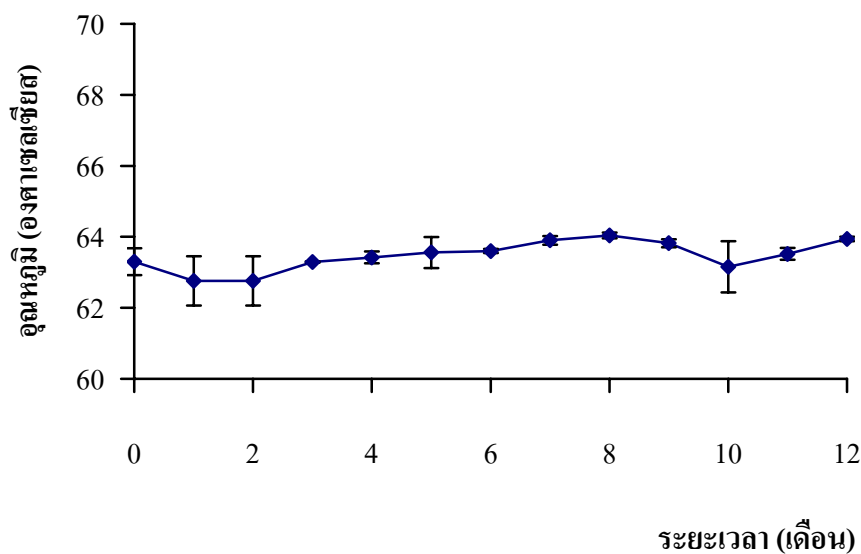
การศึกษาค่าเอนทัลปี (enthalpy) เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ใช้ในการสลายตัวของส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) (จรรย์, 2537) โดยส่วนที่เป็นผลึกนี้โมเลกุลส่วนใหญ่จะเป็นพวกอะไมโลเพกติน (ชนินันท์, 2542) จากผลการทดลองค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งข้าวดังกล่าวอยู่ในช่วง 2-4 J/g ดังรูปที่ 25 เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางผนวกที่ ค-10 โดยระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลิทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิและเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตในเซชันในแป้งข้าวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากภายในโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชในส่วนที่เป็นผลึกซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพกตินเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มาก การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวพบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าที่ได้อาจสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปี แต่อย่างไรก็ตามค่าเอนทัลปียังขึ้นกับองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีในสตาร์ช เช่น ไขมัน ดังนั้นปริมาณอะไมโลสจึงอาจไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อการเกิดเจลลิตในเซชัน (นิสา และ วิณรัตน์, 2542)

การศึกษาค่าอุณหภูมิและค่าเอนทัลปีของการเกิดรีโทรกราเดชัน โดยนำแป้งข้าวที่ผ่านการวิเคราะห์การเกิดเจลลิตในเซชันแล้ว มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน (นิสา และ วิณรัตน์, 2542) แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนอีกครั้ง โดยอุณหภูมิของการเกิดรีโทรกราเดชันเป็นอุณหภูมิที่ใช้สลายพันธะของโมเลกุล

สตาร์ชที่จับยึดกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน (รุ่งนภา, 2543) อุณหภูมิการเกิดรีโทรกราเดชันจึงมี อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชัน แสดงว่าการสลายพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจาก รีโทรกราเดชันเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าการสลายพันธะไฮโดรเจนเมื่อเกิดเจลลาติไนเซชัน โดยอุณหภูมิ การเกิดรีโทรกราเดชันมีค่าอยู่ระหว่าง 45-50 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิด เจลลาติไนเซชันที่มีค่าอยู่ในช่วง 62-65 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิการเกิด รีโทรกราเดชันของแป้งข้าวดังกล่าว มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางผนวกที่ ค-10 โดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังรูปที่ 26

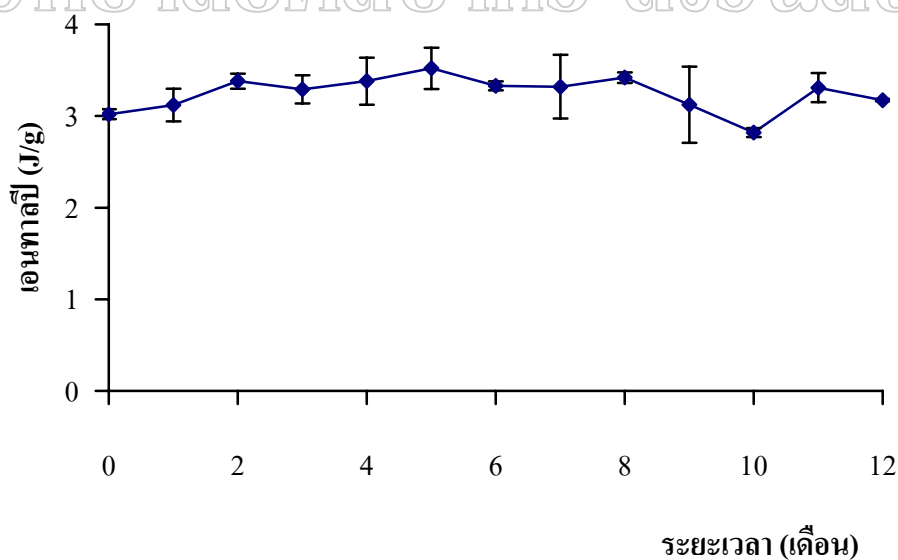
ส่วนค่าเอนทัลปีของการเกิดรีโทรกราเดชัน เป็นการวัดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการ สลายของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชที่จับตัวกันใหม่ในการเกิดรีโทรกราเดชัน (รุ่งนภา, 2543) จากการวิเคราะห์พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ระหว่างการ เก็บรักษา ดังตารางผนวกที่ ค-10 แสดงว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลิไว้ที่ อุณหภูมิห้อง 0-12 เดือน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปีของการเกิดรีโทรกราเดชัน

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Zhou และคณะ (2003) ซึ่งพบว่าค่าอุณหภูมิ เริ่มต้น (T_{onset}) ของการเกิดรีโทรกราเดชันไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนค่า เอนทัลปีของการเกิดรีโทรกราเดชันพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น Teo และ คณะ (2000) พบว่าค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลลาติไนเซชันไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา แต่ Zhou และคณะ (2002) พบว่าอุณหภูมิและค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลลาติไนเซชันมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าเอนทัลปีของการเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มสูงขึ้น แต่อุณหภูมิการเกิดรีโทรกราเดชันไม่ เปลี่ยนแปลง

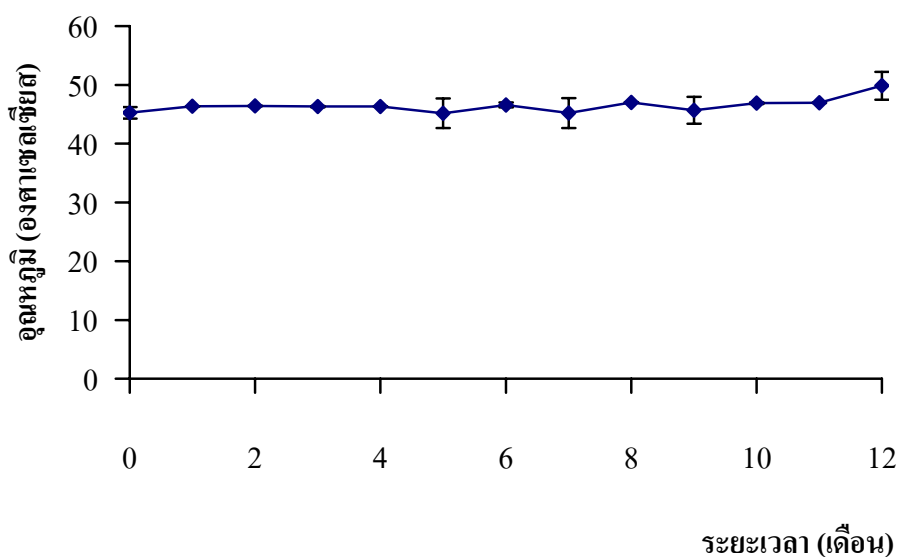


รูปที่ 24 อุณหภูมิของการเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 25 ค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน



รูปที่ 26 อุณหภูมิการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

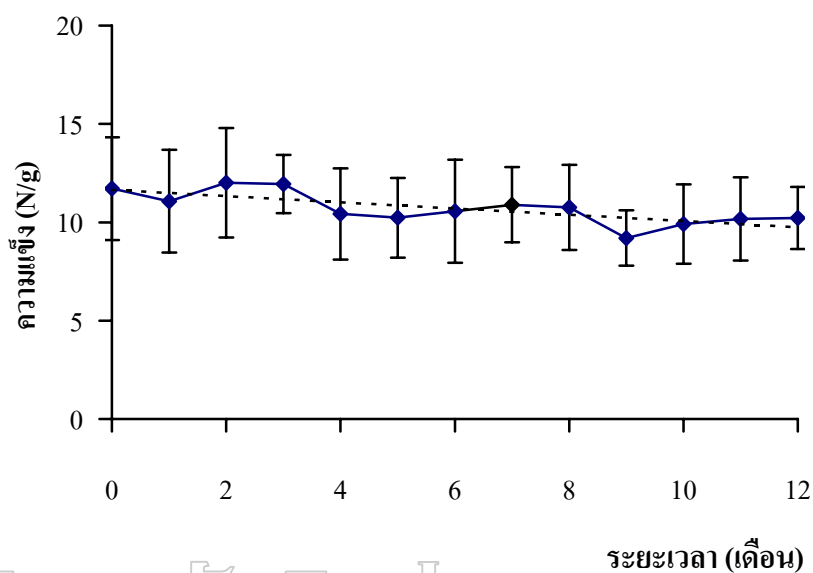
4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแผ่นอบแห้ง (rice pellets) และข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers)

ข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตมาจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน ได้ผ่านการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

