การเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องระหว่างการเก็บรักษา

RETROGRADATION OF CANNED RICE DURING STORAGE

เมยวดี แซ่เลี้ยว
MAYYAWADEE SAELEAW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-0708-70-9

การเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ระหว่างการเก็บรักษา

RETROGRADATION OF CANNED RICE DURING STORAGE

เมยวดี แซ่เลี้ยว
MAYYAWADEE SAELEAW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2547

ISBN 974-9708-70-9

RETROGRADATION OF CANNED RICE DURING STORAGE

MAYYAWADEE SAELEAW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

ISBN 974-9708-70-9

COPYRIGHT 2004
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องระหว่างการเก็บรักษา

ชื่อนักศึกษา นางสาวเมยวดี แซ่เลี้ยว

รหัสประจำตัว 45067012

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

พ.ศ. 2547

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย นาครักษา

บทคัดย่อ

การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) ของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง โดยใช้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลส 16.25 % (หอมมะลิ) และ 33.52 % (ขาวตาแห้ง) ฆ่าเชื้อที่ 116 °ซ ที่ระดับ F_0 เท่ากับ 1 และ 5 นาที ศึกษาโดยวัดความแข็งของเมล็ดข้าวในกระป๋องด้วยวิธี Modified Single Kernel พบว่า ความแข็งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับปริมาณอะไมโลส (r = 0.85) และระยะเวลาในการเก็บรักษา (r = 0.48) โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (33.52 %) จะมีอัตราการเกิดรีโทรกรา - เดชันเร็วและสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (16.25 %) และเมื่อศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันในข้าวที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด (L/W ratio) แตกต่างกัน ได้แก่ หอมมะลิ (3.19 ; เมล็ดยาว) และ โคชิฮิคาริ (1.67 ; เมล็ดสั้น) โดยมีระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 1 และ 5 นาที พบว่า รูปร่างของเมล็ดไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดรีโทรกราเดชัน นอกจากนี้ที่ระดับ F_0 เท่ากับ 5 นาที ข้าวจะมีความแข็งมากกว่า F_0 เท่ากับ 1 นาที (r = - 0.25) และเมื่อการเก็บรักษานานขึ้นจะทำให้ข้าวแข็งขึ้นหรือเกิดรีโทรกราเดชันมากขึ้น (r = 0.90) จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ที่ผลิตจากข้าวหอมมะลิ (อะไมโลสต่ำ) รวงแก้ว (อะไมโลสปานกลาง) และขาวตา-แห้ง (อะไมโลสสูง) ที่ระดับ F_0 เท่ากับ 1, 3 และ 5 นาที พบว่า ผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างของความแข็งและการยอมรับโดยรวมได้ ถึงแม้จะใช้ F_0 ในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน แต่เมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้น (หลังจากเดือนที่ 2) ในข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำผู้ชิมสามารถบอกความแตกต่างของความแข็งได้

Thesis Title	Retrogradation of Canned Rice During Storage
Student	Miss Mayyawadee Saeleaw
Student ID.	45067012
Degree	Master of Science
Programme	Food science
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Woatthichai Narkrugsa

ABSTACT

Retrogradations of canned rice during storage using rice containing amylose 16.25 % (Thai Hom Mali) and 33.5 % (Kaotahang) was conducted. Canned rice was sterilized at 116 °C with F_0 1 and 5 min. Retrogradation of canned rice was studied by measuring hardness of rice kernel with Modified Single Kernel Method. It was found that hardness had relationships to amylose contents (r = 0.85) and storage time (r = 0.48) at $P \leq 0.01$. Canned rice produced from the high amylose rice (33.52%) had significant higher of retrogradation than did from the low amylose rice (16.25%). Sterilization at F_0 1 and 5 min both for Koshihikari rice (L/W ratios = 1.67, short grain) and Thai Hom Mali rice (L/W ratios = 3.19, long grain), there was no correlation between retrogradation and L/W ratios. The hardness of rice at F_0 5 min had lower than did at F_0 1 min (r = - 0.25). The longer storage time showed the higher retrogradation (r = 0.90). Regarding with organoleptic test with untrained tasters for canned rice at F_0 1, 3 and 5 min of Thai Hom Mali (low amylose), Reungkeaw (intermediate amylose) and Kaotahang (high amylose), the results showed that F_0 had no effected on hardness and overall palatability scores after produced from each variety. But for longer storage time (after 2 months), the tasters were able to detect the different of the product texture, especially made from low amylose.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ และ ดร.กิตติชัย บรรจง ที่ได้ให้คำแนะนำจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสาทความรู้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณ บริษัทโอเรียนเต็ลแคน ที่ให้ความอนุเคราะห์กระป๋องจำนวน 2,500 ใบ เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ของโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณศารกิจ โรจน์วัฒนเมธี ที่ให้ความช่วยเหลือในขั้นตอนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคน ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่างๆ

สุดท้ายขอรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เมยวดี แซ่เลี้ยว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ..I

กิตติกรรมประกาศ...III

สารบัญ..IV

สารบัญตาราง..VI

สารบัญภาพ...VII

บทที่ 1 บทนำ..1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา...2

1.2 วัตถุประสงค์...2

1.3 ขอบเขตการวิจัย...2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย...2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง...3

2.1 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว..3

2.2 คุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน...5

2.3 องค์ประกอบของเม็ดสตาร์ช..10

2.4 การเกิดเจลาติไนเซชัน..14

2.5 การเกิดรีโทรกราเดชัน..17

2.6 วิธีการศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชัน...26

2.7 การวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร..29

2.8 การวัดเนื้อสัมผัสของข้าวสุก..30

2.9 การผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง...34

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ..39

3.1 วัตถุดิบ...39

3.2 อุปกรณ์การผลิต...39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 อุปกรณ์การตรวจสอบ..39

3.2 สถานที่ทดลอง..39

3.6 วิธีการทดลอง...40

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์...46

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..67

บรรณานุกรม...68

ภาคผนวก

ก วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ........................75

ข วิธีทดสอบคุณภาพการหุงต้ม..80

ค การคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน......................................82

ง ข้อมูลจากการทดลอง...91

จ แบบทดสอบทางประสามสัมผัส..93

ประวัติผู้เขียน...95

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การแบ่งประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลส..6

2.2 แสดงค่าความคงตัวของแป้งสุก..7

2.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายเมล็ดในด่างกับอุณหภูมิแป้งสุก..7

2.4 การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดีตามคุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน..9

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ..46

4.2 ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ..47

4.3 การดูดซึมน้ำ ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ..48

4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient ; r) ระหว่างปริมาณอะไมโลส และระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันในระหว่างการเก็บรักษา เป็นระยะเวลา 8 เดือน..52

4.5 แสดงค่าความแข็งของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มีระดับในการฆ่าเชื้อ $F_0 = 1$ และ $F_0 = 5$ นาน 8 เดือน เมื่อวัดด้วยวิธี Modified single kernel..52

4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวัดเนื้อสัมผัสด้วย Texture Analyser ในข้าวหอมมะลิสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเป็นระยะเวลา 8 เดือน..56

4.7 การทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวัดเนื้อสัมผัสด้วย Texture Analyser ในของข้าวรวงแก้วสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเป็นระยะเวลา 8 เดือน..59

4.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวัดเนื้อสัมผัสด้วย Texture Analyser ในข้าวขาวตาแห้งสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเป็นระยะเวลา 8 เดือน..62

4.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างรูปร่างของเมล็ด (L/W ratio) และ ระดับความร้อน ในการฆ่าเชื้อ ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน..65

4.10 แสดงค่าความแข็งของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มี L/W ratio แตกต่างกัน โดยมีระดับในการฆ่าเชื้อ $F_0 = 1$ และ $F_0 = 5$ นาน 8 เดือน เมื่อวัดด้วยวิธี Modified single kernel..65

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้าง Fringed micell	10
2.2	โครงสร้างของอะไมโลส	11
2.3	ลักษณะเกลียวของอะไมโลส	11
2.4	โครงสร้างของอะไมโลแพคติน	12
2.5	ลักษณะโครงสร้างของอะไมโลแพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน	13
2.6	ลักษณะโครงสร้างของอะไมโลแพคตินที่ประกอบด้วยสาย A, B และ C	13
2.7	การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลแพคตินในสารละลายสตาร์ชข้าว	14
2.8	การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชระหว่างการหุงต้ม	15
2.9	กลไกการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชข้าว พันธุ์ Akihikari	18
2.10	การรวมตัวของอะไมโลแพคตินสายสั้น (A และ B) ในสารละลายสตาร์ชเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานและหลังจากการอิ่มตัวระหว่างพันธะไฮโดรเจนของอะไมโลสและอะไมโลแพคติน	19
2.11	ลักษณะเกลียวของอะไมโลสในระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชัน	20
2.12	การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของโครงสร้างแสดงเป็นค่าโมดูลัสเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	21
2.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและการเกิดผลึก	21
2.14	Test Cell แบบ Ottawa Texture Measuring (OTMS)	31
2.15	Test Cell แบบ Back Extrusion	32
3.1	แสดงกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง	41
3.2	การเลือกเมล็ดข้าวและการวางเรียงบน Plate form	42
3.3	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดความแข็งของข้าวโดยการกด (Compression)	43
4.1	ความแข็งของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันที่ระดับการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 1 และ 5 นาที นาน 8 เดือน	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.2 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวหอมมะลิบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส และโดยวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer 57

4.3 ค่าเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมของข้าวหอมมะลิบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส....57

4.4 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวรวงแก้วบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส และโดยวัดด้วยเครื่อง Texture Analyser 60

4.5 ค่าเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมของข้าวรวงแก้วบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส....60

4.6 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวขาวตาแห้งบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส และโดยวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer 63

4.7 ค่าเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมของข้าวขาวตาแห้งบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส....63

4.8 ความแข็งของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มีรูปร่างของเมล็ดแตกต่างกัน ที่ระดับการฆ่าเชื้อ F_0 เท่ากับ 1 และ 5 นาที นาน 8 เดือน....66

ก 1 แสดงกราฟการให้ความร้อนกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่อุณหภูมิ 240 °ฟ เวลา 20 นาที....85

ก 2 แสดงกราฟการให้ความร้อนกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่อุณหภูมิ 240 °ฟ เวลา 30 นาที....87

ก 3 แสดงกราฟการให้ความร้อนกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่อุณหภูมิ 240 °ฟ เวลา 40 นาที....89

ก 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f_h / U กับ log g ที่ m + g = 160 ° ฟ

ง 1 ค่าความแข็งของข้าวหอมมะลิและข้าวขาวตาแห้งบรรจุกระป๋อง จากการทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อวัดโดยวิธี Modified single kernel นาน 8 เดือน....92

ง 2 ค่าความแข็งของข้าวหอมมะลิและข้าวโคชิฮิคาริบรรจุกระป๋อง จากการทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อวัดโดยวิธี Modified single kernel นาน 8 เดือน....92

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าว (Rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa*, L. ประมาณครึ่งหนึ่งของประชากรทั้งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน (Calories) ในการดำรงชีพ ในทวีปเอเชียประชากรมากกว่า 80 % บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศในเอเชียตะวันออกเชียใต้ ประชากรมากกว่า 80 % บริโภคข้าวเพื่อยังชีพ เฉลี่ยคนละ 120 กิโลกรัมต่อปี (FAO. 1992)

ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการพัฒนากระบวนการแปรรูปข้าวในรูปของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง เพื่อความสะดวกสบายในการรับประทานของผู้บริโภคและลดเวลาการหุงต้ม กระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในระดับอุตสาหกรรมเป็นกระบวนการที่ใช้ข้าวที่ผ่านการทำให้สุกบางส่วน (Partial Gelatinization) ด้วยไอน้ำ หรือน้ำร้อน แล้วนำมาบรรจุกระป๋อง ปิดผนึก และนำมาฆ่าเชื้อ คุณภาพของข้าวบรรจุกระป๋องที่สำคัญขึ้นกับคุณสมบัติของสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบและกระบวนการผลิต ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เมื่อสุกจะมีลักษณะนุ่มและเหนียว ส่วนข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง เมื่อสุกจะมีลักษณะร่วนและแข็ง ส่วนกระบวนการผลิต เช่น การกำหนดค่า F_0 ในกระบวนการผลิตหรือระยะเวลาในการต้มข้าวก่อนบรรจุ มีผลต่อเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค (วุฒิชัย นาครักษา. 2543)

การเปลี่ยนแปลงของข้าวที่สำคัญในระหว่างการแปรรูปและหลังการแปรรูปคือ การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) และการเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) ซึ่งมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนแปลงไป การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชในข้าวสุกมักเกิดในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะแข็งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture) ของข้าวสุกเป็นสมบัติที่สำคัญมากของข้าว และจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้ศึกษาสนใจในการศึกษาการเกิดรีโทกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเพื่อเป็นแนวทางวิจัยและพัฒนาคุณภาพของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องระหว่างการเก็บรักษา

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องกับปัจจัยในกระบวนการผลิต ปริมาณอะไมโลส และรูปร่างของเมล็ด ในระหว่างการเก็บรักษา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยนี้จะครอบคลุมเนื้อหาที่สำคัญของกระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และกายภาพ ของวัตถุดิบบางประการ และศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลส รูปร่างของเมล็ด กับปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการผลิต ที่มีต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน ด้วยวิธีการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส รวมถึงการทดสอบประสาทสัมผัสของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่ผ่านการเกิดรีโทรกราเดชัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ซึ่งเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม ในการพิจารณาเลือกกระบวนการผลิต และกำหนดระยะเวลาในการเก็บรักษา เพื่อให้ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องมีเนื้อสัมผัสที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้มากที่สุด

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว

คุณภาพของเมล็ดข้าวทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่างๆของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา หรือ ชั่ง ตวง วัดได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด (Grain weight) สีข้าวกล้อง (Pericarp color) ขนาด (Grain size) รูปร่างเมล็ด (Grain dimension) ลักษณะท้องไข่ (Chalkiness) ความใสของเมล็ด (Grain translucency) ความขาวของข้าวสาร (Whiteness of milled rice) และคุณภาพการขัดสี (Milling quality) (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

2.1.1 น้ำหนักเมล็ด

เป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุดและควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่ น้ำหนักเมล็ดจะแปรไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศก็มีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดด้วย จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ด พันธุ์ข้าวไทยจำนวน 344 พันธุ์ พบว่ามีน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง 1.16 – 4.17 กรัม ข้าวพันธุ์ดีของไทยที่รัฐบาลส่งเสริมให้ปลูกจะมีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด ระหว่าง 2.25 – 3.67 กรัม (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

2.1.2 สีข้าวกล้อง

เกิดจากสารที่เยื่อหุ้มผล (Pericarp) ส่วนเนื้อในของเมล็ดข้าวทุกชนิดมีสีขาวเสมอ จากการสำรวจพันธุ์ข้าวต่างๆ ในธนาคารเชื้อพันธุ์ข้าวของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี พบว่า ข้าวกล้องมี 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ ส่วนใหญ่มีสีขาว ข้าวกล้องที่มีสีแดงและม่วงมีสารพวกแอนโธไซยานิน (Anthocyanin pigment) ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดรำนานหรือใช้แรงกดมาก เพื่อทำให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออก เป็นผลทำให้ข้าวหักมาก มีปริมาณข้าวสารน้อย ดังนั้นข้าวกล้องที่มีสีอ่อนจึงเป็นที่นิยม เช่นสีขาวหรือน้ำตาล (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

2.1.3 ขนาดรูปร่างเมล็ด

ขนาด หมายถึง ความยาว ความกว้าง ความหนา และความป้อม หรือเรียวยาวของเมล็ดข้าวพวกอินดิก้า (Indica) จะมีรูปร่างเมล็ดเรียว พวกจาวานิก้า (Javanica) มีเมล็ดกว้างและหนา ส่วนพวกจาปอนนิก้า (Japonica) มีเมล็ดสั้นและกลม (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

Adair *et. al.* (1966) ได้จำแนกเมล็ดและรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องไว้ดังนี้

ขนาดของเมล็ดจำแนกตามความยาวของเมล็ดเป็น 4 พวก ดังนี้

ขนาดเมล็ด	ความยาว (มิลลิเมตร)
ยาวมาก	มากกว่า 7.5
ยาว	6.61 - 7.5
ยาวปานกลาง	5.51 - 6.60
สั้น	น้อยกว่า 5.50

รูปร่างเมล็ดจำแนกตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเป็น 3 พวก ดังนี้

รูปร่างเมล็ด	ความยาว / ความกว้าง
เรียว	มากกว่า 3.0
ปานกลาง	2.1 - 3.0
ป้อม	น้อยกว่า 2.1

2.1.4 ลักษณะท้องไข่

ลักษณะท้องไข่ ได้แก่ จุดขาวขุ่นคล้ายชอล์คที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ด เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นอย่างหลวมๆ ของเม็ดสตาร์ช (Starch granule) กับเม็ดโปรตีน (Protein body) ในเนื้อเมล็ด ลักษณะนี้ควบคุมโดยพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ลักษณะท้องไข่เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพและราคาของข้าว ข้าวที่เป็นท้องไข่มากเมื่อนำไปสีจะมีข้าวหักมากและเป็นข้าวเกรดต่ำได้ ข้าวเกรดสูงจะมีท้องไข่ได้ไม่เกิน 0.5 % (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

2.1.5 ความใสของเมล็ด

ความใสหรือความขุ่นของเมล็ด หมายถึง ความทึบแสง (Opaque) หรือความใส (Translucence) ของเนื้อเมล็ด ซึ่งจะสังเกตเห็นความแตกต่างได้ในเนื้อของข้าวเจ้า ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวจะมีลักษณะขุ่นอย่างเดียว ปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุของความใสหรือความขุ่นในเนื้อเมล็ดข้าวแต่อาจจะเนื่องจากทั้งพันธุ์ข้าวและพื้นที่เพาะปลูก เช่น ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเมล็ดใส แต่ที่ปลูกในภาคกลางบางแห่งจะค่อนข้างขุ่น เป็นต้น (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