4.3.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบ

ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบ ประกอบด้วยการวัดค่าความแข็ง (hardness) ซึ่งเป็นการอ่านค่าจากการเสียรูปร่างภายใต้แรงที่กำหนด และค่าความเค้นเฉือน (shear stress) จากผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งและค่าความเค้นเฉือนของข้าวแผ่นอบแห้ง พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 11 และ 12 แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่มีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความเค้นเฉือนของข้าวแผ่นอบแห้ง ส่วนค่าความแข็งของข้าวแผ่นกรอบมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 27 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 11 ค่าความเค้นเฉือนของข้าวแผ่นกรอบมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 28 โดยมีความ

แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 12 ผลที่ได้แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลิมีผลต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบเพียงเล็กน้อย



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 27 ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers) ที่ผลิตจากข้าวเปลือก

หอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

(ความแข็ง เส้นแนวโน้ม)

ตารางที่ 11 ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

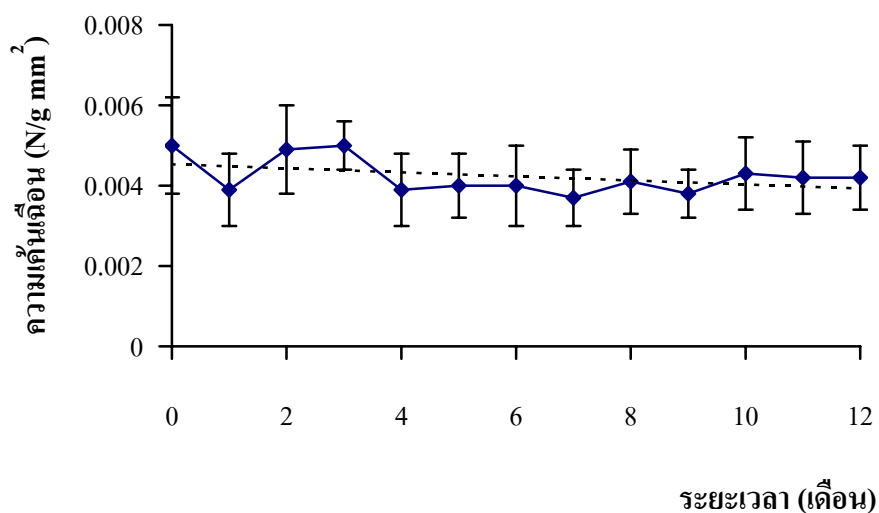
เดือนที่	ความแข็ง (hardness) (N/g)	
	ข้าวแผ่นอบแห้ง (rice pellets)	ข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers)
0	24.16 ± 7.47	11.71 ± 2.61 ^{abc}
1	22.02 ± 5.39	11.07 ± 2.61 ^{abcd}
2	24.03 ± 7.41	12.01 ± 2.78 ^a
3	21.94 ± 6.96	11.94 ± 1.48 ^{ab}
4	24.71 ± 6.63	10.43 ± 2.32 ^{cde}
5	21.98 ± 6.41	10.23 ± 2.03 ^{de}
6	26.58 ± 6.48	10.56 ± 2.62 ^{bcde}
7	23.41 ± 7.13	10.89 ± 1.91 ^{de}
8	28.10 ± 7.79	10.76 ± 2.16 ^{abcd}
9	25.23 ± 9.22	9.20 ± 1.41 ^e
10	21.26 ± 6.99	9.91 ± 2.02 ^{de}
11	22.27 ± 5.50	10.17 ± 2.12 ^{de}
12	23.92 ± 7.16	10.22 ± 1.58 ^{de}

a,b,...,e = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 12 ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ความเค้นเฉือน (shear stress) ($\times 10^{-2} \text{N/g mm}^2$)	
	ข้าวแผ่นอบแห้ง (rice pellets)	ข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers)
0	2.90 ± 0.89	0.50 ± 0.12^a
1	2.20 ± 0.55	0.39 ± 0.09^{cd}
2	2.70 ± 0.82	0.49 ± 0.11^{ab}
3	2.10 ± 0.67	0.50 ± 0.06^a
4	2.60 ± 0.69	0.39 ± 0.09^{cd}
5	2.40 ± 0.70	0.40 ± 0.08^{cd}
6	2.70 ± 0.66	0.40 ± 0.10^{cd}
7	2.50 ± 0.75	0.37 ± 0.07^d
8	2.90 ± 0.80	0.41 ± 0.08^{cd}
9	2.60 ± 0.94	0.38 ± 0.06^{cd}
10	2.30 ± 0.75	0.43 ± 0.09^{bc}
11	2.40 ± 0.57	0.42 ± 0.09^{cd}
12	2.60 ± 0.79	0.42 ± 0.08^{cd}

a,b,...,d = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 28 ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ของข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers) ที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน (ความเค้นเฉือน เส้นแนวโน้ม)

4.3.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ

จากการตรวจสอบความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบเทียบกับข้าวแผ่นอบแห้ง ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการทำให้พองตัว โดยใช้หลักการแทนที่ด้วยทรายละเอียดพบว่า การพองตัวและความหนาแน่นของข้าวแผ่นกรอบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 13 ทั้งนี้อาจเพราะคุณสมบัติทางกายภาพหลายประการของวัตถุดิบ เช่น การดูดซึมน้ำของข้าวสาร น้ำหนักและการขยายปริมาตรของข้าวสุกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จึงน่าจะมีส่วนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณลักษณะทางกายภาพด้านความหนาแน่นและการพองตัวที่เปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก อัตราการพองตัวและความหนาแน่นของข้าวแผ่นกรอบมีความสัมพันธ์กับความแข็ง (รุ่งนภา, 2543) ความหนาแน่นและการพองตัวเปลี่ยนแปลงน้อย ค่าความแข็งของข้าวแผ่นกรอบจึงเปลี่ยนแปลงน้อยไปด้วย

4.3.3 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 เดือน ในคุณลักษณะด้านความแข็ง

ความกรอบ กลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหืนและคุณลักษณะโดยรวม โดยใช้การทดสอบเชิงพรรณนาและผู้ชิมที่ผ่านการฝึกฝนแล้ว (trained panels)

ตารางที่ 13 ความหนาแน่นและอัตราส่วนการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ ที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ความหนาแน่น (g/ml)	อัตราส่วนการพองตัว
0	0.51 ± 0.10	2.12 ± 0.48
1	0.56 ± 0.05	2.32 ± 0.30
2	0.49 ± 0.08	2.02 ± 0.31
3	0.54 ± 0.08	2.21 ± 0.36
4	0.57 ± 0.11	2.52 ± 0.72
5	0.57 ± 0.04	2.37 ± 0.47
6	0.52 ± 0.09	2.17 ± 0.49
7	0.56 ± 0.07	2.53 ± 0.68
8	0.53 ± 0.06	2.17 ± 0.29
9	0.54 ± 0.04	2.17 ± 0.17
10	0.52 ± 0.10	2.14 ± 0.49
11	0.51 ± 0.09	2.13 ± 0.38
12	0.62 ± 0.10	2.77 ± 0.68

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสด้านความแข็ง พบว่าข้าวแผ่นกรอบมีคะแนนความแข็งอยู่ระหว่าง 7.33 - 8.92 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คะแนนด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ระหว่าง 7.71 - 8.21 ส่วนคะแนนด้านกลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์พบว่า ในตัวอย่างอื่นมีคะแนนต่ำกว่าในเดือน 0 โดยตัวอย่างข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษานานขึ้น กลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์มีลดลง ซึ่งสอดคล้อง

กับข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาทำให้กลิ่นของข้าวสุกตกลง (พัชรี, 2537) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีคะแนนอยู่ระหว่าง 7.32- 8.32 คุณลักษณะด้านกลิ่นหืนของข้าวแผ่นกรอบพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยคะแนนกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 1.26 - 1.59 แสดงว่าระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนในข้าวแผ่นกรอบ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางเคมีที่พบว่า ค่าที่บีเอของแป้งข้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเก็บรักษาเมื่อนำมาผลิตเป็นข้าวแผ่นกรอบจึงไม่มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ ส่วนคุณลักษณะสุดท้าย คือ คุณลักษณะโดยรวมมีระดับคะแนนอยู่ระหว่าง 6.88 - 7.40 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นั่นคือระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลิไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน ไม่มีผลต่อคุณลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันในด้านความแข็งและกลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์อยู่บ้าง แต่คุณลักษณะเหล่านี้ก็ไม่ได้ส่งผลต่อคุณลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลิไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน ไม่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัส การพองตัวและประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิที่ผ่านการเก็บรักษาในช่วงระยะเวลา 0-12 เดือน ทำให้ทราบว่าข้าวเปลือกหอมมะลิเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นเมื่อนำมาผลิตเป็นข้าวแผ่นกรอบจะมีค่าความแข็งลดลง ดังนั้นในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งที่ไม่แตกต่างกัน ควรเลือกใช้ข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาที่ไม่ต่างกันมาก ๆ แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยเมื่อนำมาทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้บริโภคไม่สามารถแยกความแตกต่างในด้านความกรอบและคุณลักษณะโดยรวมได้ แม้ว่าการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของข้าวเปลือกระหว่างการเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะไมโลส พฤติกรรมการให้ความเหนียวและการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน โดยค่าเหล่านี้ได้บ่งชี้ว่าโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงขึ้น แต่เมื่อนำข้าวเปลือกมาผลิตเป็นข้าวแผ่นกรอบ คุณสมบัติต่าง ๆ นี้ก็ไม่ได้ส่งผลเด่นชัดต่อผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ ส่วนค่าความหนาแน่นและอัตราส่วนการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ก็น่าจะเป็นเพราะค่าการดูดซึมน้ำและคุณภาพการหุงต้มที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ในกระบวนการผลิตข้าวแผ่นกรอบนั้นขั้นตอนการแช่ข้าวมีความสำคัญมากเพราะมีผลต่อการไม่แข็ง

โดยข้าวที่ดูดซึมน้ำมากเมื่อนำมาโม่จะได้ขนาดอนุภาคเล็กกว่าข้าวที่ดูดซึมน้ำต่ำ (รุ่งนภา, 2543) ทำให้