2.1.6 ความขาวของข้าวสาร

ความขาวขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี (Degree of milling) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดราคาของข้าว อายุการเก็บข้าว โดยข้าวที่เก็บไว้นานๆ จะมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวสารที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

2.1.7 คุณภาพการสี

สิ่งที่เป็นผลผลิตจากการสีข้าว ได้แก่ แกลบ ประมาณ 20 - 24 % รำ 8 -10 % และข้าวสาร 68 – 70 % ของข้าวเปลือก ข้าวสารทั้งหมดจากการขัดขาวจะนำไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหัก ซึ่งจะได้แต่ละส่วนมากน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าวเปลือกก่อนการสี ปัจจัยที่มีคุณภาพต่อการสี ได้แก่ พันธุ์ข้าว การปฏิบัติรักษาก่อนการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การตากข้าวก่อนการนวดและหลังการนวด วิธีการนวดข้าว การเก็บรักษาและกระบวนการสี (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

2.2 คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน (Cooking and eating quality)

คุณภาพการหุงต้มและรับประทาน คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพมีความสำคัญต่อการทดสอบและประเมินคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน เนื่องจากความนิยมในการรับประทานของผู้บริโภคในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับคุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน เช่น ชาวญี่ปุ่นและเกาหลี นิยมข้าวนุ่มและเหนียวจับเป็นก้อน (วุฒิชัย นาครักษา. 2535) คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่มีผลต่อการหุงต้มและรับประทาน มีดังนี้

2.2.1 ปริมาณอะไมโลส (Amylose content)

สตาร์ชในเมล็ดข้าวมีอะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีอะไมโลส (Amylose) เป็นองค์ประกอบรอง อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะทึบแสง ไม่ร่วน และข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มากกว่าหรือที่เรียกกันว่าหุงขึ้นหม้อ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุกจะขึ้นกับสัดส่วนของอะไมโลเพคตินในสตาร์ช ข้าวเหนียวมักมีอะไมโลเพคตินเกือบทั้งหมด ทำให้ดูดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวเจ้า ข้าวสุกที่ได้จะเหนียวนุ่มกว่า สำหรับข้าวเจ้าในประเทศไทยมีส่วนประกอบของสตาร์ชที่มีอะไมโลสอยู่ระหว่าง 12 - 31 % โดยข้าวที่มีความอ่อนนุ่ม เช่น ข้าวดอกมะลิ 105 มีอะไมโลส 12 - 16 % จัดเป็นข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ

งามชื่น คงเสรี (2531) ได้แบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	1 - 2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมาก	2 - 9	เหนียวนุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	9 - 20	เหนียวนุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง	20 - 25	นุ่ม ค่อนข้างเหนียว
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	25 - 33	ร่วนแข็ง

ที่มา : ดัดแปลงจาก งามชื่น คงเสรี (2531)

2.2.2 ปริมาณโปรตีน (Protein content)

ปริมาณโปรตีนมีผลต่อการดูดน้ำของข้าวในระหว่างการหุงต้ม ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงต้องใช้เวลาในการหุงต้มนาน เนื่องจากร่างแหโปรตีนที่อยู่รอบเม็ดสตาร์ชจะเป็นตัวกั้นการดูดซึมน้ำของเม็ดสตาร์ช ข้าวที่มีโปรตีนต่ำ เมื่อหุงสุกจะมีความนุ่มและเกาะตัวกันมากกว่าข้าวที่มีโปรตีนสูง นอกจากนั้นโปรตีนยังมีผลต่อคุณภาพด้านสีของข้าว เมื่อหุงสุกแล้วข้าวที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำ เนื่องจากโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโดยทั่วไปมีอยู่ประมาณ 9.8 % ซึ่งนับว่าน้อย แต่ก็มีผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานเช่นเดียวกัน (Juliano *et. al.* 1965) ข้าวสุกไม่ว่าจะเป็นสายพันธุ์ใดก็ตามที่มีปริมาณโปรตีนต่ำจะมีความอ่อนนุ่ม ความเหนียวและมีกลิ่นรสมากกว่าข้าวที่มีโปรตีนสูง (Onatte *et. al.* 1964)

2.2.3 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

ความคงตัวของแป้งสุกขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสเป็นปัจจัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากแป้งสุกเมื่อเย็นตัวจะมีความแข็งหรือความคงตัวแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสเท่ากัน พบว่า ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกต่ำ ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกจะนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกสูง การหาค่าความคงตัวของแป้งสุก อาศัยหลักการทำให้แป้งใสโดยการต้มในสารละลายเบส แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และวัดระยะทางที่แป้งไหลไปเมื่อวางบนพื้นราบ สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute ; IRRI,1972) ได้จัดแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุกดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 การแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แป้งสุกแข็ง	น้อยกว่า 35
แป้งสุกค่อนข้างแข็ง	36 - 40
แป้งสุกปานกลาง	41 - 60
แป้งสุกอ่อน	มากกว่า 60

ที่มา : IRRI (1972)

2.2.4 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ข้าวที่มีความชื้นต่ำซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นข้าวเก่าจะหุงขึ้นหม้อ และมีความร่วนมากกว่าข้าวที่มีความชื้นสูงหรือข้าวใหม่ ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ง่าย ดังนั้นมาตรฐานข้าวของประเทศต่างๆ จึงได้กำหนดระดับความชื้นไว้ด้วย เช่น ประเทศไทยกำหนดความชื้นไม่เกิน 14 % (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534) สำหรับประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นระดับความชื้นอาจสูงถึง 16 % (Pomeranz. 1987)

2.2.5 อุณหภูมิของแป้งสุก (Gelatinization temperature)

เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจลและเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้ม โดยทั่วไปใช้เวลา 14 - 24 นาที เพื่อต้มเม็ดข้าวให้สุก ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงต้องใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกสามารถคาดคะเนได้โดยดูจากการทดสอบค่าการสลายเมล็ดในด่าง (Alkaline test) ของข้าว โดยสามารถแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุกเป็น 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายเมล็ดในด่างกับอุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก (^{o}ซ)	ประเภทอุณหภูมิของแป้งสุก	ค่าการสลายเมล็ดในด่าง
55 - 69	ต่ำ	6 - 7
70 - 74	ปานกลาง	4 - 5
74.5 - 79	สูง	2 - 3

ที่มา : Juliano *et. al.* (1980)

2.2.6 อัตราการขยายตัวของเมล็ดแป้งสุก (Elongation ratio)

ในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบ โดยเฉพาะในด้านยาว ในข้าวบางพันธุ์เมล็ดสามารถขยายตัวได้มาก ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษที่นิยม การที่เมล็ดยืดตัวได้มาก ทำให้เมล็ดข้าวสุกไม่เหนียวติดกัน คุณสมบัตินี้ช่วยเสริมให้ข้าวนั้นขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น (Juliano and Perez. 1984)

2.2.7 กลิ่นหอม (Aroma)

เป็นลักษณะพิเศษที่นิยมของคนไทยและผู้บริโภคบางกลุ่ม มีรายงานว่าข้าวที่มีกลิ่นหอมมีสาร 2-อะเซติล-1-ไพโรลีน (2–acetyl-1-pyroline) มากกว่าข้าวทั่วไป สารดังกล่าวนี้พบในข้าวหอมพันธุ์ต่างๆ ปริมาณ 0.04 - 0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม และในข้าวกล้องประมาณ 0.1 - 0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534)

2.2.8 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

หลังจากการเก็บเกี่ยว ภายในเมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ (Juliano *et. al.* 1985) กรณีของข้าวเจ้าจากรายงานของนักวิทยาศาสตร์ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลต่างๆ พอสรุปได้ดังนี้ คือ คุณภาพในการขัดสี ข้าวเมล็ดยาวที่เป็นข้าวเก่าจะมีเมล็ดแกร่งกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่ นอกจากนี้การดูดซับน้ำ (Water absorption) ของข้าวเก่าในระหว่างการหุงต้มก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน แต่น้ำข้าวจะมีของแข็งละลายน้ำ (Total soluble solid) น้อยลง ในขณะที่ข้าวเมล็ดสั้น เช่น ข้าวจาปอนนิก้า เมื่อนำข้าวเก่าที่เก็บไว้นานมาหุงจนสุก จะมีความเหนียว ความนุ่ม และความเลื่อมมันต่ำกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวได้ใหม่ๆ

งามชื่น คงเสรี (2531) ได้จัดแบ่งการจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดี ตามคุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน ดังในตารางที่ 2.4

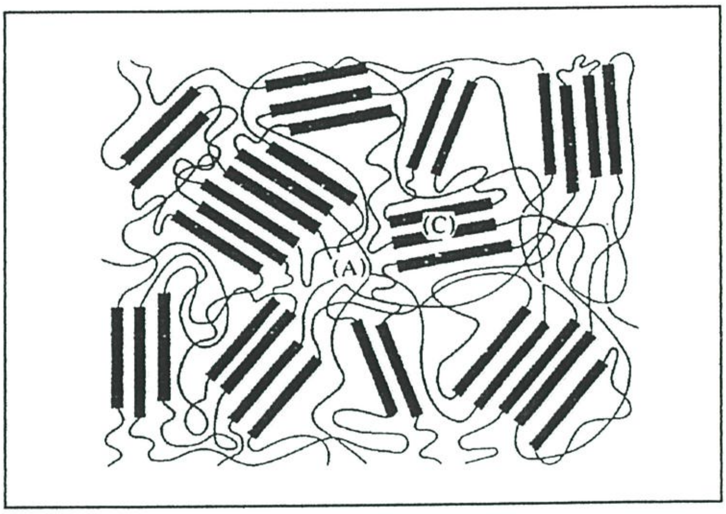
ตารางที่ 2.4 การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดีตามคุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน

พันธุ์ข้าว	เมล็ดยาว (มิลลิเมตร)	อะไมโลส	อุณหภูมิแป้งสุก	ความคงตัวของแป้งสุก
ข้าวสุกนุ่มและเหนียว				
ขาวดอกมะลิ105	7.4	12 - 17	ต่ำ	อ่อน
กข 15	7.5	14 - 17	ต่ำ	อ่อน
กข 21	7.3	17 - 20	ต่ำ	อ่อน
นางมล เอส 4	7.8	19 - 26	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน
ข้าวสุกไม่แข็ง				
ขาวปากหม้อ	7.7	24 - 46	ปานกลาง	อ่อน
ขาวตาแห้ง 17	7.5	26 - 28	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน
กข 7	7.2	24 - 28	ปานกลาง	อ่อน
กข 23	7.3	26 - 30	ปานกลาง	อ่อน
สุพรรณบุรี 60	7.5	19 - 26	ต่ำ	ปานกลาง
ข้าวสุกร่วน				
เหลืองใหญ่ 148	7.3	30 - 31	ต่ำ	อ่อน - ปานกลาง
น้ำสะกุย 19	7.6	30 - 31	ต่ำ	อ่อน - ปานกลาง
เหลืองประทิว 123	7.4	28 - 32	ต่ำ - ปานกลาง	อ่อน - แข็ง
ตะเภาแก้ว 161	7.5	30 - 32	ต่ำ	อ่อน
เล็บมือนาง 111	7.6	29 - 32	ต่ำ - ปานกลาง	แข็ง - อ่อน
ปิ่นแก้ว 56	7.5	29 - 31	ต่ำ - ปานกลาง	อ่อน
นางพญา 132	7.4	31 - 32	ต่ำ - ปานกลาง	อ่อน - แข็ง
กู้เมืองหลวง	8.4	28 - 30	ต่ำ	แข็ง
แก่นจันทร์	7.2	30 - 31	ต่ำ	อ่อน
กข 1	7.1	29 - 31	ต่ำ	แข็ง
กข 5	7.2	29	ต่ำ - ปานกลาง	อ่อน
กข 9	7.2	29 - 31	ต่ำ	แข็ง
กข 11	7.6	29 - 32	ต่ำ	แข็ง
กข 13	6.9	30 - 33	ต่ำ - ปานกลาง	อ่อน

ที่มา : ดัดแปลงจาก งามชื่น คงเสรี (2531)

2.3 องค์ประกอบของสตาร์ช

เม็ดสตาร์ช (Starch granule) เป็นโพลีเมอร์ลักษณะกึ่งผลึก (Semi-crystalline) ประกอบด้วยบริเวณอสัณฐาน (Amorphous region) และบริเวณผลึก (Crystalline region) แสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งโครงสร้างทั้งสองนี้สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและระดับความชื้น (Slade and Levine. 1991)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้าง Fringed micelle ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นระเบียบของ Crystalline region (C) และโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบของ Amorphous region (A)

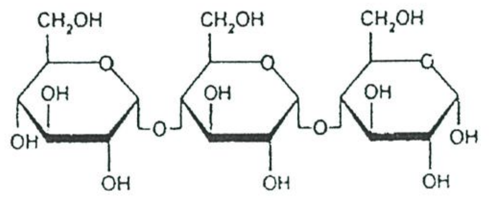
ที่มา : Slade and Levine (1991)

สตาร์ชเป็นโพลีเมอร์ของกลูโคส ประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคสิดิก (Glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายโพลีเมอร์ มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่าหมู่รีดิวซิง (Reducing end group) แป้งประกอบด้วยโพลีเมอร์ 2 ชนิด คือ โพลีเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และโพลีเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพคติน) วางตัวในแนวรัศมี (กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2542)

2.3.1 อะไมโลส

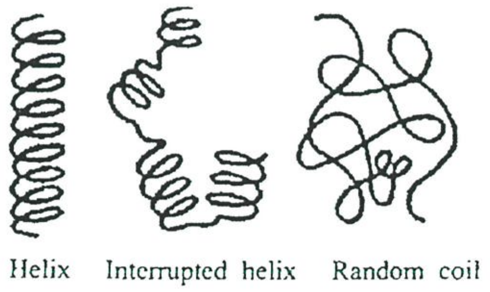
อะไมโลสเป็นโพลีเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา-1,4 -กลูโคสิดิก (α-1,4-glucosidic linkage) แสดงในภาพที่ 2.2 ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสตาร์ช อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของ

อะไมโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึก (Oates. 1997) โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเกลียวม้วน (Helix) เกลียวที่คลายตัว (Interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (Random coil) แสดงในภาพที่ 2.3 ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว (Whistler and Daniel. 1984)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : Oates (1984)



ภาพที่ 2.3 ลักษณะเกลียวของอะไมโลส

ที่มา : Whistler and Daniel (1984)

2.3.2 อะไมโลเพคติน

อะไมโลเพคตินเป็นโพลีเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-4กลูโคสิดิก และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาที่เป็นโพลีเมอร์ของกลูโคสสายสั้นมีระดับของโพลีเมอร์ไรเซชันอยู่ในช่วง 10 - 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-6 กลูโคสิดิก ดังภาพที่ 2.4 หน่วยกลูโคสที่มีพันธะแอลฟา 1-6 กลูโคสิดิก มีอยู่ประมาณ 5 % ของปริมาณหน่วยกลูโคส

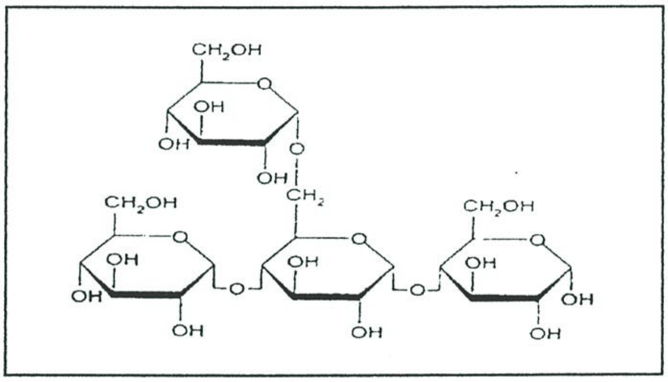
ในอะไมโลเพคตินทั้งหมด และมีอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพคตินประกอบด้วยสาย (Chain) 3 ชนิด

1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched structure)

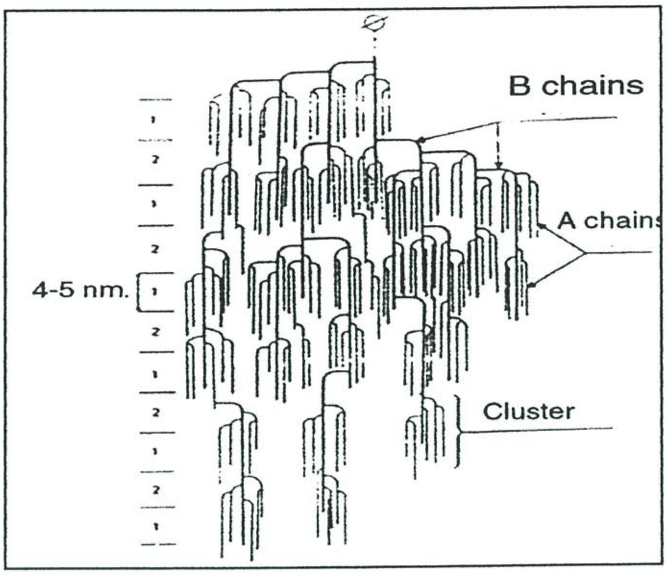
2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆสองสายหรือมากกว่า โครงสร้างของอะไมโลเพคตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 1 : 1

3) สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพคตินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C 1 สายเท่านั้น



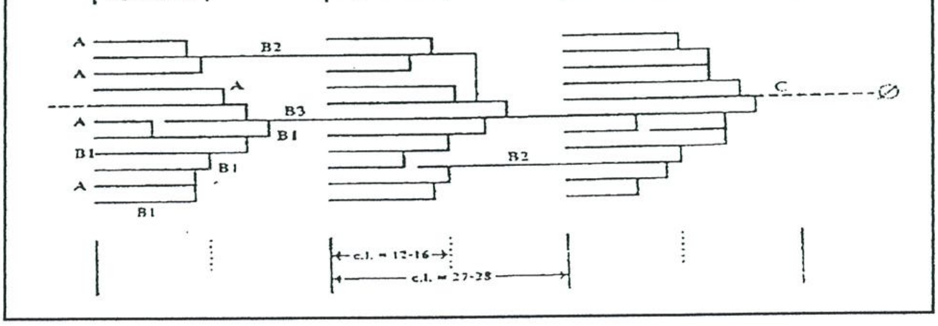
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน
ที่มา : Oates (1997)

Robin *et. al.* (1974) ศึกษาโครงสร้างอย่างละเอียดของอะไมโลเพคติน โดยใช้เอนไซม์เบต้า-อะไมเลส (β-amylase) ย่อยพันธะกิ่ง (Debranching enzyme) ในมันฝรั่ง โครงสร้างของอะไมโลเพคตินแสดงในภาพที่ 2.5 ส่วนที่หนึ่งแสดงถึงส่วนผลึก และส่วนที่สองแสดงถึงส่วนอสัณฐาน



ภาพที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน
ที่มา : Robin *et. al* . (1974)

Hizukuri (1986) แสดงแบบจำลองลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพคติน แสดงดังภาพที่ 2.6 ซึ่งมีอัตราส่วนของสาย A และ B เท่ากับ 1 : 1 และมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างอะไมไลซิส (Amylysis) ของอะไมโลเพคติน จากโครงสร้างของอะไมโลเพคติน ลักษณะสาย A และสาย B1 จะประกอบเป็นกลุ่มเดี่ยว สำหรับสาย B2 และ B3 มีความยาวของสายแผ่ออกไป ทำให้เกิดเป็นกลุ่มของสาย 2 และสาย 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของอะไมโลเพคตินที่ประกอบด้วยสาย A, B และ C
ที่มา : Hizukuri (1986)

2.4 การเกิดเจลาติไนเซชัน

2.4.1 ความหมายของการเกิดเจลาติไนเซชัน

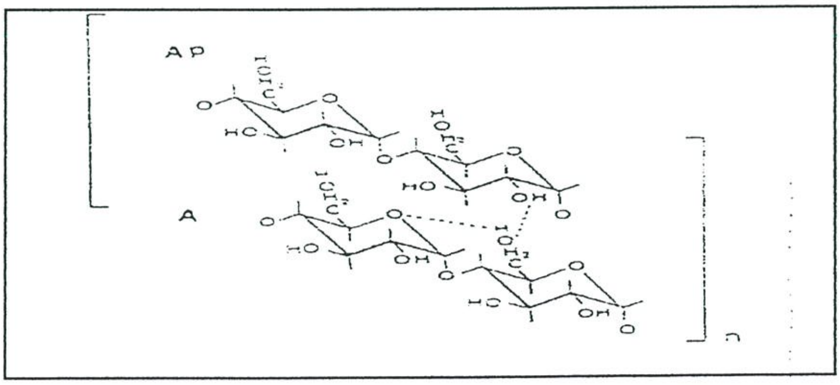
การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ช คือ การสูญเสียความเป็นระเบียบของโมเลกุลเม็ดสตาร์ช จนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการอย่างไม่ผันกลับ เช่น การพองของเมล็ด การหลอมเหลวของโครงสร้างผลึก (Native crystalline melting) การสูญเสียไบฟรินเจนซ์ (Birefringence) และความสามารถในการละลายของสตาร์ช จุดเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน และช่วงระยะของการเกิดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสตาร์ช ชนิดของเม็ดสตาร์ช และความแตกต่างกันระหว่างจำนวนเม็ดสตาร์ชที่นำมาศึกษา (Atwell *et. al.* 1988)

2.4.2 กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน

การเกิดเจลาติไนเซชันเป็นผลมาจากการแตกของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสตาร์ช กลไกการเกิดเจลาติไนเซชันมี 2 ขั้นตอน (Marchant and Blanshard. 1978) คือ

ขั้นตอนที่ 1 การกระจายของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้ง

เมื่อนำเม็ดสตาร์ชมาละลายในน้ำเย็น เม็ดสตาร์ชจะดูดน้ำและพองตัวแบบผันกลับ และยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบไบฟรินเจนซ์ได้ Tako and Hizukuri (2000) เสนอรูปแบบการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของสตาร์ชข้าวพันธุ์ Nihonbare ในสารละลายแขวนลอยก่อนเกิดเจลาติไนเซชัน แสดงดังภาพที่ 2.7 พบว่าการเกิดไฮโดรเจนในสตาร์ชจะเกิดขึ้นที่ออกซิเจนตำแหน่งที่ 6 ของอะไมโลสและหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ตำแหน่งที่ 2 ของอะไมโลเพคติน



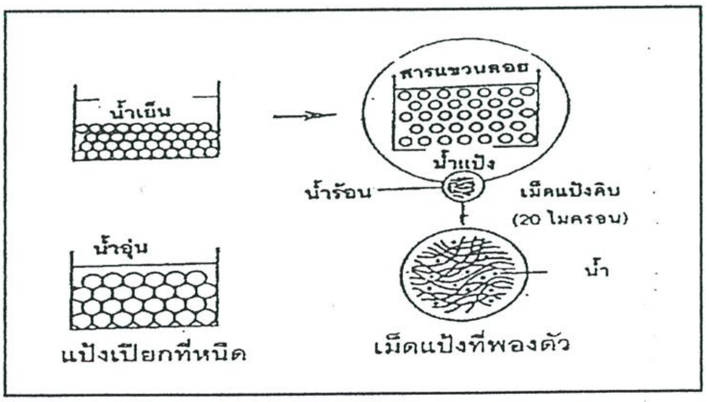
ภาพที่ 2.7 การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในสารละลายสตาร์ชข้าว (เส้นประ = พันธะไฮโดรเจน, A = อะไมโลส และ AP = อะไมโลเพคติน (A และ B1))

ที่มา : Tako and Hizukuri (2000)

ขั้นตอนที่ 2 การพองตัวและการหลอมเหลว

เมื่อนำสารละลายสตาร์ชที่มีปริมาณมากพอ (ความชื้น 70 %) มาให้ความร้อน ผลึกของเม็ดสตาร์ชที่จับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย น้ำจะถูกดูดซึมเข้าไปในช่องว่างของเม็ดแป้งและจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชทำให้เม็ดแป้งพองตัว ในระหว่างการให้ความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนสถานะระหว่างผลึก และบริเวณอสัณฐาน ระบบจะดูดความร้อน (Endotherm process) เพื่อทำให้บริเวณอสัณฐานเปลี่ยนสภาพคล้ายแก้ว (Glassy state) ซึ่งแข็งและเปราะเปลี่ยนไปเป็นสภาพยาง (Rubbery state) ที่ยืดหยุ่น ความหนืดลดลง กิ่งก้านของอะไมโลเพคตินในบริเวณอสัณฐาน มีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น ทำให้บริเวณผลึกมีสถานะไม่คงที่ อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ เรียกว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature : T_g)

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นระบบจะดูดความร้อนเป็นครั้งที่สอง ทำให้บริเวณผลึกเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว (Amorphous fluid) อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า อุณหภูมิหลอมตัวผลึก (Melting temperature : T_m) คุณสมบัติของเม็ดสตาร์ชเปลี่ยนแปลงมากกว่า T_g การเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิหลอมตัวผลึกนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบอันดับหนึ่ง (First order transition) ในช่วงนี้เม็ดสตาร์ชจะแตกออก อะไมโลสซึ่งละลายน้ำได้ดีกว่าจะออกจากเม็ดสตาร์ชเข้าไปในสารละลาย ตามด้วยอะไมโลเพคตินและจับกันแน่นจนแยกไม่ออก เกิดเป็นเจล ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน และอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า อุณหภูมิเจลาติ-ไนเซชัน หรืออุณหภูมิแป้งสุก การเกิดเจลาติไนเซชันไม่ได้เกิดที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่จะเกิดช่วงประมาณ 68° - 82 °ซ (Noel *et. al.* 1993) การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชระหว่างหุงต้มแสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชในระหว่างการหุงต้ม

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอต (2542)

Yrjo (1995) พบว่าการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งหรือสตาร์ชจะเกิดได้สมบูรณ์หรือไม่สามารถพิจารณาได้จาก

1) การสูญเสียไบฟรินเจนซ์ของเม็ดสตาร์ช เนื่องจากการพองตัวของเม็ดแป้งเมื่อได้รับความร้อน

2) การสูญเสียความเป็นผลึกในระหว่างการให้ความร้อน โดยสามารถสังเกตได้จากรูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ ของเม็ดสตาร์ชข้าว จากเดิมที่เป็นแบบเอ (A-pattern) จะหายไป หลังจากเกิดการเจลาติไนเซชัน จะมีรูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์เป็นแบบวี (V-pattern) เนื่องจากเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนของอะไมโลส - ไขมัน (Amylose - lipid complex) ในระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชัน ช่วงอุณหภูมิและอัตราการสูญเสียความเป็นผลึกขึ้นกับปริมาณน้ำและชนิดสตาร์ช (Eliasson and Gudmundsson. 1996)

ในการบริโภคข้าว นิยมนำมาหุงทั้งเมล็ด การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชจะเกิดในระหว่างการหุงข้าว อุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชันมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงเพื่อไม่ให้ข้าวสุกแข็งเกินไป พลังงานความร้อนและเวลาที่ใช้ในการหุงข้าวต้องเหมาะสม เพื่อให้เมล็ดข้างสุกมีคุณภาพดีที่สุด ปัจจุบันการศึกษาการเกิดเจลาติไนเซชันของข้าวสุก แป้งและสตาร์ช นิยมใช้วิธีตรวจสอบค่าเอนทาลปี (Enthalpy) ซึ่งเปลี่ยนแปลงแบบเฉียบพลัน ในขณะที่ผลึกกำลังหลอมเหลว โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (จารนัย พานิชยกุล. 2537)

Norman and Marshall (1989) ศึกษาการเกิดเจลาติไนเซชันของเมล็ดข้าว และแป้งข้าวด้วย DSC พบว่าเมล็ดข้าวจะดูดความร้อนสองครั้ง ครั้งแรกจะเกิดในช่วงอุณหภูมิ 60° - 70° ซ พีค (Peak) ที่ได้จะแคบและเล็ก ครั้งที่สองเกิดที่อุณหภูมิ 80° - 90 ° ซ พีคที่เกิดใหญ่กว่าครั้งแรก ในขณะที่แป้งข้าวจะดูดความร้อนเพียงครั้งเดียวเนื่องจากมีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ เพราะโครงสร้างบางส่วนของแป้งข้าว เช่น ผนังเซลล์ (Cell wall) ถูกทำลายในระหว่างการบดแห้ง สตาร์ชในเมล็ดข้าวจึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าในการเกิดเจลาติไนเซชัน ค่าเอนทาลปีในการเกิดเจลาติไนเซชัน ค่าเอนทาลปีในการเกิดเจลาติ-ไนเซชัน (Enthalpy gelatinization) ของเมล็ดข้าวสูงกว่าแป้งข้าวประมาณ 40 % Hogan and Deobald (1961) พบว่า การดูดความร้อนครั้งที่สองของเมล็ดข้าวใช้อุณหภูมิสูงกว่าครั้งแรกนั้นเนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำลายโครงสร้างเชิงซ้อนของอะไมโลส – ไขมัน ที่ฟอร์มตัวขึ้นในระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชัน

2.5 การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation)

2.5.1 ความหมายการเกิดรีโทรกราเดชัน

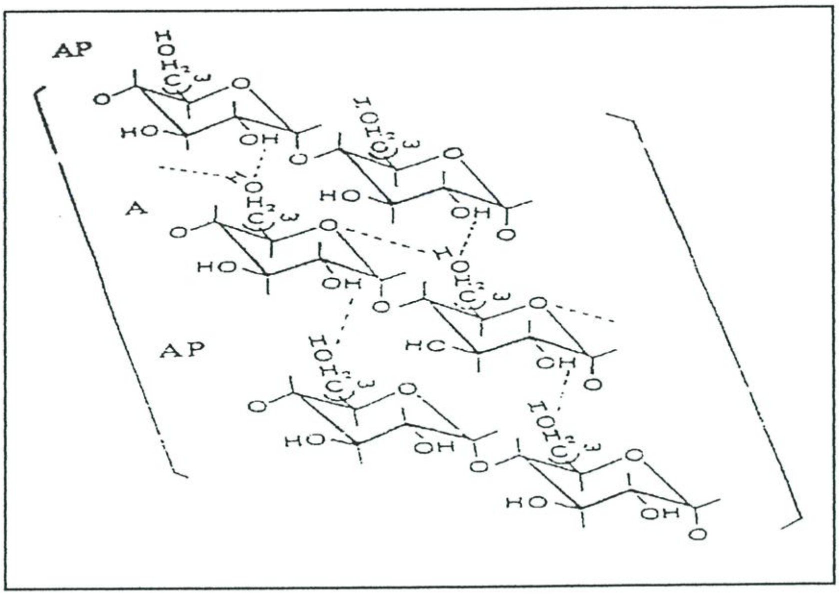
ปัจจุบันการศึกษาเกิดรีโทรกราเดชันได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากการเกิดรีโทรกราเดชัน มีบทบาทสำคัญในการเกิดความเก่า (Staling) ของขนมปัง ข้าวสุก และอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก การเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งเป็นปรากฏการณ์ที่ขึ้นอยู่กับเวลา และอุณหภูมิ ซึ่งนำไปสู่การเกิดผลึก (Crystalline) บางส่วนในองค์ประกอบของสตาร์ช (Yrjo. 1995)

Atwell *et. al.* (1988) ให้คำจำกัดความของการเกิดรีโทรกราเดชันว่า การเกิดรีโทรกราเดชันของแป้ง เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของแป้งที่เกิดการเจลาติไนเซชันแล้ว มารวมกันในลักษณะโครงสร้างที่เป็นระเบียบ ซึ่งเป็นผลมาจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ในระหว่างโมเลกุล หรือภายในโมเลกุลเองเกิดโครงสร้างเป็นเกลียวภายใต้สภาวะที่เหมาะสม มีผลทำให้เกิดผลึก

2.5.2 กลไกการเกิดรีโทรกราเดชัน

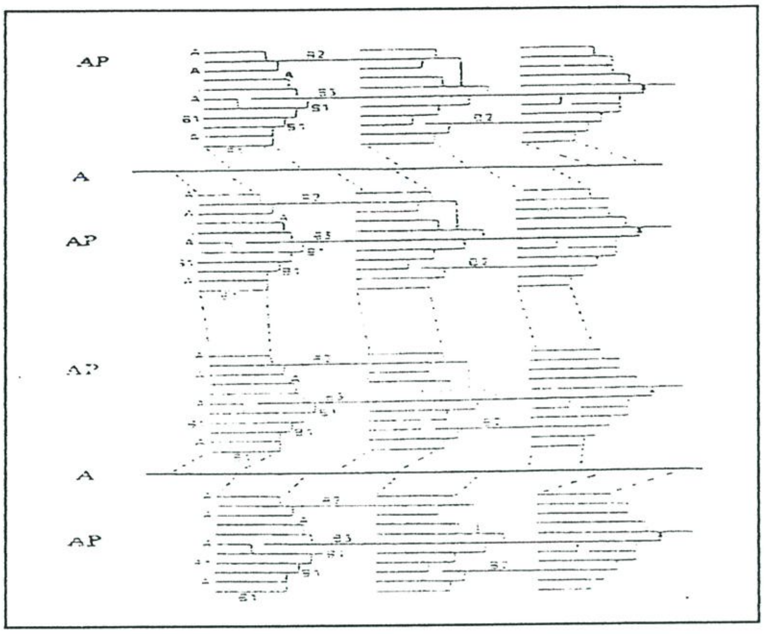
กลไกการเกิดรีโทรกราเดชันเป็นกระบวนการเกิดผลึกของแป้งที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้ว เมื่ออุณหภูมิลดลงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอะไมโลสและจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของโมเลกุลอะไมโลสในน้ำแป้งจากเดิมที่เป็นอสัณฐานไปเป็นผลึก (Eliasson. 1996) หลังจากนั้นโมเลกุลของอะไมโลเพคตินจะจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรงและจับกันเป็นผลึก การจับกันนี้มีผลทำให้น้ำที่เคยจับกันอยู่ก่อนตอนที่มีโครงสร้างร่างแหถูกกำจัดออกไป ผลิตภัณฑ์พวกเจลจะมีการแยกน้ำ (Synerasis) ซึ่งสังเกตได้จากการที่มีน้ำซึมออกมาที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เจลมีความชื้นลดลง (Fan and Marks. 1998)

การเกิดรีโทรกราเดชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการเกิดเจลาติไนเซชันเมื่ออุณหภูมิลดลง ดังนั้นการเกิดเจลาติไนเซชันจึงมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรากราเดชันของแป้ง Tako and Hizukuri (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชข้าวพันธุ์ Akihikari ความเข้มข้น 4 % ซึ่งเกิดเจลาติไนเซชันแล้ว มาเก็บที่อุณหภูมิ 4° และ 25° ซ นาน 24 ชั่วโมง พบว่าการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 กลไกการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชข้าวพันธุ์ Akihikari
ที่มา : Tako and Hizukuri (2000)

จากภาพที่ 2.9 การเกิดพันธะไฮโดรเจนในสารละลายสตาร์ชนอกจากจะเกิดระหว่างออกซิเจนตำแหน่งที่ 6 ของอะไมโลส และไฮดรอกซิลตำแหน่งที่ 2 ของอะไมโลเพคตินแล้ว การเกิดพันธะไฮโดรเจนอาจเกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่งที่ 2 ของอะไมโลสกับโมเลกุลอื่น หรืออาจเกิดกับออกซิเจนตำแหน่งที่ 6 ของอะไมเพคตินสายสั้น (A และ B) เมื่อเก็บสารละลายสตาร์ชที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะอิ่มตัว มีผลทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างโมเลกุลของอะไมโลเพคตินด้วยพันธะไฮโดรเจน แสดงในภาพที่ 2.10 พันธะไฮโดรเจนนี้เกิดขึ้นจากการลดลงของการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian motion) ของของผสม และพลังงานจลน์ของอะไมโลเพคตินและโมเลกุลของน้ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4° และ 25 ° ซ (Tako and Hizukuri. 2000)