เนื้อสัมผัสมีความแข็งลดลง ส่วนการพองตัวขึ้นกับค่าการดูดซึมน้ำเนื่องจากข้าวที่มีการดูดซึมน้ำได้ดีจะทำให้เมล็ดสตาร์ชพองตัวได้มากขึ้น อัตราส่วนการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบจึงเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเฉพาะตัวพบว่ามีค่าลดลงแต่ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกจึงไม่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะโดยทั่วไปของข้าวแผ่นกรอบ ในการผลิตข้าวแผ่นกรอบจึงสามารถนำข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษาตามสภาวะที่ใช้ในการทดลองนี้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ 14 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบเชิงพรรณนาของข้าวแผ่นกรอบ (rice
รักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

crackers) ซึ่งผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิ ที่เก็บ

คุณลักษณะ	เดือนที่						
	0	2	4	6	8	10	12
ความแข็ง	7.33 ± 1.29 ^c	8.07 ± 1.05 ^{bc}	7.82 ± 1.36 ^{bc}	7.89 ± 1.10 ^{bc}	8.92 ± 1.27 ^a	8.46 ± 1.70 ^{ab}	8.15 ± 1.29 ^b
ความกรอบ	7.77 ± 1.24	8.17 ± 1.36	7.78 ± 1.63	8.21 ± 1.01	7.71 ± 1.41	7.81 ± 1.38	7.79 ± 1.10
กลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์	8.32 ± 1.03 ^a	8.02 ± 1.30 ^{ab}	7.64 ± 1.33 ^{bc}	7.60 ± 1.05 ^{bc}	7.32 ± 1.34 ^c	7.31 ± 1.21 ^c	7.39 ± 1.57 ^{bc}
กลิ่นหืน	1.59 ± 1.55	1.54 ± 1.55	1.41 ± 1.40	1.26 ± 1.37	1.35 ± 1.23	1.54 ± 1.56	1.44 ± 1.46
คุณลักษณะโดยรวม	7.13 ± 1.67	7.40 ± 1.21	6.88 ± 1.53	7.11 ± 1.33	7.11 ± 1.45	7.37 ± 1.50	7.26 ± 1.19

a,b,...,c = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกัน ในแถวเดียวกันจะ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 5

สรุปผล

จากการศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลิ ในกระสอบป่าน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวสาร แปะง้าว และข้าวแผ่นกรอบ สรุปผลได้ดังนี้

5.1 คุณสมบัติของข้าวสาร

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว โดยค่าความชื้นลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษาและมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลิไม่มีผลต่อการดูดซึมน้ำของข้าวสารและคุณภาพการหุงต้มของข้าวทั้งน้ำหนักและปริมาตรของข้าวสุก

5.2 คุณสมบัติของแปง้าว

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในแปง้าว โดยความชื้นลดต่ำกว่าค่าความชื้นเริ่มต้นการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน น้ำตาลรีดิวซ์ ค่าทีบีเอและความสามารถในการละลายในแปง้าวหอมมะลิ แต่มีผลต่อค่ากำลังการพองตัว

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวมีผลต่อปริมาณอะไมโลสในแปง้าว ซึ่งเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลทำให้สีของแปง้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยค่าความสว่างลดลงและค่าความเข้มของสีเพิ่มขึ้น

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลต่อพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงความชื้นของแป้งข้าว โดยค่าความชื้นต่ำสุด การคืนตัว ความชื้นสุดท้ายและอุณหภูมิที่ความชื้นเริ่มเพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความชื้นสูงสุดและค่าการสูญเสียความชื้นลดลง โดยการเพิ่มขึ้นของค่าการคืนตัวบ่งชี้ว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ข้าวสุกมีความแข็งเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่ความชื้นเริ่มเพิ่มขึ้นมีเพิ่มสูงขึ้น จะมีผลทำให้ระยะเวลาการหุงต้มเพิ่มขึ้นด้วย

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลต่ออุณหภูมิของการเกิดเจลาตินในเซชันและรีโทรกราเดชัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลาตินในเซชันด้วย แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปีของการเกิดรีโทรกราเดชัน

5.3 คุณสมบัติทางด้านกายภาพของข้าวแผ่นกรอบ

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบทั้งค่าความแข็งและค่าความเค้นเฉือน แต่ไม่มีผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นอบแห้ง

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่มีผลต่อการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ ทั้งค่าอัตราการพองตัวและความหนาแน่น

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกมีผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความแข็ง กลิ่นเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีค่าลดลง แต่ไม่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะด้านความกรอบ กลิ่นหืนและคุณลักษณะโดยรวมของข้าวแผ่นกรอบ

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรมีการศึกษาต่อไปถึงผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโปรตีนในข้าว ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพและเคมีกายภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

5.4.2 ควรมีการศึกษาต่อไปถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชทั้งในส่วนอสัณฐานและผลึกในระหว่างการเก็บรักษาข้าวด้วย

5.4.3 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลของสภาวะในการเก็บรักษาข้าวเปลือกและกรรมวิธีการผลิตข้าวแผ่นกรอบในระดับอุตสาหกรรมกับสภาวะในการเก็บรักษาและกรรมวิธีการผลิตข้าวแผ่นกรอบตามการทดลองนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2527. ข้าวและการทำนา. สถาบันวิจัยข้าว, กรุงเทพมหานคร. 70 น.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 276 น.
- งามชื่น คงเสรี. 2539. คุณภาพข้าวสารและข้าวสุก. เอกสารการฝึกอบรมหลักสูตรการรักษากุณภาพข้าวสารและการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออก. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร. 23 น.
- ชนินันท์ วรรณนะหทัย. 2542. การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทยและการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. 211 น.
- ชาญ มงคล. 2536. ข้าว. ตำราเอกสารวิชาการฉบับที่ 63. ภาพพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยการศึกษานิสิต. กรมวิชาการฝึกหัดครู, กรุงเทพมหานคร. 43 น.
- จรรย์ พินิชกุล. ธันวาคม 2537. แป้ง (Starch) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้แป้งสุก. วารสารจารย์พา ฉบับที่ 11, 22-24 น.
- นลินรัตน์ สุภวันต์ และ สิริลักษณ์ พัฒนพันธ์. 2544. ข้าว. มาตรการรับจำนำข้าวเปลือกในปี. คณะกรรมการนโยบายข้าว, กรุงเทพมหานคร. 67 น.
- นฤศันส์ วาสิกคิดล. 2541. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวหอมมะลิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 108 น.
- นิธิยา รัตนปนนท์. 2539. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 277-284 น.
- นิตา นาคสวย และ วิณารัตน์ สุพลมาตย์. 2542. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ. การศึกษารายบุคคล. มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม. 82 น.
- ประพาส วีระแพทย์. 2531. ความรู้เรื่องข้าว. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพมหานคร. 29 น.
- พัชรี ตั้งตระกูล. 2537. การเก็บรักษาคุณภาพของข้าวหอมมะลิ 105 (หอมมะลิ) โดยเทคนิคทางการบรรจุ. โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 4 น.
- พีชยา จิระธรรมกิจกุล. 2541. ผลของสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวกล้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 140 น.

- เพลงพิน ศิวาพรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร. 56 น.
- ภัทรพร ธัญญวินิชกุล. 2540. ผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร. 172 น.
- ราชบัณฑิตยสถาน. 2546. พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2545. บริษัทนานมีบุ๊คส์พับลิเคชันส์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 182 น.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2543. การวิเคราะห์กระบวนการเจลาตินในเซชันและรีโทรกราเดชันที่มีผลต่อความพองตัวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว. โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 23 น.
- ละมุด วิเศษ. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร. 69 น.
- ลินดา พงศ์ผาสุก. 2537. การผลิตข้าวเคลือบกลิ่นหอม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 135 น.
- สุภาวดี ขาวสังข์. 2542. การเปลี่ยนแปลงของไขมันในข้าวเปลือกหอมมะลิเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปสระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 115 น.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. เคมีทางธัญญาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 148 น.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2534. เคมีธัญญาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 75 น.
- อัจฉรา จิตตลดากร เบญจมาศ อยู่ประเสริฐ และ ทฤษฎี ภัทรดิลก. 2540. การจัดการการผลิตข้าวฟืนและฟืนอาหารสัตว์ หน่วย 1-7. สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพมหานคร. 449-504 น.
- AOAC. 1995. Official Method of the Association of Official Chemistry. 5th ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia. 1298 p.

- Baker, L.A. and Duarte, R. 1998. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperature and effect of salt and sugar. *Cereal Chemistry*. 75(3): 308-314.
- Bason, M.L., Gras, P.W., Banks, H.J. and Esteres, L.A. 1990. A qualitative study of the influence of temperature, water activity and storage atmosphere on the yellowing of paddy endosperm. *Journal of Cereal Science*. 12: 193-201.
- Caldwell, E.F. and Grogg, B. 1955. Application of the thiobarbituric acid test to cereal and baked products. *Food Technology*. 9: 185 -186.
- Charstil, J. 1990(a). Protein- starch interactions in rice grain: influence of storage on oryzenin and starch. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 38: 1804-1809.
- Charstil, J. 1990(b). Chemical and physicochemical changes of rice during storage at different temperatures. *Journal of Cereal Science*. 11: 71-85.
- Charstil, J. 1994. Effect of storage on the physicochemical properties and quality factors of rice, 49-75 pp. *In* Marshall, E.W. and James, I.W. (ed.). *Rice Science and Technology*. 1st ed., Marcel Dekker. Inc., Louisiana.
- Copeland, L.O. and Mc.Donald, M.O. 1985. *Principles of Seed Science and Technology*. Burgess Publishing Company, Minnesota. 321 p.
- Daniels, J.M., Marks, P.B., Siebenmorgen, J.T., Mcnew, W.R. and Meullenet, F.J. 1998. Effect of long-grain rough rice storage history on end-use quality. *Journal of Food Science*. 63(5): 832-835.
- Dhaliwal, Y.S., Sekhon, K.S. and Nagi, H.P.S. 1991. Enzymatic activities and rheological properties of stored rice. *Cereal Chemistry*. 68(1): 18-21.
- Gujral, S.H. and Kumar, V. 2003. Effect of accelerated aging on the physicochemical and texture properties of brown and milled rice. *Journal of Food Engineering*. 59: 117-121.
- Houston, D.F. 1972. *Rice: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul., Inc., Minnesota. 517 p.
- Juliano, B.O. 1965. Relation of starch composition protein content and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. *Food Technology*. 19: 116-120.