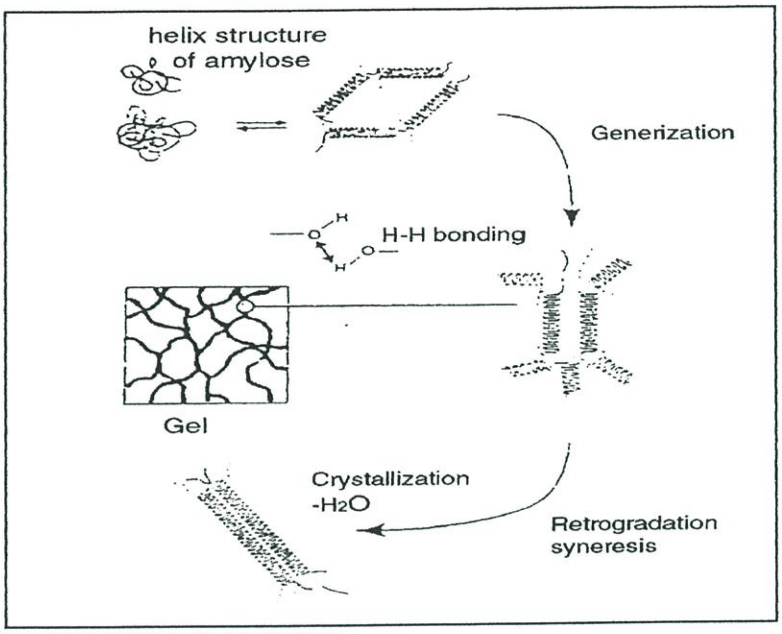


ภาพที่ 2.10 การรวมตัวของอะไมโลเพคตินสายสั้น (A และ B) ในสารละลายสตาร์ชเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานและหลังจากการอิ่มตัวระหว่างพันธะไฮโดรเจนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

ที่มา : Tako and Hizukuri (2000)

Klucinnec and Thomson (1999) พบว่า ในระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชันโมเลกุลของอะไมโลสจะฟอร์มตัวเป็นเกลียวคู่ (Double helical) เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสประมาณ 40 - 70 หน่วย และโมเลกุลของอะไมโลเพคตินก็จะฟอร์มตัวเป็นเกลียวคู่เช่นเดียวกันแต่สั้นกว่า เนื่องจากข้อจำกัดของโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขา จากนั้นเกลียวคู่จะรวมตัวเป็นผลึก ลักษณะเกลียวของอะไมโลสในระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชัน แสดงดังภาพที่ 2.11

นอกจากนี้การเกิดรีโทรกราเดชันยังมีผลทำให้ผลึกของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีการหักเหแสงแบบบี (B-pattern) เมื่อศึกษาการเลี้ยวเบนแบบรังสีเอ็กซ์ โดยที่อะไมโลเพคตินสามารถเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับได้เมื่อให้ความร้อนที่สูงกว่า 70 °ซ (Eliasson and Gudmunsson. 1996)

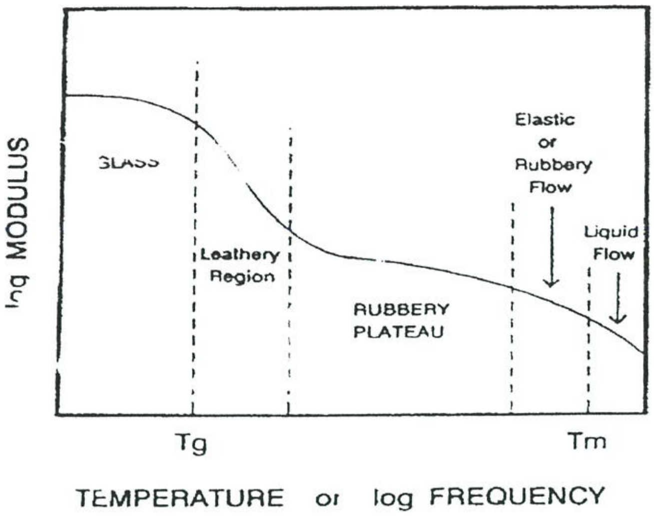


ภาพที่ 2.11 ลักษณะเกลียวของอะไมโลสในระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชันและรีโทรกราเดชัน
ที่มา : Borchard (1996)

2.5.3 การเกิดผลึกในระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชัน

การเกิดผลึกของโพลีเมอร์หรือการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช สามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีกลไกการเกิดผลึก (Theory of Crystallization kinetic) ของสสาร โดยที่ความแข็งแรงของโครงสร้างของสสารหรืออาหารแตกต่างกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังภาพที่ 2.12 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของโครงสร้างโดยแสดงเป็นค่าโมดูลัส (Modulus) เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิของอาหารต่ำกว่า T_g อาหารจะเปราะและแตกง่าย T_g เป็นอุณหภูมิของอาหารแต่ละชนิดมีความหนืดสูงคล้ายแก้วหรือมีค่าโมดูลัสสูง เป็นสสารที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น (แสดงเป็นค่าโมดูลัสที่ต่ำลง) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอาหารให้สูงกว่า T_g สสารจะเป็นของแข็งที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายขึ้น แต่ยังไม่สามารถไหลได้เหมือนของเหลว มีลักษณะเหนียวคล้ายหนัง (Leathery) หรือเหนียวเป็นยาง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสสารจนสูงกว่า T_m สสารมีคุณสมบัติใกล้เคียงของเหลว (Liquid-like) สามารถไหลได้และเปลี่ยนแปลงตามรูปร่างของภาชนะ เนื่องจากโครงสร้างที่มีความแข็งแรงลดลง (ค่าโมดูลัสต่ำลง) เพราะแรงยึดเกาะภายในของอาหารลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จึงทำให้อาหารนั้นเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่ายคล้ายของเหลว (Slade and Levine. 1991)



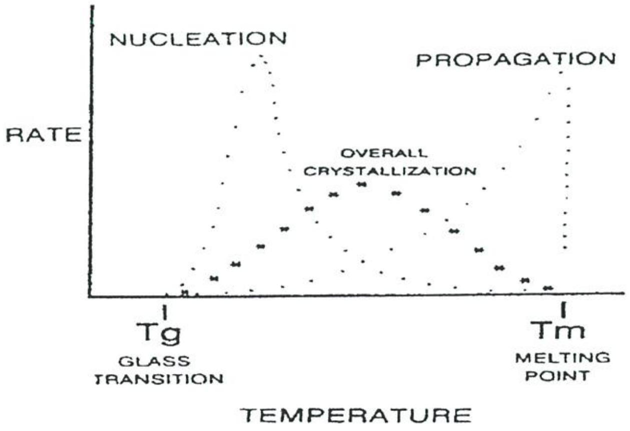
ภาพที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของโครงสร้างแสดงเป็นค่าโมดูลัสเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ที่มา : Slad and Levine (1991)

การเกิดผลึกของสตาร์ชในระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชัน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

1) การเกิดนิวคลีเอชัน (Nucleation) หรือ การเกิดอนุภาคใหม่ของผลึกและเจริญเติบโตขึ้นจนมีขนาดหนึ่ง

2) โพรพาเกชัน (Propagation) คือ เพิ่มจำนวนและขนาดของผลึก ดังภาพที่ 2.13 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับอัตราการเกิดผลึกของสตาร์ช



ภาพที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการเกิดผลึก

ที่มา : Slad and Levine (1991)

ปัจจัยการเกิดผลึกของสตาร์ชขึ้นกับอุณหภูมิ โดยผลึกจะเกิดในช่วงอุณหภูมิ $T_g < T < T_m$ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สตาร์ชมีสภาพเป็นเหนียวเป็นยาง ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในภาพที่ 2.13 ดังนั้นการเกิดผลึกของสตาร์ชจึงสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพเป็นยางเหนียวเท่านั้น และจากการทดลอง พบว่า สารละลายอะไมโลเพคตินที่มีปริมาณน้ำมากกว่า 27 % สามารถเกิดผลึกได้ในช่วง T_g เท่ากับ – 5 °ซ และ T_m ประมาณ 60 °ซ จากภาพที่ 2.13 การเกิดนิวคลีเอชันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อสตาร์ชมีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งทำให้โมเลกุลของสตาร์ชเคลื่อนที่ตลอดเวลา และฟอร์มตัวเป็นนิวคลีไอ (Nuclei) จำนวนการเกิดนิวคลีไอขึ้นอยู่กับอัตราการทำความเย็น นิวคลีไอเป็นอนุภาคที่เคลื่อนที่ได้เร็วมาก จึงเรียกว่า หน่วยเคลื่อนที่ (Kinetic unit) ซึ่งแต่ละหน่วยอยู่ในตำแหน่ง เวลา ความเร็ว พลังงานและความเข้มข้นแตกต่างกันมาก เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอ หน่วยเคลื่อนที่ 2 อนุภาคอาจมาเชื่อมต่อกันและอาจมีอนุภาคที่ 3 และอนุภาคอื่นๆ มาเชื่อมต่อกัน การรวมกันในลักษณะนี้เรียกว่า Cluster และเจริญเติบโตเป็นเอมบริโอ (Embryo) และนิวเคลียส (Nucleus) ถ้านิวเคลียสรับคลัสเตอร์และคลัสเตอร์เพิ่มมากขึ้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลึก นิวคลีเอชันจะไม่เกิดขึ้นถ้า $T < T_g$ ซึ่งโมเลกุลของสตาร์ชส่วนใหญ่จะไม่เคลื่อนที่ในสภาวะของแข็งที่ $\eta > 10^3$ PaS อัตราการเกิดนิวคลีเอชันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของสตาร์ชเพิ่มขึ้น โดยอัตราการเกิดนิวคลีเอชันจะเป็นศูนย์เมื่ออุณหภูมิของสตาร์ชเท่ากับ T_m และเมื่ออุณหภูมิของสตาร์ชสูงกว่า T_g เล็กน้อย อัตราการเกิดนิวคลีเอชันจะสูงที่สุด (รุ่งนภา พงษ์สวัสดิ์มานิต. 2541 ; Slade and Levine. 1991 ; Jacobson and Bemiller. 1998)

สำหรับการเกิดโพรพาเกชันจะเกิดขึ้นเมื่อสตาร์ชมีสถานะเป็นของเหลว โดยอัตราการเกิดโพรพาเกชันมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่ออุณหภูมิของสตาร์ชมีค่าเท่ากับ T_g และเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสตาร์ชเพิ่มขึ้น โดยอัตราการเกิดโพรพาเกชันจะมีค่าสูงสุดเมื่ออุณหภูมิของสตาร์ชต่ำกว่า T_m เล็กน้อย ดังนั้นจากภาพที่ 2.11 การเกิดผลึกของสตาร์ชในระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชัน ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดนิวคลีเอชันและโพรพาเกชันจะเกิดสูงสุดที่ช่วงอุณหภูมิตรงกลางงระหว่าง T_g และ T_m และอัตราการเกิดผลึกจะเป็นศูนย์เมื่ออุณหภูมิของสตาร์ชเท่ากับ T_g และ T_m (Slade and Lavine. 1991)

2.5.4 ผลจากการเกิดรีโทรกราเดชันที่มีต่อเจลของแป้ง

การเกิดรีโทรกราเดชันเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชเปลี่ยนแปลง ผลของการเกิดรีโทรกราเดชันที่มีต่อเจลของแป้งมีดังนี้ (ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2528)

1) ทำให้เจลของแป้งสลายตัวได้ยาก เมื่อสัมผัสกับกรดหรือเอนไซม์ เนื่องจากลักษณะการ

เรียงตัวระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โครงสร้างแน่นและแข็งเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล

2) ทำให้เจลของแป้งขุ่น เนื่องจากเกิดผลึกมากมายและหลายขนาด โดยขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง แป้งที่เกิดผลึกใหญ่กว่า 250 นาโนเมตร แสงจะผ่านได้ เจลที่ได้มีลักษณะใส

3) เจลของแป้งที่เกิดรีโทรกราเดชันจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน หรือทำปฏิกิริ-ยา กับสารละลายไอโอดีนได้น้อยลง

4) ทำให้แป้งที่เกิดรีโทรกราเดชันละลายน้ำได้น้อยลง แต่ยังละลายได้ดีในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน

การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชนั้น เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นกับปัจจัยหลายๆอย่าง อาทิเช่น อัตราส่วนระหว่างอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน ความเข้มข้นของสตาร์ช อุณหภูมิ ระยะเวลาการหุงต้ม ค่าความเป็นกรด-ด่าง และสารประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในแป้ง (Fan and Marks. 1998)

2.5.5.1 อัตราส่วนระหว่างอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน

ในระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชัน โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะมีโครงสร้างแบบเกลียวคู่ อะไมโลสเป็นโมเลกุลที่เกิดรีโทรกราเดชันได้เร็วและสูงกว่าอะไมโลเพคติน เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้ง่ายและเร็วกว่า ในขณะที่อะไมโลเพคตินมีบทบาทน้อยกว่าอะไมโลส เนื่องจากโมเลกุลที่เป็นแขนงของอะไมโลเพคตินเป็นอุปสรรคต่อการรวมตัว แต่ถ้าในสภาวะที่มีความเข้มข้นสูงๆหรืออยู่ในอุณหภูมิเยือกแข็ง บางส่วนของโมเลกุลที่เป็นแขนงสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้ โมเลกุลแขนงที่สามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้นี้จะมีความยาวของกลูโคส 20 - 30 หน่วยกลูโคส (อรพิน ภูมิภมร. 2532 ; Eliasson and Gudmunsson. 1996)

Fan and Marks (1998) พบว่า แป้งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้สูงกว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Chang and Lui (1991) พบว่า สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดรีโทรกราเดชันเร็วและสูงกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ และ รังสิตา สีมาบรรพ์ (2540) ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งข้าว ในของผสมความเข้มข้น 30 % ที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน ได้แก่ แป้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (อะ-ไมโลสต่ำ) กข 23 (อะไมโลสปานกลาง) และ เหลืองประทิว 123 (อะไมโลสสูง) พบว่า แป้งข้าวพันธุ์

เหลืองประทิว 123 จะเกิดรีโทรกราเดชันได้สูงและเร็วกว่าแป้งข้าวพันธุ์ กข 23 และแป้งข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105

Kim *et. al.* (1997) ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของเจลสตาร์ชข้าว (Rice starch gel) ด้วย DSC, X-ray diffraction และ α amylose method พบว่าเจลสตาร์ชของข้าวเจ้าจะเกิดรีโทรกราเดชันได้เร็วกว่าเจลสตาร์ชข้าวเหนียว

2.5.5.2 ความเข้มข้นของน้ำแป้ง

ความเข้มข้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน Eliasson and Gudmunsson (1996) พบว่า เจลสตาร์ชความเข้มข้น 10 - 80 % สามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้ และเมื่อเจลสตาร์ชมีความเข้มข้น 50 - 60 % จะเกิดรีโทรกราเดชันสูงสุด

Chang and Lui (1991) พบว่า เจลสตาร์ชเข้มข้น 50 % จะเกิดรีโทรกราเดชันสูงที่สุด แต่ถ้าเจลสตาร์ชมีความเข้มข้นต่ำกว่า 10 % หรือสูงกว่า 80 % การเกิดรีโทรกราเดชันของเจลสตาร์ชจะเกิดขึ้นน้อยมาก

Kim *et. al.* (1997) ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียวความเข้มข้น 10 และ 50 % ด้วยวิธี α amylose method ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า สตาร์ชข้าวเจ้าความเข้มข้น 50 % มีอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันสูงกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าความเข้มข้น 10 % สตาร์ชข้าวเหนียวความเข้มข้น 50 และ 10 % ตามลำดับ

2.5.5.3 อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา

อุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญ ที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช Kim *et. al.* (1997) ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวเหนียว ความเข้มข้น 10 และ 50 % ที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิแช่เย็น (Refrigerated temperature) และอุณหภูมิแช่เยือกแข็ง (Frozen temperature) เมื่อเก็บนาน 3 วัน พบว่า สตาร์ชความเข้มข้น 10 % จะเกิดรีโทรกราเดชันสูงสุดเมื่อเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น รองลงมาคืออุณหภูมิห้องและอุณหภูมิเยือกแข็ง ตามลำดับ

การเก็บเจลสตาร์ชที่อุณหภูมิ – 4 °ซ อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันจะสูงที่สุด เพราะว่าโมเลกุลอะไมโลสขนาดเล็กเคลื่อนที่ช้าลงจึงจับตัวเป็นผลึก เจลสตาร์ชที่มีปริมาณน้ำ 45 – 50 % เมื่อเก็บที่สภาวะสูงกว่า T_g จะเพิ่มการเกิดรีโทรกราเดชันเนื่องจากโมเลกุลของเจลสตาร์ชไม่เสถียร มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทำให้โมเลกุลของอะไมโลสเคลื่อนที่เข้าใกล้กันและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและเกิดผลึกมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวันแรกของการเก็บรักษาอัตราการ

เกิดนิวคลีเอชันและโพรพาเกชันจะเพิ่มเป็นกำลังสองขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเก็บรักษา (Chang and Lui. 1991 ; Eliasson and Gudmunsonsson. 1996)

Chang and Lui (1991) กล่าวว่า ระยะเวลาในการเก็บมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการเกิดรีโทรกราเดชัน พบว่า ในช่วงแรกสตาร์ชข้าวเจ้าจะเกิดรีโทรกราเดชันอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการรวมตัวของโมเลกุลอะไมโลส เมื่อระยะเวลาเก็บนานขึ้นสตาร์ชข้าวเหนียวจะเกิดรีโทรกราเดชันสูงกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลแพคตินจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรง และจับกันเป็นผลึกได้เช่นเดียวกับโมเลกุลของอะไมโลส

2.5.5.4 ปริมาณน้ำระหว่างเกิดรีโทรกราเดชัน

ปริมาณน้ำที่พบในเจลสตาร์ชระหว่างการเก็บรักษามีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน โดยน้ำทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free volume) และความหนืด ทำให้ค่า T_g ของสตาร์ชบริเวณอสัณฐาน และ T_m บริเวณผลึกลดลง ทำให้โอกาสในการเกิดผลึกสูงขึ้น (Levine and Slade. 1987 ; Eliasson and Gudmunsonsson. 1996 .)

2.5.5.5 ความเป็นกรด-ด่าง

สตาร์ชเกิดรีโทรกราเดชันที่ความเป็นกรด-ด่างประมาณ 5 - 7 การเกิดรีโทกรา - เดชันของสตาร์ชจะไม่เกิดขึ้นที่ความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 10 หรือน้อยกว่า 2 แต่กรดบางชนิด เช่น กรดซัลฟูริค หรือกรดไฮโดรคลอริค มีผลทำให้เกิดรีโทรกราเดชันเร็วที่ความเป็นกรด-ด่างประมาณ 2 ส่วนด่างมีผลทำให้เกิดรีโทรกราเดชันช้าลง เนื่องจากด่างทำให้โมเลกุลของอะไมโลสแตกตัว (อรพิน ภูมิภมร. 2532)

2.5.5.6 สารประกอบชนิดต่าง ๆ

สารประกอบชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันคือ น้ำตาล โซเดียมคลอไรด์ และน้ำมันหรือไขมันชนิดต่างๆ

1) น้ำตาลและโซเดียมคลอไรด์

Chang and Lui (1991) พบว่า น้ำตาลซูโครสจะเพิ่มอัตราการเกิดรีโทรกราเดชัน เนื่องจากน้ำตาลทำให้แป้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง เพราะน้ำตาลเข้าไปขัดขวางการจับกับน้ำของเม็ดแป้ง โดยไปแย่งน้ำที่มีอยู่มาแทน ส่วนโซเดียมคลอไรด์จะทำให้อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชลดลง เพราะโซเดียมคลอไรด์สามารถแตกตัวเป็นประจุ ทำให้โมเลกุลของสตาร์ชมีการแตกตัว การเกิดรีโทรกราเดชันของเม็ดแป้งจึงเกิดช้ากว่า

2) **น้ำมันหรือไขมันชนิดต่างๆ**

Chang and Lui (1991) ศึกษาผลของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันหมู ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชข้าว ที่เก็บนาน 21 วัน พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีผลทำให้ การเกิดรีโทรกราเดชันลดลงมากกว่าน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว และน้ำมันหมู เนื่องจากระดับความอิ่มตัวสูงกว่าไขมันชนิดอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม การเกิดรีโทรกราเดชันของแป้ง สามารถเกิดได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การเกิดรีโทรกราเดชันในระหว่างอุณหภูมิสูง เรียกว่า การเกิดรีโทรกราเดชันที่อุณหภูมิสูง (High temperature retrogradation) คือทำให้สารละลายแป้งเกิดเจลที่อุณหภูมิสูง 120° - 160 °ซ และเมื่อเก็บแป้งเปียกไว้ที่อุณหภูมิ 75° - 95 °ซ จะเกิดการตกตะกอนของโมเลกุลเชิงซ้อนของอะไมโลส - ไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่จะพบการเกิดรีโทรกราเดชันแบบนี้ในแป้งที่ยังไม่สกัดไขมันเท่านั้น (อรพิน ภูมิภมร. 2532)

2.5.6 การยับยั้งการเกิดรีโทรกราเดชัน

การยับยั้งการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งคือ การเตรียมอนุพันธุ์แป้ง (Derivative starch) ด้วยกลุ่มอีเทอร์หรือเอสเทอร์ ซึ่งกลุ่มนี้จะเข้าไปเพียง 2 - 3 กลุ่ม หรือจะให้มีอยู่ที่ตำแหน่งกลูโคสทุกๆ 100 หน่วย เพื่อป้องกันการเชื่อมต่อเป็นเส้นตรงของโมเลกุล

Yook *et. al.* (1993) ตรวจสอบการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสุกที่เติมโพรพิวลีนออกไซด์ (Propylene oxide) อีพิคลอโรไฮดริน (Epichllorohydrin) และการทำครอสลิงข้าวสุก (Cross-linked cook rice) ด้วยวิธี DSC พบว่าข้าวทั้ง 3 ชนิดมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันลดลงจาก 62° เป็น 52 °ซ และการเกิดรีโทรกราเดชันลดลง การนำข้าวสุกมาทำไฮดรอกซิลโพรพิวเลชัน (Hydroxy propylation) ร่วมกับการครอสลิง จะเกิดรีโทรกราเดชันน้อยกว่าข้าวสุกที่ทำไฮดรอกซีโพรพิวเลชันเพียงอย่างเดียว

2.6 วิธีการศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชัน

2.6.1 Thermal analysis

DSC (Differential Scaning Calorimeter) เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจาก DTA (Differential Thermal Analysis) ซึ่งมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน DTA จะบันทึกความแตกต่างการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทาลปีที่พบในตัวอย่าง และตัวอย่างอ้างอิงเมื่อนำมาให้ความร้อน โดยที่ตัวอย่างและตัวอย่างอ้างอิงจะใช้ความร้อนจากแหล่งเดียวกัน ในขณะที่ DSC นั้น แหล่งพลังงานความร้อนระหว่างตัวอย่างและตัวอย่างอ้างอิงจะแยกออกจากกัน ซึ่งมีโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิเพื่อทำให้อุณหภูมิของสารทั้ง

สองเท่ากันตลอดเวลา โดยการดูดและปล่อยพลังงานให้สารนั้นและบันทึกค่าพลังงานที่แตกต่างกันระหว่างสารตัวอย่างและสารตัวอย่างอ้างอิง ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของสารตัวอย่างอ้างอิงจะต้องเท่ากับศูนย์ (Δ T = Ts-Tr = 0) DSC เป็นเครื่องมือที่วิเคราะห์ได้อย่างกว้างขวาง อาทิเช่น การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Quality data) เช่น การหาอุณหภูมิของ T_g การเกิดผลึก การหลอมเหลว การทำแห้ง และการเสียสภาพของโปรตีน และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative data) เช่น การหาค่าเอนทาลปี การเปลี่ยนแปลงความร้อน ค่าเอนทาลปีของปฏิกิริยา การหาความร้อนจำเพาะ การหาความบริสุทธิ์ ระดับของความเป็นผลึก เป็นต้น (Lund. 1983)

Chang and Lui (1991) สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีค่าเอนทาลปีสูงกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เพราะต้องใช้พลังงานในการทำลายพันธะไฮโดรเจนของผลึกอะไมโลส และพบว่า แป้งข้าวจะเกิดรีโทรกราเดชันสูงสุดเมื่อเก็บที่ – 4 °C

2.6.2 Rheological Method

ปัจจุบันวิธีนี้ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว ไม่ซับซ้อน โดยการศึกษาแรงต้านที่เกิดขึ้น เมื่อตัวอย่างได้รับแรงกระทำ

Bourne *et. al.* (1966) พัฒนาวิธีวัดเนื้อสัมผัสของอาหารโดยใช้เครื่อง Instron Universal ด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) เพื่อใช้ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันในอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ

Jankowski (1992) ใช้เครื่อง Instron (TPA) ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชในมันฝรั่งสุกและหลังจากปรุงสุก พบว่า ความแข็งของมันฝรั่งหลังจากปรุงสุกมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากการเกิดรีโทรกราเดชัน

Lima and Singh (1993) หาความสัมพันธ์การเกิดรีโทรกราเดชันเมื่อวัดด้วย DSC เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาด้วยเครื่องอินสตรอน โดยใช้วิธี OTMS และ Back extrusion พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างสูง โดยมีค่า r เท่ากับ 0.978 ในขณะที่วัดด้วย DSC มีความสัมพันธ์ปานกลางกับการวัดด้วยวิธี OTMS และ Back extrusion โดยมีค่า r เท่ากับ 0.716 และ 0.788 ตามลำดับ

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนืด เช่น Brabender Amylograpth หรือ Rapid Visco Analyzer (RVA) สามารถนำมาใช้ในการศึกษารีโทรกราเดชันได้ โดยในสารละลายสตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชัน เมื่อนำมาให้ความร้อนใหม่อีกครั้งและทำให้เย็น ความหนืดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (Abd Karim *et. al.* 2000)

2.6.3 Tubidimetric method

การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแป้งที่เกิดเจลาติไนเซชัน คือ แป้งจะมีลักษณะใส แต่ที่ระยะเวลาหนึ่งเมื่อน้ำแป้งเย็นตัวจะเกิดรีโทรกราเดชัน มีการเรียงตัวระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจน เม็ดแป้งจะรวมตัวและตกตะกอน ทำให้เจลแป้งขุ่น เนื่องจากเกิดผลึกมากมายและหลายขนาด โดยขึ้นกับชนิดของแป้ง ดังนั้น จึงได้มีการประยุกต์วิธีการวัดการกระเจิงหรือการส่องผ่านของแสงในสารละลาย โดยเครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ เพื่อศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชัน แป้งที่ผลึกใหญ่กว่า 200 นาโนเมตรแสงจะผ่านได้ แต่วิธีนี้จะมีข้อจำกัดคือ ใช้ได้ในกรณีที่แป้งมีความเข้มข้นต่ำ (< 2 %) (Abd Karim *et. al.* 2000)

2.6.4 Resistance of starch to hydrolysis

แป้งที่เกิดรีโทรกราเดชันจะมีความคงทนต่อการย่อยด้วยกรดและเอนไซม์ เช่น (α - amylase, glucoamylase และ pullulanase) เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก การเกิดผลึก และขนาดของผลึก เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการต้านหรือความคงทนต่อการย่อย (Abd Karim *et. al.* 2000)

2.6.5 Syneresis

วิธีวัดความสามารถในการแช่เยือกแข็งและการละลาย ได้มีผู้นำมาศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชัน พบว่า หลังจากสตาร์ชการเกิดรีโทรกราเดชันแล้ว อัตราการแช่เยือกแข็งของสตาร์ชจะลดลง เนื่องจากโมเลกุลของแป้งเกิดการรวมตัวและตกตะกอน นอกจากนี้เมื่อวัดปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมา หลังจากการละลาย (Freeze-thaw) พบว่า จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (Abd Karim *et. al.* 2000)

2.6.6 Colorimetric

วิธีการวัดการเกิดสีระหว่างอะไมโลสกับสารละลายไอโอดีน (amylose - iodine blue color method) ที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือจะมีสารรบกวนการเกิดสีมาก โดยเฉพาะไขมันและอะไมโลเพคติน (Abd Karim *et. al.* 2000)

Kim *et. al.* (1997) เปรียบเทียบวิธีวัดระหว่าง DSC และ α amylase iodine พบว่าค่าจะใกล้เคียงกัน แต่ที่เจลสตาร์ชความเข้มข้น 10 % วัดด้วย DSC จะมีค่ามากกว่า แต่ทั้งนี้ไม่สามารถบอกได้ชัดเจนถึงวิธีการที่ดีที่สุดได้ เนื่องจาก ข้อจำกัดของวิธีการศึกษาที่แตกต่างกัน

2.7 การวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร

2.7.1 คำนิยามของเนื้อสัมผัสอาหาร

คำนิยามเกี่ยวกับ Food texture มีการอธิบายไว้หลายความหมายด้วยกัน เช่น

คุณสมบัติของอาหารที่เป็นผลมาจากคุณสมบัติทางกายภาพ และการรับรู้ทางประสาทสัมผัส การมองเห็นและการได้ยิน โดยที่คุณสมบัติทางกายภาพอาจรวมถึง ขนาด รูปร่าง ลักษณะ (BSI. 1975)

การรับรู้ทางประสามสัมผัสที่เกิดขึ้นจากโครงสร้าง และคุณสมบัติเชิงกลของอาหาร (Szczesniak. 1963)

คุณสมบัติทาง Rheology และลักษณะโครงสร้าง (รูปทรงสัณฐานและพื้นผิว) ของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งอาจรับรู้หรือตรวจสอบได้โดยวิธีเชิงกลและทางประสาทสัมผัส (ISO. 1981)

สรุปได้ว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดจากโครงสร้างพื้นฐานของอาหาร โดยที่เราสามารถรับรู้ได้ทางประสาทสัมผัสและเครื่องมือกลที่ใช้วัด

Szczesniak *et. al.* (1963) ได้แบ่งประเภทของกลุ่มคำทางลักษณะเนื้อไว้เป็น 3 ประเภทด้วยกัน ดังนี้

1) ลักษณะเชิงกล จะสัมพันธ์กับปฏิกิริยาของอาหารต่อความเค้น (Stress) และสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีกเป็น ลักษณะหลัก (Primary parameters) ได้แก่ Hardness, Cohesiveness, Viscosity, Elasticity และ Adhesivness กับลักษณะรอง (Secondary parameters) ได้แก่ Brittleness, Chewiness และ Gumminess

2) ลักษณะทางรูปร่าง สัมพันธ์กับขนาด รูปร่าง และการจัดเรียงตัวของอนุภาคภายในอาหาร

3) ลักษณะอื่นๆ ที่สัมพันธ์กับการรับรู้ถึงความชื้นและไขมันที่มีอยู่ในอาหาร ลักษณะเชิงกลดังกล่าว สามารถให้คำนิยามได้ดังต่อไปนี้

ความแข็ง (Hardness) แรงที่ใช้จนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางขนาดและรูปร่าง

ความเกาะตัวกัน (Cohesiveness) ความแข็งแรงของพันธะภายในที่ก่อให้เกิดรูปร่างของผลิตภัณฑ์

ความยึดกัน (Adhesiveness) งานที่ใช้ในการลดแรงดึงดูดระหว่างผิวของอาหารและผิวของวัตถุอื่นที่อาหารไปสัมผัสด้วย เช่น ลิ้น ฟัน เพดานปาก เป็นต้น

ความหนืด (Viscosity) อัตราการไหลต่อแรงที่กระทำ 1 หน่วย

ความยืดหยุ่น (Elasticity) อัตราที่วัตถุถูกทำให้เปลี่ยนแปลง กลับคืนสู่สภาพเดิมหลังจากงดให้แรงกระทำ

ความเปราะ (Brittleness) แรงที่เกี่ยวข้องกับการแตกหักของวัตถุ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของความแข็ง และ ความเกาะตัวกัน ในวัตถุที่แตกเปราะง่าย ค่าความเกาะตัวกัน จะต่ำ และค่าความแข็งจะเพิ่มจากต่ำไปสูง

ความบดเคี้ยว (Chewiness) พลังงานที่ต้องการในการบดเคี้ยวผลิตภัณฑ์อาหารแข็งจนสามารถกลืนได้ โดยสัมพันธ์กับค่าของ ความแข็ง ความเกาะตัวกัน และ ความยืดหยุ่น

ความหนืบ (Gumminess) พลังงานที่ต้องการในการบดเคี้ยวผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวจนสามารถกลืนได้ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของความแข็ง และ ความเกาะตัวกัน

2.8 การวัดเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

การวัดเนื้อสัมผัสของข้าวสุก ให้ได้ลักษณะตามต้องการ หรือพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหาร ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีวิธีการวัด 2 แบบด้วยกัน คือการวัดโดยตรง (Objective measurement) และการวัดโดยอ้อม (Subjective measurement) (สมจินตนา สุมิตสวรรค์. 2542)

2.8.1 การวัดโดยตรง (Objective measurement)

เป็นการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆในการวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร ผลที่ออกมาจะมีความถูกต้องตามลักษณะที่เป็นจริง การวัดเนื้อสัมผัสแบบนี้อาจเรียกว่า วิธีการใช้เครื่องมือ

2.8.1.1 การวัดด้วยเครื่องอินสตรอน (Instron)

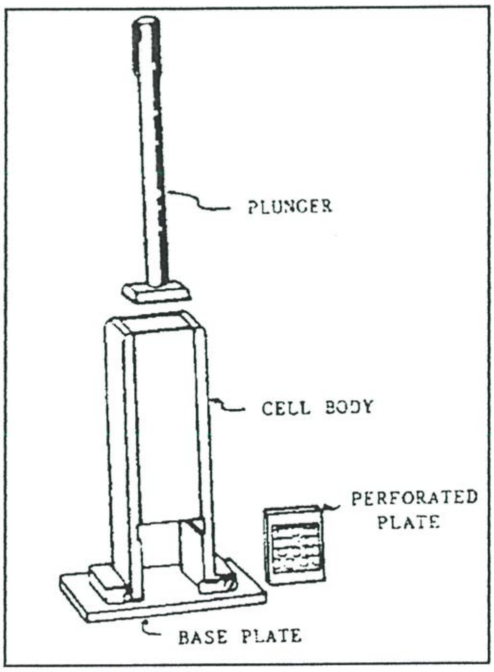
Instron Universal Testing Machine เป็นเครื่องมือที่วัดแรงกระทำได้หลายแบบ โดยออกแบบหัววัดให้เหมาะสมกับแรงกระทำนั้น ก็จะสามารถใช้วัดเนื้อสัมผัสของอาหารได้ ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องมือนี้จะมีการออกแบบหัววัดที่มีขนาดมาตรฐานให้เลือกใช้กับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท (Kramer and Szczensniak. 1973)

เป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกได้ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Drive mechanism ใช้การเคลื่อนที่ของ Test cell ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้แรงกระทำต่อตัวอย่างอาหาร Test cell ที่แตกต่างกันจะใช้ในจุดประสงค์การทดลองแตกต่างกัน เช่น การกด การแทงทะลุ การอัด การใช้แรงเฉือน การหัก และการดึงเป็นต้น และส่วน Force-sensing และ Recording system ใช้บันทึกค่าแรงที่เปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง ประกอบด้วย Load cell ที่สามารถปรับค่าแรงที่ใช้ตั้งแต่ 0.5 - 50 กิโลกรัม สำหรับแรงดึงหรือแรงกดค่าใดค่าหนึ่ง ส่วน Load cell ที่ปรับค่าแรง

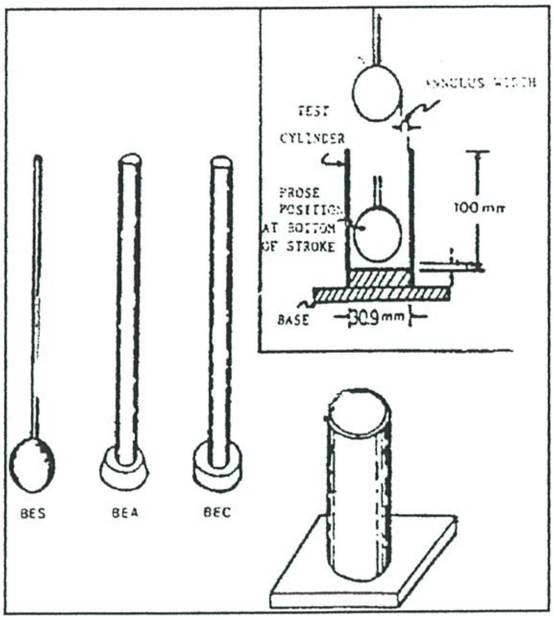
ตั้งแต่ 500 - 1,000 กิโลกรัม ใช้ทั้งแรงดึงและแรงกด (สมจินตนา สุมิตสวรรค์. 2542)