- Juliano, B.O. 1985. Critical and testing for qualities, 441-542 pp. *In* B.O. Juliano (ed.).
Rice: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists.
St. Paul, Inc., Minnesota.
- Lii, C.Y., Tsai, L.M. and Tseng, H.K. 1996. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chemistry*. 73(4): 415-420.
- Lu, S.C. and Luh, S.B. 1991. Rice snack foods, 690-697 pp. *In* B.S. Luh (ed.). Rice Production and Utilization. 1st ed., Van Nos Trand Reinhold, USA.
- Marshall, W.E., Normand, F.L. and Goynes, W.R. 1990. Effect of lipid and protein removal on starch gelatinization in whole grain milled rice. *Cereal Chemistry*. 67(5): 458-463 p.
- Martin, M. and Fitzgerald, A.M. 2002. Protein in rice grain influence cooking properties. *Journal of Cereal Science*. 36: 285-294.
- Moritaka, S. and Yasumatsu, K. 1985. Studies on cereal.X. The effect of sulfhydryl groups on storage deterioration of milled rice, 437-454 pp. *In* B.O. Juliano. (ed.).
Rice: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists.,
St. Paul., Inc., Minnesta.
- Meullenet, F.J., Marks, P.B., Hankins, A.J., Griffin, K.V. and Daniels, J.M. 2000. Sensory quality of cooked long-grain rice as affected by rough rice moisture content, storage temperature and storage duration. *Cereal Chemistry*. 77(2): 259-263.
- Noomhorm, A., Kongseree, N. and Apintanapong, M. 1997. Effect of aging on the quality of glutinous rice cracker. *Cereal Chemistry*. 74(1): 12-15.
- Pearson, D. 1970. *The Chemical Analysis of Foods*. 6th ed., J & A. Churchill., London. 547 p.
- Perdon, A.A., Marks, B.P., Siebenmorgan, T.J. and Reid, N.B. 1997. Effect of rough rice storage conditions on the amylograph and cooking properties of medium-grain rice cv. Bengal. *Cereal Chemistry*. 74(6): 864-867.
- Perdon, A.A., Siebenmorgen, T.J., Buescher, R.W. and Gbur, E.E. 1999. Starch retrogradation and texture of cooked rice during storage. *Journal of Food Science*. 64(5): 828-832.
- Piggott, J.R., Morrison, W.R. and Clyne, J. 1991. Changes in lipids and in sensory attributes on storage of rice milled to different degrees. *Journal of Food Science and Technology*. 26: 615-628.

- Sowbhagya, C.M. and Bhattacharyat, K.R. 1971. Water-uptake by rice during cooking. *Cereal Chemistry*. 16(12): 420-424.
- Sowbhagya, C.M. and Bhattacharyat, K.R. 1976. Lipid antioxidation in rice. *Journal of Food Science*. 41: 1018-1023.
- Sowbhagya, C.M. and Bhattacharyat, K.R. 2001. Change in pasting behaviour of rice during aging. *Journal of Cereal Science*. 34: 115-124.
- Teo, H.C., Karim, A.A., Cheah, B.P., Norziah, H.M. and Seow, C.C. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. *Food Chemistry*. 69: 229-236.
- Wang, S.W. 1997. Starches and starch derivaties in expanded snack. *Cereal Food World*. 42: 743-745.
- Woods, A.E. and Aurand, L.W. 1977. *Laboratory Manual in Food Chemistry*. AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut. 72 p.
- Zhou, Z., Robardst, K., Helliwellt, S. and Blanchards, C. 2002. Aging of stored rice: change in chemical and physical attributes. *Journal of Cereal Science*. 35: 65-78.
- Zhou, Z., Robardst, K., Helliwellt, S. and Blanchards, C. 2003. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. *Food Reseach International*. 36: 625-634.
- Zhou, Z., Robardst, K., Helliwellt, S. and Blanchards, C. 2003. Fatty acid composition of three rice varieties following storage. *Journal of Cereal Science*. 37: 327-335.

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก ก

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวสาร

1.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

ชั่งตัวอย่างข้าวสารประมาณ 2 กรัม ให้น้ำหนักแน่นอนในภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิดที่ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่ นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส ประมาณ 8-10 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง คำนวณปริมาณความชื้น โดยน้ำหนักเปียก (wet basis) จาก

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

คำนวณปริมาณความชื้น โดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) จาก

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนักเปียก} \times 100}{(100 - \text{ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนักเปียก})}$$

1.2 ปริมาณการดูดซึมน้ำ (water uptake) (Noomhorm และคณะ, 1997)

นำตัวอย่างข้าวสารประมาณ 20 กรัม (น้ำหนักแห้ง) แช่ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 ชั่วโมงแล้วสะเด็ดน้ำออกโดยการเทน้ำผ่านกระชอน แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 50 ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำเทียบกับน้ำหนักของข้าวสารที่เริ่มทำการทดลอง ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนแช่น้ำ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (โดยน้ำหนักแห้ง)}}$$

1.3 คุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) (ดัดแปลงจาก Daniels และคณะ, 1998)

ชั่งข้าวสารประมาณ 20 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติม น้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วสะเด็ดน้ำออกโดยการเทน้ำผ่านกระชอน แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 50 ตั้งทิ้งไว้ 20 นาทีให้เย็น นำข้าวที่ได้มาชั่งน้ำหนัก (กรัม) และหาปริมาตร (มิลลิลิตร) โดยอาศัย หลักการแทนที่น้ำ นำมาคำนวณหาอัตราการเพิ่มน้ำหนักและอัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก (มิลลิลิตรต่อกรัม) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

$$\text{อัตราการเพิ่มน้ำหนักของข้าวสุก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสุก} - \text{น้ำหนักข้าวก่อนการหุงต้ม}}{\text{น้ำหนักข้าว (โดยน้ำหนักแห้ง)}}$$

$$\text{อัตราการขยายปริมาตรของข้าวสุก} = \frac{\text{ปริมาตรของข้าวสุก}}{\text{น้ำหนักของข้าวสาร (โดยน้ำหนักแห้ง)}}$$

2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของแป้งข้าว

2.1 ความชื้นของแป้งข้าว (AOAC, 1995)

ชั่งตัวอย่างแป้งประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอนในภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิดที่ ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่ นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส ประมาณ 8-10 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง คำนวณปริมาณความชื้น โดยน้ำหนักเปียก (wet basis) จาก

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

คำนวณปริมาณความชื้น โดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) จาก

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนักเปียก} \times 100}{(100 - \text{ร้อยละความชื้นโดยน้ำหนักเปียก})}$$

2.2 ปริมาณโปรตีน (AOAC, 1995)

ชั่งตัวอย่างแบ่งที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) บนกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 42 พับกระดาษให้ตัวอย่างอยู่ข้างใน ใส่ลงในขวดเคดาคขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโปแตสเซียมซัลเฟต 10 กรัมและคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้วกันการกระแทก (glass beads) 2-3 เม็ด แล้วนำไปย่อยโดยใช้เครื่องย่อยโปรตีน (digestion block, Gerhardt Kjeldatherm, Type TR, Germany) ในตู้ควันโดยช่วงแรกใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วจึงปรับอุณหภูมิเมื่อหมดฟองแล้วเป็น 380 องศาเซลเซียส ย่อยจนสารละลายใสมีสีเหลืองอ่อนหรือไม่มีสี ตั้งทิ้งไว้จนเย็น เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 70 มิลลิลิตร นำไปประกอบเข้ากับเครื่องกลั่นซูดิวเคราะห์โปรตีน (distillation unit, Gerhardt, VAP 33, Germany) ใส่ปลายของเครื่องควมแน่นให้อยู่ในสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร หยดอินดิเคเตอร์ (สารละลายเมทิลเรดความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ประมาณ 2 หยด กลั่นแอมโมเนียลงในขวดจนได้สารละลายในขวดประมาณ 200 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (ที่ผ่านการเทียบมาตรฐานด้วยสารละลายไดโซเดียมเตตระโบเรตเคอะไฮเดรต) จนได้สารละลายสีชมพูและทำแบบล่งค์เช่นเดียวกับตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ร้อยละโปรตีน} = \frac{(A-B) (M) (1.4007) (5.95)}{W}$$

A = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ไทเทรตกับแบบล่งค์

M = ความเข้มข้น (โมลาร์) ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม (น้ำหนักแห้ง)

2.3 ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1985)

ชั่งตัวอย่างแบ่ง 0.1000 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในขวดแก้วปรับปริมาตรพร้อมจุกปิดขนาด 100 มิลลิลิตรที่แห้งสนิท เติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เพื่อเกลี่ยให้แป้งกระจายออก เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 นอร์มอล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ใส่แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) ลงขวดแก้วเพื่อกวนบนแท่นให้ความร้อนพร้อมระบบกวนด้วยแม่เหล็ก นาน 10 นาที นำแท่งแม่เหล็กออก และล้างสารละลายที่ติดมาให้กลับลงไปใน

ขวดด้วยน้ำกลั่น เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร เป็นสารละลายตัวอย่าง เตรียมขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร เติมกรดเกลือซีลอะซีติกเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและเติมสารละลายไอโอดีนความเข้มข้นร้อยละ 0.2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) 2 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดน้ำแข็งจากขวดสารละลายตัวอย่างประมาณ 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ทำแบบลงค์เหมือนกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยนำขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร เติมกรดเกลือซีลอะซีติกความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 2 มิลลิลิตรและเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer, Model G10 Series, USA.) ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร ทำกราฟมาตรฐานของโปเตโตอะไมโลสบริสุทธิ์ตามวิธีการข้างต้น เพื่อคำนวณปริมาณของอะไมโลส ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

2.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ดัดแปลง Pearson, 1970)