เครื่องอินสตรอนสามารถนำมาใช้กับ Test cell ได้หลายชนิดในการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก นักวิทยาศาสตร์แห่งศูนย์วิจัยข้าวนานาชาติเปรียบเทียบการวัดความแข็งของข้าวสุกด้วยเครื่องอินสตรอน โดยวิธีการต่างๆ คือ วิธี Double-bite วิธี Back Extrusion ซึ่งวิธีการหลังนี้ใช้ปริมาณข้าวสุกเป็นจำนวนมากจึงไม่เป็นที่นิยม (กิติชัย บรรจง. 2534)

กิตติชัย บรรจง (2534) ได้ทำการปรับปรุงการวัดความแข็งของข้าวสุกด้วยวิธี Back Extrusion พบว่า วิธี Back Extrusion ที่เหมาะสมสำหรับใช้วัดความแข็งของข้าวสุกประกอบด้วย Test cell รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.9 มิลลิเมตร และหัวกดรูปทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.9 มิลลิเมตร ดังในภาพที่ 2.15 โดยทำให้มีช่องว่างโดยรอบระหว่างหัวกดกับทรงกระบอกเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และวิธีนี้สามารถแยกความแตกต่างของความแข็งระหว่างพันธุ์ข้าวได้มากกว่าวิธี Modified OTMS ดังในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 Test Cell แบบ Ottawa Texture Measuring (OTMS)
ที่มา : กิตติชัย บรรจง (2534)



ภาพที่ 2.15 Test Cell แบบ Back Extrusion (BES – หัวทรงกลม, BEA - หัวรูปกรวยตัด และ BEC – หัวรูปทรงกระบอก)

ที่มา : กิตติชัย บรรจง (2534)

ชุติมา เลิศลักษมี (2539) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงต้านการกดทะลักกับปัจจัยหลักในกระบวนการแปรรูปข้าวจาปอนนิก้าสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ด้วยวิธี Back Extrusion จากการวัดด้วยเครื่อง KMITL Food Texture รุ่น KBP-29 ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยบรรจุข้าว 40 กรัม ลงใน Test cell รูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 30.9 มิลลิเมตร ใช้หัวกดรูปทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 28.9 มิลลิเมตร เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตร/นาที กดผ่านข้าวสุกจนถึงระยะห่างจากฐาน 1 มิลลิเมตร พบว่า ค่าแรงต้านการกดทะลักมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ โดยมีค่าสัมประสิทธสหสัมพันธ์เท่ากับ – 0.68

2.8.1.2 การวัดด้วยเครื่อง Texture Analyser

เครื่อง Texture Analyser เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่นิยมใช้วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก มีหลักการและการใช้ประโยชน์คล้ายคลึงกับเครื่องอินสตรอน แต่ได้รับการพัฒนาให้นำมาใช้กับวัตถุดิบทางด้านอุตสาหกรรมมากขึ้น เครื่อง Texture Analyser มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนทดสอบ (Test bed) และส่วนควบคุม (Control console) ซึ่ง 2 ส่วนนี้สามารถใช้งานโดยลำพัง

การควบคุมระยะทางและความเร็วอาศัยการทำงานของนาฬิกาควอตซ์ ซึ่งมีความเที่ยงตรงสูง มีระบบป้องกันการเกิด overload และ underload ของ Load cell เครื่อง Texture Analyser สามารถเปลี่ยนแปลงสภาวะการทดสอบได้ง่าย และใช้กับตัวอย่างที่มีอุณหภูมิกว้าง 0° - 40 °ซ และเปลี่ยนหัววัดได้หลายแบบตามวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับเครื่องอินสตรอน (สมจินตนา สุมิตสวรรค์. 2542)

Friedman *et. al.* (1963) ; Szczesniak *et. al.* (1963) ประสบความสำเร็จในการทำ Texture Profile Analysis โดยพัฒนาจาก General Foods Textureometer เครื่องดังกล่าวใช้กระบอกตวงหน้าตัดขนาดเล็กกดลงบนชิ้นอาหารที่มีขนาดพอเคี้ยว โดยตัดเป็นลูกเต๋าขนาดความยาวแต่ละด้านประมาณ 1 - 2 เซนติเมตร กดลงไป 75 % ของความสูง (75 % compression) 2 ครั้ง เพื่อเลียนแบบการเคลื่อนที่เข้าบดกันของฟันกราม โดยใช้ Strain gauge และเครื่องบันทึกบนกระดาษกราฟ บันทึกค่าออกมาเป็นกราฟระหว่างแรงกับเวลา ซึ่งแสดงความเป็นไปในการจำลองการเคี้ยวอาหาร

Tsuji (1981) วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยใช้วิธี Texture Profile Analysis พบว่า วิธีนี้สามารถทดสอบความแตกต่างลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกพันธุ์ต่างๆ ได้ดี และใช้ตัวอย่างน้อย

การวัดเนื้อสัมผัสของอาหารโดยวิธี Texture Profile Analysis นี้ ควรใช้ตัวอย่างที่มีความแข็งไม่เกิน 90 % ของ Load cell โดยทดสอบตัวอย่างที่แข็งที่สุดก่อนที่จะเริ่มกำหนดตัวแปรต่างๆในการทดสอบจริง และควรกำหนดค่าความเร็วก่อนการวัด (Pre test speed) เท่ากับความเร็วที่กดทับลงบนตัวอย่าง (Test speed) เพื่อให้ได้ค่าการเกาะตัวกันที่ถูกต้อง คุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสที่ได้จากการทดสอบแบบ Texture Profile Analysis ได้แก่ ความเกาะตัวกัน ความแข็ง ความเหนียว ความยึดกัน ความหนืบ ความยืดหยุ่น และความแตกเปราะ (Anonymous. 2537)

2.8.2 การวัดค่าโดยอ้อม (Subjective Analysis)

เป็นการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) โดยใช้มนุษย์เป็นเครื่องมือในการวัด เนื่องจากมนุษย์แต่ละคนมีความนึกคิดแตกต่างกัน อาจให้ผลที่มีความแปรปรวนสูง ทำให้มีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการวิเคราะห์และทดสอบ ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนและควบคุมที่ดีในช่วงก่อนและระหว่างการทดสอบและวิเคราะห์ (กิตติชัย บรรจง. 2534)

Hori *et. al.* (1995) กล่าวว่าการทดสอบการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวสุกส่วนใหญ่จะทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านลักษณะปรากฏ ความแข็ง ความเหนียว กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม (Overall palatability) ซึ่งวิธีการทดสอบมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น Del Mundo (1979)

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวสุกโดยใช้วิธีเรียงลำดับ (Ranking test) Schutz and Damrell (1974) ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีสเกลความชอบ 7 จุด (7 point hedonic scale) โดยใช้อาสาสมัคร 50 คน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบทางประสาทสัมผัสและความชอบสูงสุด

Meullenet *et. al.* (2000) ศึกษาสภาวะหลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวสุกพันธุ์ Cypress โดยใช้วิธีทดสอบแบบพรรณนา (Descriptive test) พบว่า สภาวะหลังการเก็บเกี่ยวมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเก็บข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้น 15 % นาน 3 เดือน เมื่อนำมาหุง ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับมากที่สุด

เนื่องจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของมนุษย์นั้น จะได้ผลที่มีค่าความแปรปรวนสูง ค่าที่ได้ขาดความแม่นยำ ส่วนการใช้เครื่องมือวัดจะให้ผลที่มีความแม่นยำ ได้ค่าตัวเลขที่บอกผลถึงความแตกต่างที่มีในผลิตภัณฑ์แต่ละตัวที่มนุษย์เราไม่สามารถแยกออกได้ แต่ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดไม่สามารถบ่งบอกได้ถึงการยอมรับในผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ ของผู้บริโภคได้ จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นในงานวิจัยหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆหรือแม้แต่การควบคุมผลิตภัณฑ์อาหารที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร มักใช้ 2 วิธีนี้ควบคู่กัน เพื่อให้สามารถได้ค่าที่แม่นยำ ในขณะเดียวกันก็เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคด้วย (กิตติชัย บรรจง. 2534)

Lyon *et. al.* (2000) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวสุกโดยใช้วิธีทดสอบแบบพรรณนาและใช้เครื่องมือวัดโดยวิธี Texture Profile Analysis มีค่าต่ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.642 เนื่องจากพารามิเตอร์ (Parameter) ที่วัดด้วยเครื่องมือไม่เหมือนกับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้ยังพบว่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีความแปรปรวนมาก เนื่องจากผู้ทดสอบชิมไม่สามารถเปรียบเทียบความเหนียวกับความยืดกันได้

2.9 การผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำให้สุกภายในกระป๋อง โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดันไอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในลักษณะที่สามารถรับประทานได้ทันทีหรืออาจมีการนำมาผ่านความร้อนก่อนรับประทานเพียงเล็กน้อย เพื่อให้ได้ข้าวสุกที่เหมือนกับข้าวสุกหุงใหม่ๆ

หลักการสำคัญในการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง คือต้องนำข้าวมาผ่านการทำให้สุกบางส่วน (Pre-gelatinization) โดยการลวกข้าว ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นุ่มเหนียวไม่แฉะเหมือนเติมน้ำลงไปในข้าวสารภายในกระป๋อง การกำหนดอุณหภูมิในกระบวนการผลิตมักใช้อุณหภูมิ 110 °ซ อัตราการสุกจะถูกจำกัดด้วยอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบของข้าวกับน้ำ แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 110 °ซ อัตราการสุกของข้าวจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ของน้ำเข้าสู่ใจกลางเมล็ดข้าวที่ยังไม่สุกเท่านั้น (Juliano. 1982)

สำหรับการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเท่าที่มีผู้วิจัยศึกษาค้นคว้าเริ่มตั้งแต่ Yona Malek (1943) ได้คิดปรับปรุงและควบคุมระบบการทำข้าวนึ่งบรรจุกระป๋อง (Parboiled rice canning) โดยใช้ข้าวเมล็ดสั้น พันธุ์ Cal-Jap และ Caladay rice ซึ่งปลูกในรัฐแคลิฟอร์เนีย โดยการนำเมล็ดข้าวเปลือกทั้งเมล็ดมาแช่น้ำที่อุณหภูมิประมาณ 100 °ฟ นาน 4 - 6 ชั่วโมง นำมานึ่งในหม้อนึ่งความดัน15 ปอนด์ ทำให้แห้งโดยมีความชื้นประมาณ 13 % นำมาผ่านการขัดสี จากนั้นนำมาล้างหรือรินน้ำเย็นผ่าน บรรจุกระป๋องโดยไม่กดข้าว ปิดผนึกเครื่องสูญญากาศ นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 240 °ฟ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะไม่แข็งกระด้าง (Not strife) ไม่เป็นเจล (Non gelatinous) ไม่เป็นแป้งเปียก (Non pasty)

Roberts *et. al.* (1953) ได้พัฒนาวิธีการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง โดยใช้ข้าวเมล็ดยาวสายพันธุ์ Texas patna ซึ่งมีลักษณะใส และข้าวเมล็ดสั้นสายพันธุ์ California Pearl ซึ่งมีลักษณะนุ่มและพรุนเป็นวัตถุดิบ จุดประสงค์ของการศึกษาเพื่อให้เมล็ดเกิดการแตกหักน้อยที่สุดและป้องกันการจับตัวกันของเมล็ดข้าว โดยวิธีการกำจัดปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวก่อนการนำไปฆ่าเชื้อ ให้มีความชื้นในช่วง 50 - 55 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว ในการต้านทานการแตกของเมล็ดในระหว่างการให้ความร้อนในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 115.6 °ซ 15 นาที จากการประเมินพบว่า การแยกตัวของเมล็ดสูงกว่าข้าวที่หุงต้มด้วยหม้อหุงข้าว และหลังจากเก็บไว้ 9 เดือนพบว่า การแยกตัวยังคงสูงกว่าอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า สูญญากาศต่ำสุดที่เหมาะสมในการปิดฝาข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องขนาด 211 x 300 คือ 24 นิ้วปรอท (Robert *et. al.* 1953) จากการศึกษาที่ผ่านมา ปัญหาที่สำคัญที่พบในการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องคือ เมล็ดข้าวมักแตกออกมา หรือบานขยายตัว เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อ ซึ่งเป็นผลมาจากสภาวะในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ เมล็ดข้าวจะเกาะติดกันทำให้เทออกจากกระป๋องยาก และเนื้อสัมผัสของข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการสูญเสียความนุ่มและการเกาะตัวกัน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

Demont และ Burn (1968) นำพันธุ์ข้าว Texas Patna, Jojutla, Bella Patna และ CP 231 ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดยาวจำนวน 150 กรัม มาต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 96 °ซ เป็นเวลา 10, 15 และ 20 นาที ตามลำดับ แล้วนำมาบรรจุกระป๋อง เติมน้ำเย็น หรือสารละลายแคลเซียมแล็กเตต (Calcium lactate) ที่ความเข้มข้น 0.25 และ 0.5 % แล้วปรับ pH เป็น 4.5, 6.5 และ 8.5 ด้วยกรดน้ำส้ม หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปิดผนึกฝากระป๋อง นำเข้าหม้อนึ่งความดันไอ (Stilled-horizontal retort) ที่อุณหภูมิ 121 °ซ พบว่า การให้ความร้อนด้วยไอน้ำจะทำให้สีและความเหนียว ของข้าวเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ที่ pH 6.5 และ 8.5 จะทำให้ข้าวมีความขุ่น (Turbidity) และสีของข้าวใกล้เคียงกันทุกสายพันธุ์ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มข้าว 10 – 15 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดี ส่วนในตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแล็กเตตที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้ความขุ่นของเมล็ดข้าวลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะโดยรวมแล้ว ข้าวพันธุ์ Texas Patna ให้ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องมีลักษณะที่ดี

Burns (1972) พบว่าข้าวนึ่ง (Parboiled rice) สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องได้ง่ายกว่าข้าวขาว (White rice) และได้พบว่าข้อบกพร่องในการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องคือเมล็ดข้าวและการใช้สารเคมีเติมลงไปในกระบวนการผลิต Burns ได้เสนอวิธีการปรับปรุงด้วยการปรับ pH ให้เป็นกลางและให้เมล็ดข้าวมีความชื้น 55 % จะทำให้ข้าวมีคุณลักษณะรวมที่ดีขึ้น

Sharp *et. al.* (1976) ศึกษากระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องโดยใช้ข้าวขาวและข้าวนึ่งจากสายพันธุ์ Lebonet บรรจุลงในกระป๋องขนาด 211 x 400 ซึ่งภายในเคลือบด้วยเรซิน (Renameled metal can) ในปริมาณ 45 - 65 กรัม/กระป๋อง แล้วเติมน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °ซ ที่มีส่วนผสมของกรดซิตริกลงไป โดยให้เหลือที่ว่างเหนือผลิตภัณฑ์ 5 มิลลิเมตร แล้วนำเข้าหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 100°, 108° และ 115.6 °ซ เป็นเวลา 45 นาที เมื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในวันต่อมา พบว่าข้าวทุกชนิดที่นำเข้าหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 115.6 °ซ จะเทออกจากกระป๋องยากเพราะเมล็ดข้าวเหนียวติดกันเป็นก้อน และถ้าบรรจุต่ำกว่า 55 กรัม/กระป๋อง จะทำให้ข้าวที่ได้เต็มเมล็ดและคงรูปได้ดีที่สุด แต่จะมีลักษณะคล้ายข้าวต้ม นอกจากนี้หลังจากเก็บไว้ 3 สัปดาห์แล้วนำมาหาค่าแรงเฉือนพบว่า ข้าวที่เติมกรดซิตริกลงไปประมาณ 0.16 % (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เมื่อนำเข้าหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 100 °ซ นาน 45 นาที จะให้ค่าแรงเฉือนที่เหมาะสม แต่ถ้าใช้เวลาในการแปรรูปด้วยความร้อนนานเกินไปจะทำให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวเสีย และเกิดการละลายในส่วนที่เป็นของเหลวมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ

Gerdes และ Burns (1982) ได้ศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องโดยใช้ข้าวขาวและข้าวกึ่งสำเร็จรูป (Instant parboiled rice) เป็นวัตถุดิบในการทดลอง โดยศึกษาวิธีการแปรรูปข้าว 2 วิธีคือ การต้มข้าว และการไม่ต้มข้าวก่อนที่จะบรรจุลงในกระป๋องเบอร์ 3 โดยมีที่ว่างเหนือข้าว ¾ นิ้ว และนำมาเข้าหม้อนึ่งความดันไอที่อุณหภูมิ 115.5 °ซ นาน 40 นาที พบว่า การต้มข้าวก่อนการบรรจุจะได้ข้าที่เกาะติดกันน้อยที่สุด และจากผลการชิมแล้วให้คะแนน พบว่าผู้ชิมมีความชอบมากกว่าโดยเฉพาะเนื้อสัมผัส

วุฒิชัย นาครักษา (2530) ได้ศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องด้วยความร้อนภายใต้ความดันไอที่อุณหภูมิ 100 °ซ นาน 60 นาที 115.6 °ซ นาน 40 นาที และ 121 °ซ นาน 60 นาที โดยใช้ข้าวพันธุ์ กข 7, กข 15, กข 23, ขาวตาแห้ง, รวงแก้ว และเล็บมือนาง บรรจุลงกระป๋องเบอร์ 2 แบบเติมน้ำร้อนหรือแบบเปียกและแบบที่ไม่มีการเติมน้ำร้อนหรือแบบแห้ง พบว่าข้าวที่ได้รับปริมาณความร้อนภายใต้ความดันไอนานๆ จะทำให้ข้าวมีคุณลักษณะที่เหมาะสม โดยที่เฉพาะ 100 °ซ นาน 60 นาที เมื่อพิจารณาค่า F_0 พบว่าค่า F_0 ที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิ 115.6 °ซ นาน 40 นาที (F_0 = 3.59) สามารถเก็บรักษาได้นานประมาณ 1 ปี นอกจากนี้ การบรรจุแบบไม่เติมน้ำร้อนหรือแบบแห้ง จะให้คุณลักษณะของข้าวที่ผู้ชิมยอมรับมากกว่าการบรรจุแบบเปียก เนื่องจากให้ข้าวที่เต็มเมล็ดและไม่เหนียวเป็นก้อนติดกัน ซึ่งสายพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการผลิตได้แก่ ข้าวสายพันธุ์ กข 15 ซึ่งเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำและกระจายความร้อนเข้าไปในกระป๋องในลักษณะเป็นเส้นตรง