ชั่งตัวอย่างแป้งที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 10 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในขวดแก้วรูปลูกชมพู่ที่มีจุลปิคนขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าในเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เทส่วนใสผ่านกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 50 ปิดสารละลายที่กรองได้ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองที่มีฝาปิด เติมสารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (Dinitrosalicylic acid, DNS) 2 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือด 5 นาที แล้วแช่น้ำเย็นทันที เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมวอร์เทค ทำแบบลงค์โดยใช้ น้ำกลั่นแทนสารละลายตัวอย่าง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการ

ดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer, Model G10 Series, Germany) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร คำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จากกราฟมาตรฐานของสารละลายกลูโคสซึ่งได้จากการทำปฏิกิริยาตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

2.5 ค่าทีบีเอ (thiobarbituric acid number, TBA No.) (ดัดแปลงจาก Wood และ

Aurand, 1977 และ ลินดา, 2537)

ชั่งตัวอย่างแป้ง 10 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเปิดมา 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซีติก (ethylene diamine tetraacetic, EDTA) ความเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารกันหืน (บิวไทเลตไฮดรอกซีแอลโนลีน (butylated hydroxyalcolene, BHA) 0.3 กรัม ใน

โพรไพลีนไกลคอล (propyleneglycol, PG) 5.4 กรัม ผสมกับบิวไทเลตไฮดรอกซีโทลูอิน (butylated hydroxytoluene, BHT) 0.3 กรัมในสารละลายทวิน 20 (Tween 20) 4.0 กรัม ที่อุ่นแล้ว) จำนวน 3 หยด เติมสารละลายกรดไทโอบาบิทรูริก (thiobarbitulic acid, TBA) (1.0 กรัมใน โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) จำนวน 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย กรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid, TCA) และไฮโดรคลอริก (hydrochloric, HCl) (TCA: HCl: น้ำ = 50: 30: 420 มิลลิลิตร) 17 มิลลิลิตร พ่นก๊าซไนโตรเจนแล้วปิดฝาให้แน่น เตรียม แบลงก์โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเบ็งเติมสารละลายเช่นเดียวกับวิธีที่กล่าวมา นำไปต้มในอ่างควบคุม อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เปิด สารละลายตัวอย่าง 15 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดเหวี่ยง เติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้า กันด้วยเครื่องผสมวอร์เทค แล้วเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยง (Hettich Zentrifugen, Universal 16/16R, Germany) ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ค่อย ๆ รินของเหลวจาก ส่วนบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer, Model G10 Series, Germany) ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร คำนวณค่าทีบีเอ โดยค่าทีบีเอ (TBA No.) หมายถึง ปริมาณมาโลนอลดีไฮด์ (mg) ของตัวอย่าง 1 กิโลกรัมเท่ากับค่าการดูดกลืน แสงของตัวอย่าง 1 กรัม (ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร) คูณด้วยแฟกเตอร์ 4.6 ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

2.6 กำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (degree of solubility) (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่หลอดเหวี่ยงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เขย่าตลอดเวลา 30 นาที ด้วยอัตราเร็ว 80 รอบต่อนาที แล้ว เหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยง (Hettich Zentrifugen, Universal 16/16R, Germany) ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที คูดของเหลวใสตอนบนใส่ถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณส่วนที่ละลายน้ำ นำส่วนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเหลืออยู่ในหลอดนำมาชั่ง น้ำหนักเพื่อหา กำลังการพองตัว ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง โดยคำนวณจาก

$$\text{ร้อยละของการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ไม่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละของการละลาย})}$$

2.7 พฤติกรรมการให้ความหนืด (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543)

ซึ่งตัวอย่างแป้ง 3 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในภาชนะอะลูมิเนียม เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร (ได้ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 12) นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA, Newport Scientific, Model RVA 4, Australia) ตามโปรแกรม STD 1 คือ เริ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 1 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิไปที่ 95 องศาเซลเซียส แล้วคงไว้จนถึงนาที่ที่ 7.3 แล้วจึงลดอุณหภูมิไปที่ 50 องศาเซลเซียสในนาที่ที่ 11.1 สิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 12.5 นาที ความเร็วรอบเริ่มต้น 960 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 วินาที หลังจากนั้นใช้ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาที ตลอดการทดสอบ ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง ได้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) การสูญเสียความหนืด (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) การคืนตัว (setback) และอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น (pasting temperature)

2.8 การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน (ดัดแปลงจากกล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2543 และ Baker และคณะ, 1998)

ใช้ตัวอย่างแป้งประมาณ 3.5 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) และเติมน้ำให้ได้ร้อยละ 70 ของน้ำหนักทั้งหมด ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียม ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน (Differential Scanning Calorimetry, DSC, Pyris 1, USA.) โดยใช้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส คงไว้ 5 นาที แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 100 องศาเซลเซียสโดยใช้อัตราเร็ว 5 องศาเซลเซียสต่อนาที กำหนดหาค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาคิโนเซชัน (T_g , °C) และค่าเอนทัลปีการเกิดเจลาคิโนเซชัน ($\Delta H_{\text{gelatinization}}$, J/g) จากนั้นนำตัวอย่างในถ้วยอะลูมิเนียมเก็บไว้ในตู้แช่เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิการเกิดรีโทรกราเดชัน (T_r , °C) และค่าเอนทัลปีการเกิดรีโทรกราเดชัน ($\Delta H_{\text{retrogradation}}$, J/g) ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบ

3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบ

$$\text{ความแข็ง (hardness)} = \frac{\text{ค่าแรงสูงสุด (maximum force, N)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

$$\text{ความเค้นเฉือน (shear stress)} = \frac{\text{ค่าแรงสูงสุด (maximum force, N)} / \text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (mm}^2\text{)}}$$

3.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการพองตัวของข้าวแผ่นกรอบ

นำตัวอย่างข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบมา 10 แผ่น ชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาหา

ปริมาตรด้วยการแทนที่ด้วยทรายละเอียด โดยใช้ทรายละเอียดในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ให้เต็ม ใช้ไม้บรรทัดบาดทรายส่วนเกินออก (จะได้ทรายที่มีปริมาตร 250 มิลลิลิตร) เททรายออกจากบีกเกอร์นั้น แล้วเริ่มหาปริมาตรของตัวอย่าง โดยเททรายละเอียดลงในบีกเกอร์เดิม วางตัวอย่างบนทรายละเอียด เติมทรายให้ปิดตัวอย่างแผ่นแรก กระทบบีกเกอร์เพื่อให้ทรายละเอียดแน่น วางตัวอย่างลงทีละแผ่น เติมทรายละเอียด ทำสลับกันไปจนครบทั้ง 10 แผ่น นำทรายละเอียดส่วนที่เหลือมาหาปริมาตร โดยวัดด้วยกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มาคำนวณ

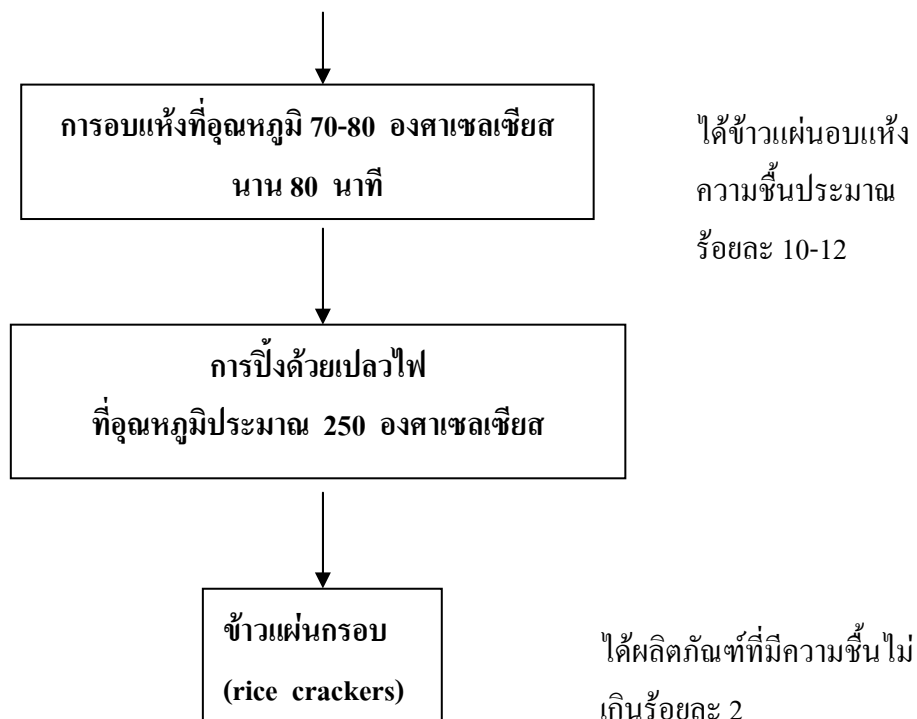
$$\text{ความหนาแน่น (g/ml)} = \frac{\text{น้ำหนักของข้าวแผ่นกรอบ (g)}}{\text{ปริมาตรของข้าวแผ่นกรอบ (ml)}}$$

$$\text{อัตราส่วนการพองตัว} = \frac{\text{ปริมาตรของข้าวแผ่นกรอบ}}{\text{ปริมาตรของข้าวแผ่นอบแห้ง}}$$

ภาคผนวก ข

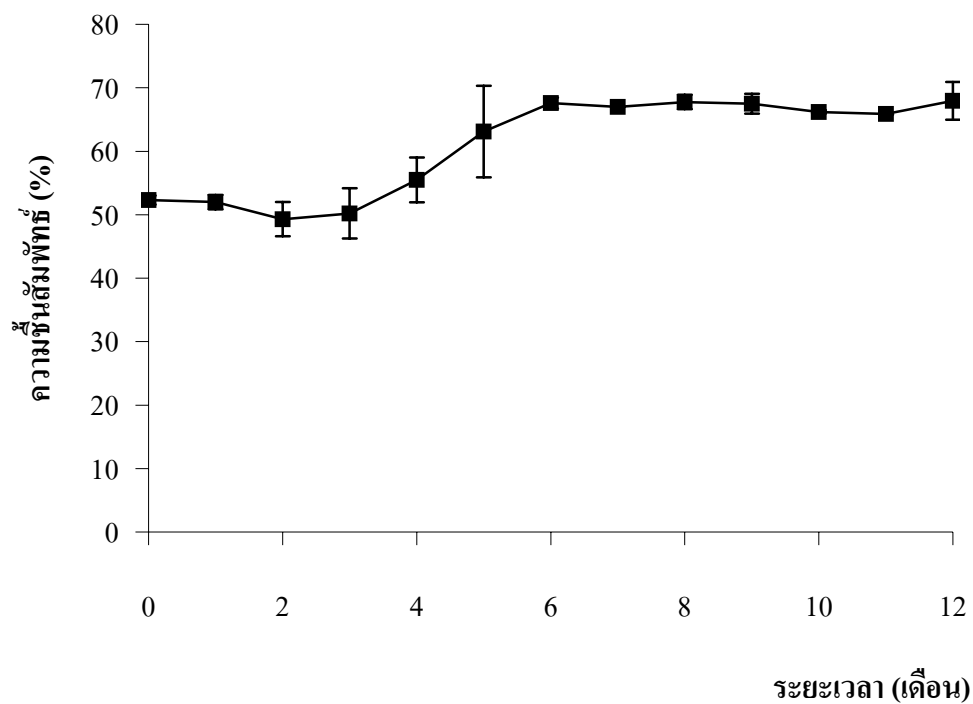


รูปผนวกที่ ข-1 แผนผังการผลิตข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers)

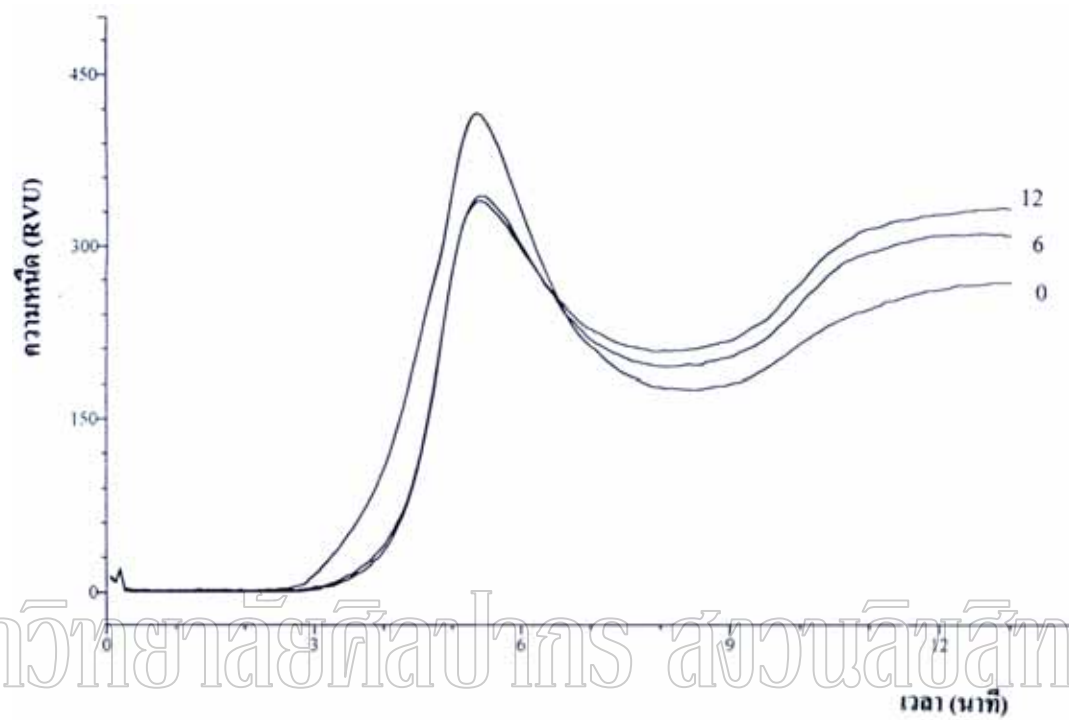


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รูปผนวกที่ ข-1 (ต่อ) แผนผังการผลิตข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers)



รูปผนวกที่ ข-2 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวเปลือกหอมมะลินในช่วงระยะเวลา 0-12 เดือน (เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 - มกราคม พ.ศ. 2547)



รูปผนวกที่ ข-3 พฤติกรรมการให้ความหนืดของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0, 6 และ 12 เดือน

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ค-1 ปริมาณความชื้นของข้าวสาร ข้าวเปลือกหอมมะลิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องซึ่งเก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ความชื้นข้าวสาร (% โดยน้ำหนักแห้ง)	ความชื้นข้าวเปลือก (% โดยน้ำหนักแห้ง)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
0	14.62 ± 0.12 ^a	14.78 ± 0.30	52.30 ± 0.71
1	14.60 ± 0.57 ^a	14.62 ± 0.19	52.00 ± 1.13
2	13.05 ± 0.08 ^{gh}	13.82 ± 0.21	49.30 ± 2.69
3	13.14 ± 0.02 ^{fg}	13.34 ± 0.11	50.20 ± 3.96
4	13.49 ± 0.05 ^{cde}	13.55 ± 0.14	55.50 ± 3.54
5	13.20 ± 0.05 ^{efg}	13.27 ± 0.13	63.10 ± 7.21
6	13.63 ± 0.09 ^{cd}	13.74 ± 0.17	67.60 ± 0.85
7	13.78 ± 0.03 ^{bc}	13.89 ± 0.18	67.00 ± 0.00
8	14.05 ± 0.29 ^b	14.15 ± 0.20	67.75 ± 1.13
9	13.67 ± 0.16 ^{cd}	13.80 ± 0.16	67.50 ± 1.56
10	13.51 ± 0.04 ^{cde}	13.69 ± 0.08	66.20 ± 0.28
11	13.43 ± 0.07 ^{def}	13.56 ± 0.08	65.90 ± 0.14
12	12.76 ± 0.02 ^h	12.99 ± 0.17	67.95 ± 2.97

a,b,...,h = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ก-2 ปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวสารที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บ
รักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	การดูดซึมน้ำ (% โดยน้ำหนักแห้ง)
0	45.83 ± 3.86
1	45.86 ± 5.17
2	46.21 ± 3.88
3	49.41 ± 1.82
4	45.42 ± 1.10
5	45.86 ± 5.17
6	44.26 ± 1.96
7	43.65 ± 5.76
8	44.37 ± 4.88
9	45.99 ± 3.43
10	52.05 ± 1.15
11	46.91 ± 3.69
12	46.02 ± 3.19

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ ก-3 น้ำหนักและปริมาณของข้าวสุกที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษา ไว้ที่ อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	น้ำหนักข้าวสุก (กรัมต่อกรัม โดยน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณข้าวสุก (มิลลิกรัมต่อกรัม โดยน้ำหนักแห้ง)
0	4.90 ± 0.64	4.59 ± 0.62
1	4.71 ± 0.33	4.31 ± 0.38
2	5.05 ± 0.53	4.80 ± 0.60
3	5.67 ± 0.71	5.22 ± 0.65
4	5.35 ± 0.53	5.05 ± 0.39
5	5.19 ± 0.15	4.83 ± 0.16
6	5.25 ± 0.78	4.91 ± 0.81
7	4.73 ± 0.49	4.49 ± 0.52
8	4.81 ± 0.23	4.41 ± 0.37
9	5.26 ± 0.30	4.86 ± 0.21
10	4.69 ± 0.32	4.35 ± 0.29
11	4.89 ± 0.13	4.61 ± 0.17
12	4.94 ± 0.22	4.63 ± 0.22

ตารางผนวกที่ ก-4 ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งการเก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ความชื้น (% โดยน้ำหนักแห้ง)
0	9.84 ± 0.10 ^a
1	9.19 ± 0.22 ^{bc}
2	8.93 ± 0.25 ^{cd}
3	8.92 ± 0.14 ^{cd}
4	9.75 ± 0.42 ^a
5	9.58 ± 0.31 ^{ab}
6	8.99 ± 0.12 ^{cd}
7	8.91 ± 0.30 ^{cd}
8	9.82 ± 0.39 ^a
9	9.01 ± 0.18 ^{cd}
10	9.07 ± 0.09 ^{cd}
11	8.76 ± 0.14 ^d
12	8.68 ± 0.22 ^d

a,b,...,d = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ค-5 ปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่
อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
0	4.75 ± 0.02
1	4.71 ± 0.17
2	4.72 ± 0.05
3	4.76 ± 0.06
4	4.74 ± 0.03
5	4.76 ± 0.07
6	4.81 ± 0.14
7	4.95 ± 0.04
8	4.83 ± 0.05
9	4.85 ± 0.29
10	4.90 ± 0.01
11	4.89 ± 0.12
12	4.72 ± 0.06