ชุติมา เลิศลักษมี (2539) ศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง พบว่ากระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมที่สุด คือ นำข้าวจาปอนนิก้ามาต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 85 °ซ เป็นเวลา 11 นาที จนกระทั่งมีความชื้น 85 ± 1.5 % จากนั้นนำมาบรรจุกระป๋องขนาด 307 x 113 ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 115 °ซ เป็นเวลา 25 นาที ที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0 = 5) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าผู้ชิมให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ การเกาะตัว ความนุ่ม และการยอมรับโดยรวม ไม่แตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ผู้ชิมให้คะแนนด้านกลิ่น และ รสชาติ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทศรฐ อินแปลง (2543) ศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง พบว่าที่ระยะเวลาการต้มข้าวในน้ำที่อุณหภูมิ 85 °ซ ก่อนบรรจุเท่ากับ 4 นาที และระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 5 ที่อุณหภูมิ 115 °ซ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดีที่สุด คือ เมล็ดข้าวคงรูปไม่แตกหักและไม่แฉะ

วุฒิชัย นาครักษา (2543) กระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในระดับอุตสาหกรรมโดยไม่ใช้สารเคมี กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยการทำให้ข้าวสุกบางส่วนหรือเม็ดแป้งในเมล็ดข้าวเกิดการเจลาติไนซ์ระหว่าง 75 – 85 % และดูดซับน้ำไว้ 50 – 55 %ด้วยการนำข้าวสารที่สะอาดเกลี่ยบนตะแกรง น้ำหนัก 500 – 600 กรัมต่อตะแกรง ฉีดพ่นด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 80° - 90 °ซ เป็นระยะเวลา 10 -15 นาที หรือการต้มด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 80° - 90 °ซ เป็นระยะเวลา 5 -10 นาที นำมาบรรจุกระป๋องแล้วปิดผนึก ระยะเวลาในการฆ่าหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ใช้อุณหภูมิของรีทอตหรือหม้อนึ่งความดันไอที่ 114° - 116 °ซ เป็นระยะเวลา 30 - 50 นาที คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม สุกเสมอกัน

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ข้าวหอมมะลิ ตราหงส์ทอง ผลิตโดย โรงสีไฟตั้งฮั้ว

3.1.2 ข้าวรวงแก้ว ตรามาบุญครอง ผลิตโดย กลุ่มปทุมไรซ์มิล แอนด์ แกรนด์นารี จำกัด (มหาชน)

3.1.3 ข้าวขาวตาแห้ง ตราดอกบัว ผลิตโดย โรงสีไฟเจียเม้ง

3.1.4 ข้าวโคชิฮิคาริ ตราฮิคาริ ผลิตโดย บริษัท เอเชีย อินเตอร์ ไรซ์ จำกัด

3.2 อุปกรณ์การผลิต

3.2.1 กระป๋องขนาด 307x113 บริษัทโอเรียนเต็ลแคน จำกัด

3.2.2 เครื่องผนึกกระป๋อง (Seamer) รุ่น KMC ประเทศไต้หวัน

3.2.3 เครื่องฆ่าเชื้อแบบแนวนอน (Still horizontal retort) ยี่ห้อ BWS ประเทศไทย

3.2.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) พร้อมเครื่องอ่านอุณหภูมิแบบดิจิตอล รุ่น A-S ยี่ห้อ Ellab ประเทศเดนมาร์ก

3.2.5 หม้อต้ม 2 ชั้น (Steam jacket kettle) รุ่น P204 ยี่ห้อ Econ ประเทศไทย

3.2.6 เครื่องไล่อากาศ (Exhuaster) ยี่ห้อ BWS ประเทศไทย

3.3 อุปกรณ์ในการตรวจสอบ

3.3.1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร (Texture Analyser) รุ่น TA-XT2i ประเทศอังกฤษ

3.4 สถานที่ทดลอง

3.4.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.4.2 ตึกปฏิบัติการแปรรูปอาหาร (Processing plant 1) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยการทดลองดังนี้

3.5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายกายภาพของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องนำมาวิเคราะห์หาลักษณะทางเคมีกายภาพต่างๆ (Proximate analysis) ด้วยวิธีดังต่อไปนี้ (ภาคผนวก ก)

- ความชื้น (Moisture Content) ใช้วิธีของ AOAC Method No.925.10 (1995)
- ไขมัน (Crude Fat) ใช้วิธีของ AOAC Method No.920.85 (1995)
- โปรตีน (Protein) ใช้วิธีของ AOAC Method No.984.13 (1995)
- เยื่อใย (Crude Fiber) ใช้วิธีของ AOAC Method No.962.09 (1995)
- เถ้า (Ash) ใช้วิธีของ AOAC Method No.923.03 (1995)
- คาร์โบไฮเดรต ใช้วิธี Total by difference
- อะไมโลส ใช้วิธีของ Juliano,1971
- อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างและน้ำหนักต่อ1,000 เมล็ด

3.5.2 การทดสอบคุณภาพการหุงต้ม (Cooking quality test) (Batcher *et. al.* 1956)

3.5.3 การศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องและการเกิดรีโทรกราเดชันระหว่างเก็บรักษา

3.5.3.1 การศึกษาค่า F_0 ในกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

(วุฒิชัย นาครักษา. 2530)

นำข้าวที่สะอาดมาทำให้สุกบางส่วนโดยการต้มในหม้อ 2 ชั้น (Steam jacket kettle) ที่อุณหภูมิ 95 °ซ นำข้าวที่ได้มาล้างด้วยน้ำเย็นและทำให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นบรรจุลงกระป๋องขนาด 307 x 113 น้ำหนักสุทธิ 150 กรัม มาผ่านเครื่องไล่อากาศด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 80° – 85 °ซ ในรางไล่อากาศ (Exhauster) เป็นระยะเวลา 5 - 10 นาที แล้วจึงปิดผนึก แล้วนำไปผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยรีทอร์ต (Retort) โดยใช้อุณหภูมิของรีทอร์ต 116 °ซ ให้มีระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ตามที่ต้องการศึกษา หลังจากนั้นลดอุณหภูมิของข้าวสำเร็จรูปที่ได้ด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 28° - 31 °ซ จนอุณหภูมิที่บริเวณผิวกระป๋องลดลงเหลือประมาณ 60° - 65 °ซ แสดงในภาพที่ 3.1 เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาขั้นต่อไป

ตรวจสอบ F_0 ด้วยวิธี Formula method โดยอาศัยสมการของ Ball (Ball's equation)

ข้าวสาร

↓

ทำความสะอาด

↓

ต้มในหม้อ 2 ชั้น ในน้ำอุณหภูมิ 85 °C

↓

ล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง

↓

ทำให้สะเด็ดน้ำบนกระด้งที่รองด้วยผ้าขาวบาง

↓

บรรจุลงในกระป๋องขนาด 307 x 113 น้ำหนักสุทธิ 150 กรัมต่อกระป๋อง

↓

ไล่อากาศด้วย Exhauster ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 นาที

↓

ปิดผนึก

↓

ฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำใน Retort และทำให้เย็น

↓

ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

ภาพที่ 3.1 แสดงกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

ที่มา : วุฒิชัย นาครักษา (2530)

3.5.3.2 การศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสและระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่มีต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน

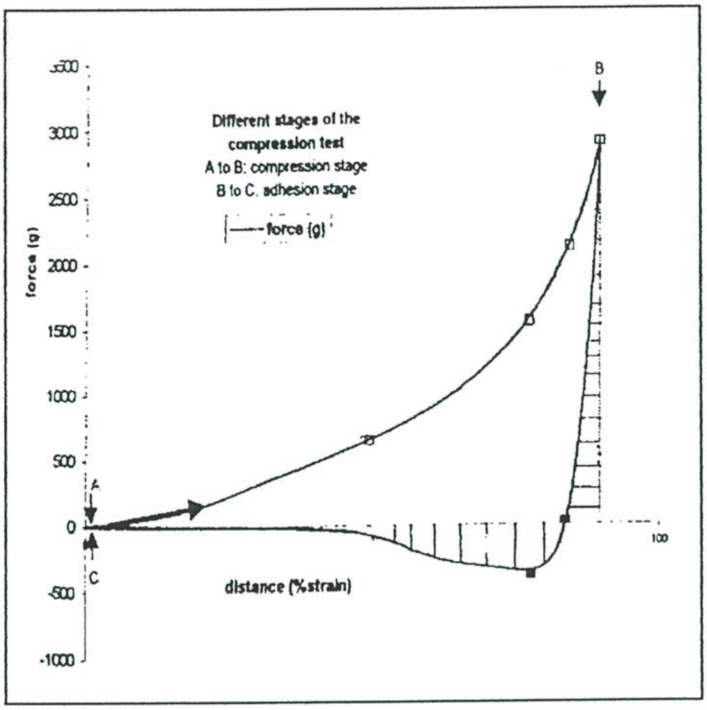
ผลิตข้าวตามข้อ 3.5.3.1 โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 x 2 (Factorial 2 x 2) ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design)

<u>ปัจจัยที่ 1</u> ปริมาณอะไมโลส (amylose content) 2 ระดับ ได้แก่ 16.25 (ข้าวพันธุ์หอมมะลิ) และ 33.52 % (ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง)

<u>ปัจจัยที่ 2</u> ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) 2 ระดับ ได้แก่ 1 และ 5 นาที

ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวบรรจุกระป๋องที่เกิดรีโทรกราเดชัน ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser) รุ่น TA-XT2i ขนาด Load cell 25 กิโลกรัม โดยวิธี Modified Single Kernel (ดัดแปลงจาก Okabe. 1979) เลือกเมล็ดข้าวจำนวน 3 เมล็ดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน รูปร่างสม่ำเสมอ เมล็ดข้าวสุกเต็มเมล็ด จากศูนย์กลางของกระป๋อง ดังภาพที่ 3.2 วางเรียงกันลงบน Plate form ที่แห้งสะอาด ให้มีระยะห่างระหว่างเมล็ดประมาณ 1 เซ็นติเมตร ใช้หัววัดแบบ Compression plate ขนาด 75 มิลลิเมตร เลือกการทดสอบแบบ Hold Unit Time ความเร็วของหัววัดที่เคลื่อนที่ลงก่อนสัมผัสกับข้าวสุก (Pre-test speed) 1.5 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วของหัววัดขณะเคลื่อนที่ลงในเนื้อข้าว (Test speed) 1.0 มิลลิเมตร/วินาที โดยมีระยะพัก 30 วินาที ความเร็วของหัววัดขณะเคลื่อนที่ขึ้นจากเมล็ดข้าว (Post -test speed) 1.0 มิลลิเมตร/วินาที เพื่อวัดความแข็งของข้าว ในเดือนที่ 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 โดยวัดซ้ำละ 3 กระป๋อง (ในแต่ละกระป๋องวัดจำนวน 5 ครั้ง)

ภาพที่ 3.2 ก. การเลือกเมล็ดข้าว ข. การวางบน Plate form (ดัดแปลงจาก Okabe. 1979)



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวัดข้าวโดยการกด (Compression) โดยค่าในเชิงบวก (Positive peak) หมายถึงความแข็ง (Hardness) ค่าในเชิงลบ (Negative peak) หมายถึงค่าความเหนียว (Stickiness)

ที่มา : Saesmat and Meullenet (2001)

ผลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาความแตกต่างทางสถิติ (Analysis of Variance, ANOVA) ร่วมกับการทดสอบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test แยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package For the Social Science (SPSS) Version 7.5 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient : r) ระหว่างปัจจัยในการศึกษาและระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน (ความแข็ง) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Statgraphics version 7.0

3.5.3.3 การศึกษาผลของ F_0 ของกระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องตามกรรมวิธีการผลิตข้อ 3.5.3.1 โดยวางแผนการทดลองแบบบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) ใช้ข้าว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์หอมมะลิ (อะไมโลสต่ำ) ข้าวพันธุ์รวงแก้ว (อะไมโลสปานกลาง) และ ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง (อะไมโลสสูง) ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 °ซ 3 ระดับ คือ F_0 1, 3 และ 5 จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทำได้โดย เตรียมข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในถ้วยพลาสติกใสขนาดเล็กประมาณ 20 กรัม ใช้ผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน เสนอตัวอย่างข้าวชนิดเดียวกันให้ผู้ทดสอบชิมครั้งละ 3 ตัวอย่าง โดยวิธีการทดสอบแบบ 5 point hedonic scale ให้ผู้ทดสอบชิมประเมินคุณภาพในด้านความแข็ง และการยอมรับโดยรวม ที่ระยะเวลา 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 เดือน

วิธีวัดความแข็งด้วยเครื่อง Texture Analyser

แบ่งข้าวจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ใส่ภาชนะปิดฝาแน่น นำมาวัดความแข็งภายใน 1 ชั่วโมง โดยวิธี Modified Single Kernel ทำการวัด 5 ครั้ง

ผลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาความแตกต่างทางสถิติร่วมกับการทดสอบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test แยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package For the Social Science (SPSS) Version 7.5

3.5.3.4 การศึกษาผลของรูปร่างของเมล็ดและระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่มีต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน

ผลิตข้าวตามข้อ 3.5.3.1 โดยจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 x 2 (Factorial 2 x 2) ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design)

<u>ปัจจัยที่ 1</u> รูปร่างของเมล็ด โดยวัดตามความยาวต่อความกว้าง (L/W ratio) ของเมล็ดที่มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกันมี 2 ระดับ ได้แก่ 3.19 (ข้าวพันธุ์หอมมะลิ) และ 1.67 (ข้าวพันธุ์โคชิ - ฮิคาริ)

<u>ปัจจัยที่</u> 2 ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่อุณหภูมิ 116 °ซ 2 ระดับ ได้แก่ 1 และ 5 นาที

ทำการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องตามกรรมวิธีการผลิตข้อ 3.5.3.1 จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันโดยการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในเดือนที่ 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 ด้วยเครื่อง Texture Analyser รุ่น TA-XT2i โดยวิธี Modified Single Kernel ตาม 3.5.3.2 โดยวัดซ้ำละ 3 กระป๋อง (ในแต่ละกระป๋องวัดจำนวน 5 ครั้ง)

ผลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาความแตกต่างทางร่วมกับการทดสอบด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test แยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistic Package For the Social Science (SPSS) Version 7.5 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัยในการศึกษา และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน (ความแข็ง) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Statgraphics version 7.0

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบบางประการ

จากการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีที่สำคัญๆ ของวัตถุดิบ พบว่า ข้าวหอมมะลิ ข้าวรวงแก้ว ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวโคชิฮิคาริ มีความชื้น 11.92 - 12.82 % ไขมัน 0.21 - 0.38 % เถ้า 0.22 - 0.31 % เยื่อใย 0.19 0.32 % และคาร์โบไฮเดรต 80.20 - 80.66 % ดังแสดงในตารางที่ 4.1

จากการทดลองหาปริมาณอะไมโลส พบว่า ข้าวหอมมะลิ ข้าวรวงแก้ว ข้าวขาวตาแห้ง และข้าวโคชิฮิคาริ มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 16.25, 25.44, 33.52 และ 15.55 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณอะไมโลสที่อยู่ในเมล็ดข้าวเป็นหลัก จะสามารถจำแนกข้าวได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (Low amylose rice) ได้แก่ ข้าวพันธุ์หอมมะลิและข้าวพันธุ์โคชิฮิคาริ

กลุ่มที่ 2 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง (Intermediate amylose rice) ได้แก่ข้าวพันธุ์รวงแก้ว

กลุ่มที่ 3 เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (High amylose rice) ได้แก่ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ (%)

พันธุ์ข้าว	หอมมะลิ	รวงแก้ว	ขาวตาแห้ง	โคชิฮิคาริ
ความชื้น	11.92 $\pm$ 0.12	12.65 $\pm$ 0.15	12.82 $\pm$ 0.22	12.68 $\pm$ 0.20
ไขมัน	0.27 $\pm$ 0.13	0.25 $\pm$ 0.07	0.38 $\pm$ 0.11	0.21 $\pm$ 0.15
โปรตีน	6.63 $\pm$ 0.21	6.40 $\pm$ 0.19	5.75 $\pm$ 0.18	6.36 $\pm$ 0.22
เถ้า	0.24 $\pm$ 0.09	0.29 $\pm$ 0.07	0.31 $\pm$ 0.10	0.22 $\pm$ 0.08
เยื่อใย	0.28 $\pm$ 0.12	0.21 $\pm$ 0.10	0.32 $\pm$ 0.11	0.19 $\pm$ 0.09
คาร์โบไฮเดรต	80.66 $\pm$ 0.22	80.20 $\pm$ 0.43	80.42 $\pm$ 0.15	80.34 $\pm$ 0.17
อะไมโลส	16.25 $\pm$ 0.28	24.44 $\pm$ 0.32	33.52 $\pm$ 0.26	15.55 $\pm$ 0.22

หมายเหตุ : ค่าที่ได้จากตารางได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ข้าวที่ใช้ในการทดลอง พบว่า มีทั้งข้าวที่เป็นเมล็ดเรียวยาวและเมล็ดสั้นป้อม โดยข้าวหอมมะลิ ข้าวรวงแก้ว และขาวตาแห้งจัดเป็นข้าวเมล็ดเรียวยาว มีความยาวระหว่าง 6.95 - 7.42 มิลลิเมตร และความกว้างระหว่าง 2.10 - 2.76 มิลลิเมตร มีค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง 3.19 - 3.33 น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด 17.98 - 19.52 กรัม ส่วนข้าวโคชิฮิคาริจัดเป็นข้าวเมล็ดสั้นป้อม มีความยาว 4.6 มิลลิเมตร และความกว้าง 2.76 มิลลิเมตร มีค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง 1.67 น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด 20.30 กรัม ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