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ ก-6 ปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ปริมาณอะไมโลส (% โดยน้ำหนักแห้ง)
0	21.16 ± 1.73 ^h
1	22.85 ± 0.88 ^{fg}
2	22.49 ± 1.04 ^g
3	23.21 ± 0.48 ^{efg}
4	23.53 ± 0.43 ^{defg}
5	23.78 ± 0.75 ^{de}
6	24.07 ± 0.18 ^{de}
7	24.35 ± 0.42 ^{cde}
8	24.73 ± 0.73 ^{def}
9	24.69 ± 0.71 ^{bcd}
10	25.54 ± 0.15 ^{abc}
11	25.60 ± 0.20 ^{ab}
12	26.54 ± 0.31 ^a

a,b,...,g = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ก-7 ค่าความสว่าง (L*) และความเข้มของสี ของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือก
หอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเข้มของสี ($a^*^2 + b^*^2$)	ค่า a*	ค่า b*
0	92.34 ± 0.17 ^a	3.30 ± 0.08 ^g	0.31 ± 0.00 ⁱ	3.28 ± 0.09 ^g
1	90.37 ± 0.06 ^g	3.85 ± 0.04 ^f	0.34 ± 0.01 ^h	3.83 ± 0.04 ^f
2	90.74 ± 0.02 ^{de}	4.40 ± 0.01 ^d	0.44 ± 0.00 ^f	4.37 ± 0.01 ^d
3	90.51 ± 0.18 ^{fg}	4.40 ± 0.22 ^d	0.47 ± 0.04 ^{de}	4.37 ± 0.21 ^d
4	91.68 ± 0.09 ^b	3.86 ± 0.04 ^f	0.34 ± 0.03 ^h	3.84 ± 0.04 ^f
5	91.13 ± 0.10 ^c	4.16 ± 0.07 ^e	0.38 ± 0.01 ^g	4.14 ± 0.07 ^e
6	90.83 ± 0.05 ^d	4.44 ± 0.02 ^d	0.45 ± 0.01 ^{ef}	4.44 ± 0.02 ^d
7	90.35 ± 0.09 ^g	4.78 ± 0.07 ^c	0.48 ± 0.02 ^d	4.76 ± 0.07 ^c
8	89.93 ± 0.11 ^h	4.97 ± 0.07 ^b	0.69 ± 0.02 ^a	4.92 ± 0.06 ^b
9	90.52 ± 0.09 ^{fg}	4.73 ± 0.04 ^c	0.62 ± 0.02 ^c	4.69 ± 0.04 ^c
10	90.62 ± 0.02 ^{ef}	4.99 ± 0.06 ^b	0.65 ± 0.02 ^b	4.95 ± 0.06 ^b
11	89.81 ± 0.07 ^h	5.36 ± 0.08 ^a	0.68 ± 0.02 ^{ab}	5.32 ± 0.08 ^a
12	89.89 ± 0.13 ^h	5.25 ± 0.06 ^a	0.70 ± 0.01 ^a	5.20 ± 0.06 ^a

a,b,...,i = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ก-8 ค่าร้อยละการละลายและค่ากำลังการพองตัวและของแป้งข้าวที่ได้จาก
ข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	ร้อยละการละลาย	กำลังการพองตัว (% โดยน้ำหนักแห้ง)
0	5.66 ± 1.90	13.01 ± 0.12 ^{cd}
1	8.02 ± 2.83	12.75 ± 0.08 ^{cd}
2	7.76 ± 1.16	12.96 ± 0.16 ^{cd}
3	7.60 ± 3.45	13.72 ± 0.21 ^b
4	5.07 ± 0.01	14.46 ± 0.15 ^a
5	6.02 ± 0.03	12.76 ± 0.08 ^{cd}
6	5.83 ± 0.56	12.42 ± 1.20 ^{de}
7	5.38 ± 0.67	12.77 ± 0.56 ^{cd}
8	6.74 ± 1.54	13.07 ± 0.21 ^{bcd}
9	7.20 ± 0.10	13.00 ± 0.14 ^{cd}
10	7.07 ± 2.20	12.83 ± 0.26 ^{cd}
11	7.42 ± 0.41	13.38 ± 0.25 ^{bc}
12	7.41 ± 0.39	12.03 ± 0.26 ^e

a,b,...,e = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ค-9 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการให้ความหนืดของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน โดยแสดงค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) การสูญเสียความหนืด (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) การกั้นตัว (setback) และอุณหภูมิที่ทำให้ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น (pasting temperature)

เดือนที่	peak viscosity (RVU)	trough (RVU)	breakdown (RVU)	final viscosity (RVU)	setback (RVU)	pasting temperature (องศาเซลเซียส)
0	414.03 ± 10.10 ^a	174.25 ± 11.08 ^e	239.78 ± 2.14 ^a	267.42 ± 9.12 ^f	103.97 ± 9.34 ^e	68.55 ± 4.32 ^d
1	377.50 ± 10.49 ^b	165.67 ± 9.58 ^e	212.17 ± 5.43 ^b	264.17 ± 7.98 ^f	98.31 ± 3.42 ^d	69.42 ± 1.63 ^d
2	369.83 ± 14.57 ^b	191.72 ± 5.73 ^d	178.11 ± 8.87 ^c	294.33 ± 4.42 ^e	102.61 ± 3.82 ^d	76.17 ± 0.97 ^{abc}
3	345.86 ± 12.61 ^{cde}	189.80 ± 5.72 ^d	156.11 ± 7.00 ^e	295.98 ± 6.84 ^e	106.15 ± 2.11 ^d	75.85 ± 0.83 ^{abc}
4	345.97 ± 12.75 ^{cde}	189.83 ± 5.75 ^d	156.14 ± 7.01 ^e	295.97 ± 6.83 ^e	106.14 ± 2.00 ^d	75.85 ± 0.80 ^{abc}
5	369.58 ± 7.12 ^b	204.17 ± 7.33 ^{bc}	165.42 ± 3.68 ^d	320.22 ± 5.63 ^{cd}	116.06 ± 1.87 ^c	76.70 ± 0.80 ^{abc}
6	344.22 ± 10.25 ^{de}	198.50 ± 8.41 ^{cd}	145.72 ± 3.65 ^f	314.41 ± 10.72 ^d	115.92 ± 2.32 ^c	75.32 ± 3.28 ^{bc}
7	361.28 ± 1.93 ^b	206.36 ± 4.37 ^{abc}	154.92 ± 3.84 ^e	326.56 ± 1.50 ^{bc}	120.20 ± 3.16 ^{abc}	78.00 ± 0.95 ^{ab}
8	364.53 ± 8.44 ^b	208.56 ± 7.05 ^{abc}	155.97 ± 1.53 ^e	327.64 ± 4.46 ^{bc}	119.08 ± 3.13 ^{bc}	77.47 ± 0.03 ^{abc}
9	339.42 ± 3.90 ^e	200.17 ± 3.56 ^{cd}	139.25 ± 0.50 ^{fg}	321.06 ± 3.76 ^{cd}	120.89 ± 0.84 ^{abc}	78.05 ± 0.48 ^{ab}
10	360.83 ± 13.99 ^{bcd}	217.08 ± 6.14 ^a	143.75 ± 7.89 ^f	342.94 ± 9.42 ^a	125.86 ± 3.30 ^a	76.93 ± 0.98 ^{abc}
11	343.22 ± 8.37 ^e	212.28 ± 3.64 ^{ab}	130.94 ± 6.11 ^g	337.03 ± 4.60 ^{ab}	124.75 ± 0.98 ^{ab}	78.85 ± 0.48 ^a
12	320.14 ± 7.91 ^f	203.55 ± 4.98 ^{bc}	116.58 ± 3.29 ^h	328.64 ± 3.05 ^{bc}	125.08 ± 1.96 ^a	74.55 ± 2.46 ^c

a,b,...,h = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ค-10 อุณหภูมิและค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลลาตินในเซชันและรีโทรกราเดชันของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิ ซึ่งผ่านการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

เดือนที่	เจลลาตินในเซชัน		รีโทรกราเดชัน	
	อุณหภูมิ (T_g) (องศาเซลเซียส)	เอนทาลปี (ΔH , J/g)	อุณหภูมิ (T_r) (องศาเซลเซียส)	เอนทาลปี (ΔH , J/g) (ns)
0	63.30 ± 0.38 ^{de}	3.02 ± 0.05 ^{cd}	45.23 ± 0.98 ^b	1.49 ± 0.18
1	62.76 ± 0.69 ^e	3.12 ± 0.18 ^{bcd}	46.35 ± 0.02 ^b	1.25 ± 0.09
2	62.76 ± 0.69 ^{cde}	3.38 ± 0.08 ^{ab}	46.42 ± 0.05 ^b	1.21 ± 0.04
3	63.29 ± 0.02 ^{cde}	3.29 ± 0.15 ^{abc}	46.30 ± 0.12 ^b	1.60 ± 0.23
4	63.42 ± 0.17 ^{bcd}	3.38 ± 0.26 ^{ab}	46.32 ± 0.07 ^b	1.32 ± 0.25
5	63.56 ± 0.44 ^{bcd}	3.52 ± 0.23 ^a	45.17 ± 2.51 ^b	1.18 ± 0.06
6	63.60 ± 0.06 ^{abcd}	3.33 ± 0.05 ^{abc}	46.57 ± 0.41 ^b	1.39 ± 0.09
7	63.90 ± 0.12 ^{ab}	3.32 ± 0.35 ^{abc}	45.19 ± 2.54 ^b	1.32 ± 0.30
8	64.04 ± 0.08 ^a	3.42 ± 0.06 ^{ab}	47.00 ± 0.05 ^b	1.18 ± 0.19
9	63.82 ± 0.12 ^{abc}	3.12 ± 0.42 ^{bcd}	45.67 ± 2.28 ^b	1.37 ± 0.28
10	63.16 ± 0.72 ^{de}	2.82 ± 0.05 ^d	46.88 ± 0.13 ^b	1.40 ± 0.42
11	63.52 ± 0.17 ^{abcd}	3.31 ± 0.16 ^{abc}	46.96 ± 0.06 ^b	1.05 ± 0.08
12	63.94 ± 0.06 ^{ab}	3.17 ± 0.01 ^{bc}	49.85 ± 2.35 ^a	1.16 ± 0.19

a,b,...,d = ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันคือไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาคผนวก ง

นียมศัพท์ลักษณะคุณภาพในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers)

ความแข็ง	หมายถึงปริมาณแรงที่ใช้ฟันหน้ากัดจนขนมแตก ทดสอบโดยกัดด้วยฟันหน้า 1 ครั้ง
ความกรอบ	หมายถึงความประะของผลิตภัณฑ์ เมื่อเคี้ยวขนม ทดสอบโดยเคี้ยวขนมในปาก
กลิ่นเฉพาะของขนม	หมายถึง กลิ่นอันพึงประสงค์ ซึ่งเป็นกลิ่นเฉพาะตัวของขนม เมื่อเคี้ยวในปาก
กลิ่นหืน	หมายถึง กลิ่นไม่พึงประสงค์ เกิดจากออกซิเดชันของไขมัน เมื่อเคี้ยวในปาก
คุณลักษณะโดยรวม	หมายถึงคุณลักษณะทุกด้านของผลิตภัณฑ์ ทั้งความแข็ง ความกรอบ กลิ่นเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหืนและรสชาติของผลิตภัณฑ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก จ



รูปผนวกที่ จ-1 ตัวอย่างข้าวเปลือกหอมมะลิที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปผนวกที่ จ-2 เครื่องสีข้าว (K-1,Thailand)



มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สงวนลิขสิทธิ์
รูปผนวกที่ จ-3 เครื่องโม่บดแบบค้อน (hammer mill, Retsch, GmbH 5657 HAAN, Germany)



รูปผนวกที่ จ-4 เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser, RVA, Newport Scientific, Model RVA-4, Australia)



รูปผนวกที่ จ-5 เครื่องวัดสี (colorimeter, Color-view™ spectrophotometer, Model 9000, USA.)

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสัตว์



รูปผนวกที่ จ-6 เครื่องย่อยโปรตีน (digestion block, Gerhardt Kjeldatherm, Type TR, Germany)



รูปผนวกที่ จ-7 ชุดวิเคราะห์โปรตีน (distillation unit, Gerhardt, VAP 33, Germany)



รูปผนวกที่ จ-8 เครื่องเขย่า (shaker, Gerhardt, LS 2/5 RO 2/5, Germany)



รูปผนวกที่ จ-9 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน (Differential Scanning Calorimeter, DSC, Pyris 1, USA.)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปผนวกที่ จ-10 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, Scarsdale, Model TA-XT2I, Tech Corp, USA.)



รูปผนวกที่ จ-11 หัววัดเนื้อสัมผัส (base set with Warner Brazer probe)

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



รูปผนวกที่ จ-12 เครื่องนวดสองแขน (two-arm mixer, King Machines, Thailand)



รูปผนวกที่ จ-13 เครื่องรีดโด (roller, OFM FP-2, Thailand)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปผนวกที่ จ-14 ข้าวแผ่นอบแห้ง (rice pellets)



รูปผนวกที่ จ-15 ข้าวแผ่นกรอบ (rice crackers)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางผนวกที่ จ-1 การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณความชื้นของข้าวสารที่ได้จากข้าวเปลือก
หอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	6.62	0.55	25.10	< 0.0001*
Error	26	0.57	0.02		
Total	38	7.19			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ จ-2 การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณการดูดซึมน้ำของข้าวสารที่ได้จากข้าวเปลือก
หอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	180.12	15.01	1.22	0.32 (ns)
Error	26	320.88	12.34		
Total	38	501			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-3 การวิเคราะห์ทางสถิติคุณภาพการหุงต้มในด้านน้ำหนักของข้าวสุกของข้าวสาร
ที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา
0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	3.09	0.26	1.21	0.32 (ns)
Error	26	5.51	0.21		
Total	38	8.60			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-4 การวิเคราะห์ทางสถิติคุณภาพการหุงต้มในด้านปริมาตรของข้าวสุกของ
ข้าวสารที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็น
ระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	2.76	0.23	1.09	0.41 (ns)
Error	26	5.51	0.21		
Total	38	8.27			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-5 การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณความชื้นของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	4.28	0.36	8.47	< 0.0001*
Error	26	1.09	0.04		
Total	38	5.37			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-6 การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	0.22	0.02	1.40	0.23 (ns)
Error	26	0.34	0.01		
Total	38	0.56			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-7 การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	73.79	6.15	11.82	<0.0001*
Error	26	13.53	0.52		
Total	38	87.31			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-8 การวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	0.015	0.01×10^{-1}	2.00	0.07 (ns)
Error	26	0.016	6.26×10^{-4}		
Total	38	0.031			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-9 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าที่บีบของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	0.49	0.02	1.84	0.09 (ns)
Error	26	0.58	0.02		
Total	38	1.07			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-10 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
ค่าสว่าง					
Time	12	18.59	1.55	148.76	<0.0001 *
Error	26	0.27	0.01		
Total	38	18.86			
ค่าเข้มของสี					
Time	12	13.02	1.09	160.94	<0.0001 *
Error	26	0.18	0.01		
Total	38	13.20			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวนวัฒนวิทย

ตารางผนวกที่ ฉ-11 การวิเคราะห์ทางสถิติค่าดัชนีการฟองตัวของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	12.79	1.07	6.52	<0.0001 *
Error	26	4.25	0.16		
Total	38	17.04			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-12 การวิเคราะห์ทางสถิติความสามารถในการละลายของแป้งข้าวที่ได้จาก
ข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12
เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	35.30	2.94	1.15	0.36 (ns)
Error	26	66.38	2.55		
Total	38	101.67			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางผนวกที่ ฉ-13 การวิเคราะห์ทางสถิติพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือก
หอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
ความหนืดสูงสุด					
Time	12	19433.52	1619.46	16.56	<0.0001 *
Error	26	2542.80	97.80		
Total	38	21976.32			
ความหนืดต่ำสุด					
Time	12	10509.35	875.78	17.68	<0.0001 *
Error	26	1288.16	49.54		
Total	38	11797.51			
การสูญเสียความหนืด					
Time	12	46388.69	3865.72	145.30	<0.0001 *
Error	26	691.72	26.60		
Total	38	47080.42			
ความหนืดสุดท้าย					
Time	12	26926.08	2243.84	36.49	<0.0001 *
Error	26	1598.83	61.49		
Total	38	28524.91			
การคืนตัว					
Time	12	3971.83	330.99	17.77	<0.0001 *
Error	26	484.30	18.63		
Total	38	4456.13			
อุณหภูมิที่ความหนืดเริ่ม เพิ่มขึ้น					
Time	12	456.50	38.04	10.93	<0.0001 *
Error	26	90.48	3.48		
Total	38	546.98			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-14 การวิเคราะห์ทางสถิติการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนแป้งข้าวที่ได้จาก
ข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12
เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
อุณหภูมิการเกิด					
เจลาตินในเซชัน					
Time	12	4.77	0.40	3.41	0.004*
Error	26	3.03	0.12		
Total	38	7.81			
เอนทาลปีของการเกิด					
เจลาตินในเซชัน					
Time	12	1.29	0.11	2.76	0.01*
Error	26	1.02	0.04		
Total	38	2.31			
อุณหภูมิการเกิด					
รีโทรกราเดชัน					
Time	12	53.17	4.43	2.34	0.03*
Error	26	49.31	1.90		
Total	38	102.47			
เอนทาลปีของการเกิด					
รีโทรกราเดชัน					
Time	12	0.82	0.07	1.50	0.19 (ns)
Error	26	1.18	0.05		
Total	38	2.00			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-15 การวิเคราะห์ทางสถิติการเกิดโรโทรกราเดชันของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
Time	12	1336.45	111.37	2.14	0.05 (ns)
Error	26	1350.86	51.96		
Total	38	2687.31			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-16 การวิเคราะห์ทางสถิติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
ความแข็งของข้าวแผ่นอบแห้ง					
rep	1	117.37	2.18	2.18	0.14
Time	12	956.89	1.48	1.48	0.13 (ns)
Error	246	13228.03	53.77		
Total	259	14302.29			
ความแข็งของข้าวแผ่นกรอบ					
rep	1	109.16	109.16	21.67	<0.0001
Time	12	167.26	13.94	2.77	0.002*
Error	246	1239.02	5.04		
Total	259	1515.44			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-16 (ต่อ) การวิเคราะห์ทางสถิติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวแผ่นอบแห้งและข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
ความเค้นเคียนของข้าวแผ่นอบแห้ง					
rep	1	6.25×10^{-6}	6.23×10^{-6}	0.10	0.75
Time	12	1.24×10^{-3}	1.04×10^{-4}	1.66	0.08 (ns)
Error	246	0.02	6.23×10^{-5}		
Total	259	0.02			
ความเค้นเคียนของข้าวแผ่นกรอบ					
rep	1	1.79×10^{-3}	21.1	21.10	<0.0001
Time	12	5.02×10^{-5}	4.92	4.92	<0.0001*
Error	246	2.09×10^{-4}	8.50×10^{-7}		
Total	259	2.77×10^{-4}			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-17 การวิเคราะห์ทางสถิติความหนาแน่นและการฟองตัวของข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากที่ข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
ความหนาแน่น					
rep	1	4.00×10^{-3}	3.70×10^{-4}	0.21	0.65
Time	12	0.04	3.40×10^{-3}	1.93	0.05 (ns)
Error	64	0.11	0.02×10^{-1}		
Total	77	0.15			
อัตราการผลิต					
rep	1	0.62	0.62	2.40	0.13
Time	12	3.30	0.28	1.06	0.41 (ns)
Error	64	16.64	0.26		
Total	77	20.56			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-18 การวิเคราะห์ทางสถิติด้านประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
ความแข็ง					
rep	1	28.18	28.18	16.68	<0.0001
panel	11	42.94	3.90	2.33	0.01
Time	6	36.35	6.06	3.59	0.002 [*]
Error	149	251.73	1.69		
Total	167	359.18			
ความกรอบ					
rep	1	6.88	6.88	3.83	0.052
panel	11	20.69	1.88	1.05	0.41
Time	6	6.19	1.03	0.57	0.75 (ns)
Error	149	267.47	1.80		
Total	167	301.24			
กลิ่นเฉพาะของผลิตภัณฑ์					
rep	1	4.94	4.94	3.70	0.056
panel	11	91.63	8.33	6.24	<0.0001
Time	6	21.30	3.55	2.66	0.02 [*]
Error	149	198.94	1.34		
Total	167	316.82			

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ฉ-18 (ต่อ) การวิเคราะห์ทางสถิติด้านประสาทสัมผัสของข้าวแผ่นกรอบที่ผลิตจากข้าวเปลือกหอมมะลิซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 0-12 เดือน

Source	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean Square (MS)	F value	Sig
กลิ่นหืน					
rep	1	0.81	0.81	1.56	0.21
panel	11	243.22	22.11	42.21	<0.0001
Time	6	1.77	0.29	0.56	0.76 (ns)
Error	149	78.04	0.52		
Total	167	323.84			

คุณลักษณะโดยรวม

rep	1	34.93	34.93	22.84	<0.0001
panel	11	83.08	7.55	4.94	<0.0001
Time	6	4.59	0.77	0.54	0.81 (ns)
Error	149	227.80	1.53		
Total	167	350.40			

ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