พันธุ์ข้าว	ขนาดเมล็ด		อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง	น้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด (กรัม)
	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)		
หอมมะลิ	7.42	2.32	3.19	17.98
รวงแก้ว	7.10	2.13	3.33	19.17
ขาวตาแห้ง	6.95	2.10	3.30	19.52
โคชิฮิคาริ	4.60	2.76	1.67	20.30

หมายเหตุ : ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.2 การทดสอบคุณภาพการหุงต้ม

การทดสอบการหุงต้มทำโดยต้มข้าวสารในน้ำปริมาณมากเกินพอ พบว่า ในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบ ในข้าวบางพันธุ์เมล็ดสามารถยืดตัวได้มาก ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษที่นิยม การที่เมล็ดยืดตัวได้มาก ส่งผลให้เมล็ดข้าวสุกไม่เหนียวติดกัน คุณสมบัตินี้จะเสริมให้ข้าวนั้นขึ้นหม้อได้ดียิ่งขึ้น (Juliano and Perez. 1984) จากการตรวจสอบคุณภาพการหุงต้ม ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง สามารถดูดซึมน้ำและมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นที่สุด รองลงมาได้แก่ ข้าวพันธุ์รวงแก้ว ข้าวพันธุ์หอมมะลิ และข้าวพันธุ์โคชิฮิคาริ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรได้มากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ นอกจากนี้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ข้าวสุกจะเหนียวและหุงไม่ขึ้นหม้อ (งามชื่น คงเสรี. 2531)

ภายหลังการหุงต้มแล้วน้ำข้าวที่เหลือจะมีของแข็งบางส่วนแขวนลอยอยู่ โดยข้าวพันธุ์หอมมะลิ ข้าวพันธุ์รวงแก้ว ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง และข้าวพันธุ์โคชิฮิคาริ มีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ 5.18, 5.79, 6.49, 6.20 % ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Volume expansion) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (Total soluble solids)

พันธุ์ข้าว	การดูดซึมน้ำ (เท่า)	ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (เท่า)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (%)
หอมมะลิ	2.80	2.67	5.18
รวงแก้ว	3.26	2.71	5.79
ขาวตาแห้ง	3.30	2.92	6.49
โคชิฮิคาริ	2.64	2.50	6.20

หมายเหตุ : ค่าที่ได้จากตารางได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.3 การศึกษากระบวนการแปรรูปและการกำหนด F_0 ของกระบวนการ

ในการศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องด้วยความร้อน ภายใต้ความดันไอที่อุณหภูมิ 116 °ซ (240 °ฟ) ในระดับสเตอริไลซ์ที่ระยะเวลาต่างกัน เพื่อให้ได้ค่า F_0 เท่ากับ 1, 3 และ 5 นาที ต่อข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน โดยระยะเวลาในการต้มข้าวใช้ระยะเวลาที่กำหนดไว้ในข้าวแต่ละสายพันธุ์ดังนี้ ข้าวหอมมะลิและข้าวโคชิฮิคาริ 7 นาที ข้าวพันธุ์รวงแก้ว 9 นาที ข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 10 นาที (วุฒิชัย นาครักษา. 2530) หลังจากบรรจุข้าวที่ผ่านการต้มและล้างด้วยน้ำสะอาด นำไปเข้าเครื่องไล่อากาศ ที่อุณหภูมิ 90° – 95 °ซ เป็นเวลา 10 นาที นำมาปิดผนึก จากนั้นจึงนำเข้าไปแปรรูปในหม้อน้ำความดันไอที่ F_0 ต่างๆ กัน Brans (1972) การต้มข้าวในช่วงเวลา 10 – 15 นาที ในน้ำเดือดสภาพค่อนข้างเป็นกลาง จะทำให้เมล็ดข้าวมีน้ำภายในมากขึ้นเป็น 55 % และจะให้ผลิตภัณฑ์ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มีคุณลักษณะโดยรวมที่ดี

ในขณะที่แปรรูปจะมีการบันทึกและเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในกระป๋องบริเวณจุดที่ได้รับความร้อนต่ำที่สุด (Cold spot) เนื่องจากการศึกษาของวุฒิชัย นาครักษา (2530) พบว่า pH ของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.5 - 7.2 ซึ่งจากการตรวจสอบจากการทดลองพบว่าสอดคล้องกัน ดังนั้น ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องจึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทที่มีความเป็นกรดต่ำมาก ในการนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาคำนวนหาค่า F_0 จึงต้องคำนวณเปรียบเทียบกับค่า F_1 ที่อุณหภูมิ 121°ซ (240 °ฟ)

การตรวจสอบ F_0 จะใช้วิธีการแบบ Formula method โดยอาศัยสมการของ Ball (Ball's equation) จากผลการคำนวณพบว่าระดับอุณหภูมิ และระยะเวลาที่กำหนดไว้คือที่ 116 °ซ (240 °ฟ) นาน 20 นาที F_0 = 1 ในขณะที่ นาน 30 และ 40 นาที จะมีค่า F_0 เท่ากับ 3 และ 5 ตามลำดับ และการกระจายความร้อนเข้าไปภายในเป็นแบบเส้นตรงโดยมีค่าความลาดชัน (Slope, f_h) อยู่ระหว่าง 12 - 20 นาที อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 50° - 60 °ซ และมีค่า CUT (Come up time อยู่ระหว่าง 4 - 8 นาที (ภาคผนวก ค)

4.4 การศึกษาผลของปริมาณอะไมโลสและระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่มีต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชนั้น เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และขึ้นกับปัจจัยหลายๆ อย่าง จากการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่า การเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องในระยะเวลาการเก็บรักษา 8 เดือน ได้รับอิทธิพลจากปริมาณอะไมโลส 0.85 (high positive) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) โดยปริมาณอะไมโลสและระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) มีอิทธิพลร่วมกัน 0.32

เมื่อพิจารณาระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) (ภาพที่ 4.1) พบว่า ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันในข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (ข้าวหอมมะลิ) แต่ไม่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันในข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (ข้าวขาวตาแห้ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.5) อาจเนื่องมาจาก ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) 5 นาที มีระยะเวลาในการฆ่าเชื้อ (Process time) นานกว่าระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) 1 นาที ทำให้มีระยะเวลาในการทำลายพันธะ (Break down) ระหว่างโมเลกุลนานกว่า ดังนั้นเมื่อเก็บข้าวนานขึ้นและปล่อยให้เกิดการรีโทรกราเดชัน อะไมโลสที่จะกลับมารวมตัวมีน้อยลง เนื่องจากอะไมโลสโดนทำลายไปแล้วบางส่วน หรือการสร้างพันธะไฮโดรเจนเพื่อจะกลับมารวมตัวกันใหม่ของอะไมโลสอาจเกิดยากขึ้น แต่ในข้าวขาวตาแห้งซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่มีอะไมโลสสูง ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) 1 และ 5 นาที มีความแข็งหรือการเกิดรีโทรกราเดชันไม่แตกต่างกัน เป็นเพราะว่าข้าวชนิดนี้มีปริมาณอะไมโลสมาก การกลับมารวมตัวกันใหม่ของอะไมโลสจะเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วกว่าเมื่อเกิดรีโทรกราเดชันแล้วทำให้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Pillaiya and Mahandass (1981) ได้ศึกษาการนึ่งข้าวที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °ซ ด้วยความร้อน (Close heating) 110 และ 120 °ซ ด้วยหม้อนึ่ง (Autoclave) พบว่าระยะเวลาในการนึ่งข้าว (Steam duration) ที่อุณหภูมิเดียวกัน มีผลต่อความแข็งของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.01$) โดยข้าวที่ใช้ระยะเวลาในการนึ่งนาน ทำให้ข้าวมีความแข็งลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิในการนึ่งข้าวมีความสัมพันธ์กับพันธุ์ข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย

ระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าว โดยพบว่า ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน การเกิดรีโทรกราเดชันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.48 (ตารางที่ 4.4) และเมื่อเปรียบเทียบการเกิดรีโทรกราเดชันระหว่างข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงและข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ พบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (ข้าวขาวตาแห้ง) จะเกิดรีโทรกราเดชันค่อนข้างรวดเร็วในช่วงแรกๆของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยหลังจากเดือนที่ 8 คาดว่าการเกิดรีโทรกราเดชันจะช้าลงและมีแนวโน้มคงที่ (ภาพที่ 4.1) สำหรับข้าวหอมมะลิ การเกิดรีโทรกราเดชันในช่วงแรกจะช้ากว่าข้าวขาวตาแห้ง และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น การเกิดรีโทรกราเดชันยังมีแนวโน้มสูงขึ้น เป็นผลมาจากการรวมตัวของอะไมโลเพคตินในเจลสตาร์ชนั่นเอง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลแพคตินจะอิ่มตัว มีผลทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างโมเลกุลของอะไมโลแพคตินด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งสอดคล้องกับ Perdon *et. al.* (1992) ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันด้วยวิธี DSC พบว่า ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดรีโทรกราเดชันสูงและเร็วกว่าข้าวที่มีอะไมโลสปานกลางและต่ำ Toe and Seow (1992) พบว่า ในช่วงแรกของการเก็บรักษาสตาร์ชข้าวเหนียวมีแนวโน้มการเกิดรีโทรกราเดชันต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินเกิดนิวคลีเอชันได้ยากกว่าอะไมโลส

ระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชันโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะมีโครงสร้างแบบเกลียวคู่ อะไมโลสเป็นโมเลกุลที่เกิดรีโทรกราเดชันได้เร็วและสูงกว่าอะไมโลเพคติน เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นเส้นตรง ทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลได้ง่ายและเร็วกว่า ในขณะที่อะไมโลเพคตินมีบทบาทต่อการเกิดรีโทรกราเดชันน้อยกว่าอะไมโลส โมเลกุลที่เป็นแขนงของอะไมโลเพคตินเป็นอุปสรรคต่อการรวมตัว เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีโครงสร้างที่เป็นกิ่งนั่นเองหลังจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรงและจับกันเป็นผลึก การจับกันนั้นมีผลทำให้น้ำที่จับกันอยู่ตอนที่มีโครงสร้างร่างแห ต้องถูกกำจัดออกไป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการแยกน้ำ (Syneresis) ซึ่งสังเกตได้จากการที่มีน้ำซึมออกมาจากเม็ดข้าวที่บริเวณฝากระป๋อง นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าข้าวจะมีลักษณะแห้งขึ้นและเมล็ดข้าวจะไม่มีการจับตัวกัน เมล็ดข้าวจะมีการแยกตัวออกจากเมล็ดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับ Fan and Marks (1998) พบว่า การเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งข้าวทำให้เจลมีความชื้นลดลง โดยมีน้ำซึมออกมาที่ผิวของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; r) ระหว่างปริมาณอะไมโลส (X_1) และ ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (X_2) ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน

การเกิดรีโทรกราเดชัน	ปัจจัย			
	ปริมาณอะไมโลส (X_1)	ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) (X_2)	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (X_3)	ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ x ระยะเวลาในการเก็บรักษา ($X_1 \times X_2$)
ความแข็ง	0.85**	- 0.08 ns	0.48 **	0.32 **

หมายเหตุ ** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

* มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแข็ง (กิโลกรัม) ของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มีระดับในการฆ่าเชื้อ $F_0 = 1$ และ $F_0 = 5$ นาน 8 เดือน เมื่อวัดด้วยวิธี Modified single kernel

เดือนที่	อะไมโลส 16.25 % (หอมมะลิ)		อะไมโลส 33.52 % (ขาวตาแห้ง)	
	$F_0 = 1$	$F_0 = 5$	$F_0 = 1$	$F_0 = 5$
0	$^{a}4.18 \pm 0.14^{a}$	$^{a}3.84 \pm 0.34^{a}$	$^{a}6.88 \pm 0.39^{b}$	$^{a}6.59 \pm 0.19^{b}$
1	$^{b}4.74 \pm 0.07^{a}$	$^{b}4.18 \pm 0.24^{b}$	$^{b}7.96 \pm 0.26^{c}$	$^{b}7.77 \pm 0.20^{c}$
2	$^{c}5.41 \pm 0.17^{a}$	$^{c}4.79 \pm 0.13^{b}$	$^{c}8.80 \pm 0.31^{c}$	$^{c}8.50 \pm 0.32^{c}$
4	$^{d}6.10 \pm 0.14^{a}$	$^{d}5.59 \pm 0.24^{b}$	$^{d}9.47 \pm 0.16^{c}$	$^{d}9.48 \pm 0.30^{c}$
6	$^{e}6.41 \pm 0.15^{a}$	$^{de}5.93 \pm 0.31^{b}$	$^{d}9.62 \pm 0.28^{c}$	$^{d}9.73 \pm 0.19^{c}$
8	$^{f}6.87 \pm 0.28^{a}$	$^{e}6.31 \pm 0.26^{b}$	$^{d}9.65 \pm 0.42^{c}$	$^{d}9.75 \pm 0.32^{c}$

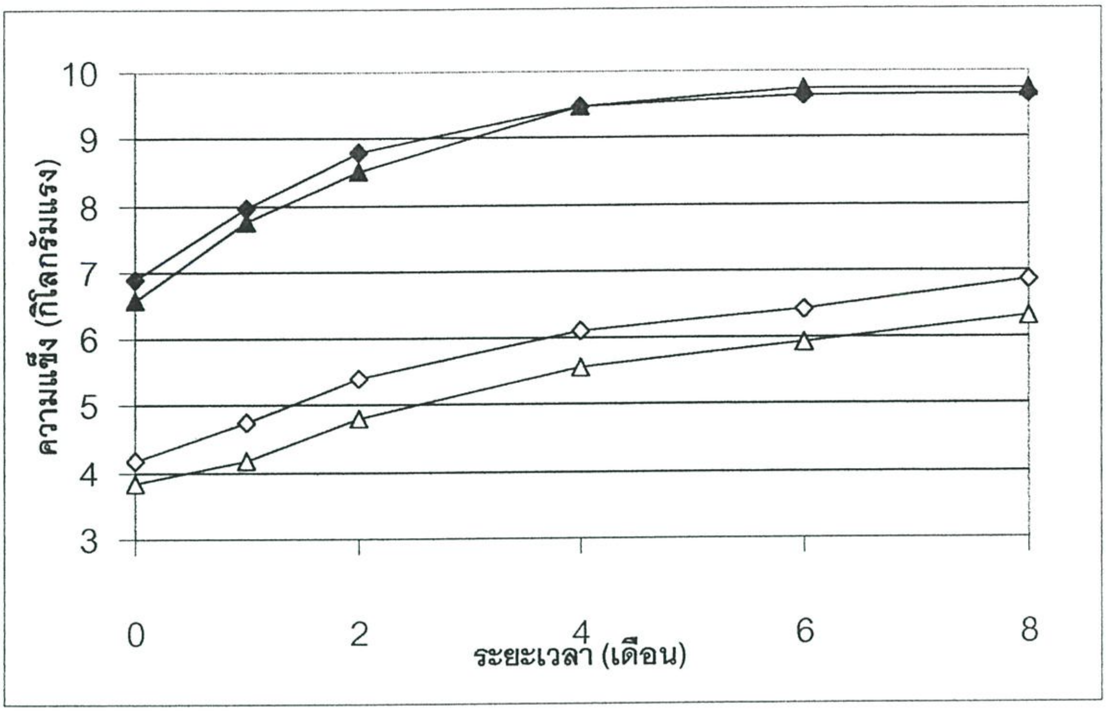
* ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

หมายเหตุ

2	1

1 ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2 ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวหอมมะลิ (◇, F_o = 1 และ Δ, F_o = 5) และข้าวขาวตาแห้ง (◆, F_o = 1 และ ▲, F_o = 5) บรรจุกระป๋อง เมื่อวัดด้วยวิธี Modified single kernel นาน 8 เดือน

หมายเหตุ ข้าวหอมมะลิเป็นตัวแทนของข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (16.25 %)

ข้าวขาวตาแห้งเป็นตัวแทนของข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (33.52 %)

4.5 ศึกษาผลของ F_0 ของกระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการศึกษาการเกิดรีโทรากราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องพันธุ์หอมมะลิ รวง-แก้ว และขาวตาแห้ง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมาทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน โดยการชิมแล้วให้คะแนนในด้านความแข็ง และการยอมรับโดยรวม ในเดือนที่ 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 ของการเก็บรักษา โดยวิธีให้คะแนน (Scoring test) ซึ่งแบบทดสอบที่ใช้เป็นแบบ 5 point hedonic scale (แสดงในภาคผนวก ง) โดย 1 หมายถึงนิ่มมาก 5 หมายถึง แข็งมาก สำหรับความแข็ง และ 1 หมายถึงชอบมาก 5 หมายถึงไม่ชอบมาก สำหรับการยอมรับโดยรวม

4.5.1 ข้าวหอมมะลิสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

4.5.1.1 ความแข็ง

ผลการทดสอบข้าวหอมมะลิบรรจุกระป๋อง ในด้านความแข็งที่มีระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) 1, 3 และ 5 ในเดือนที่ 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 ของการเก็บรักษา แสดงดังตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่การเก็บรักษาเดียวกัน ปรากฏว่า ที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ต่างกัน ใน 2 เดือนแรกของการเก็บรักษาผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างของข้าวหอมมะลิในด้านความแข็งได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อทดสอบความแข็งของข้าวโดยใช้ Texture Analyser พบว่าระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) เดียวกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ผู้ชิมมีแนวโน้มจะให้คะแนนความแข็งของข้าวเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.2) อาจเนื่องมาจากข้าวแข็งขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช และ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง Texture Analyser ความแข็งของข้าวหรือการเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาซึ่งมีความสอดคล้องกัน

4.5.1.2 การยอมรับโดยรวม

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาเดียวกัน ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ไม่มีผลต่อการยอมรับโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.6) และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องยังได้รับการยอมรับโดยรวมที่ดี แต่มีแนวโน้มไม่ยอมรับเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น (ภาพที่ 4.3) และเมื่อเปรียบเทียบความแข็งของข้าวโดยวิธีการชิมกับการวัดด้วยเครื่อง Texture Analyser พบว่า ความแข็ง

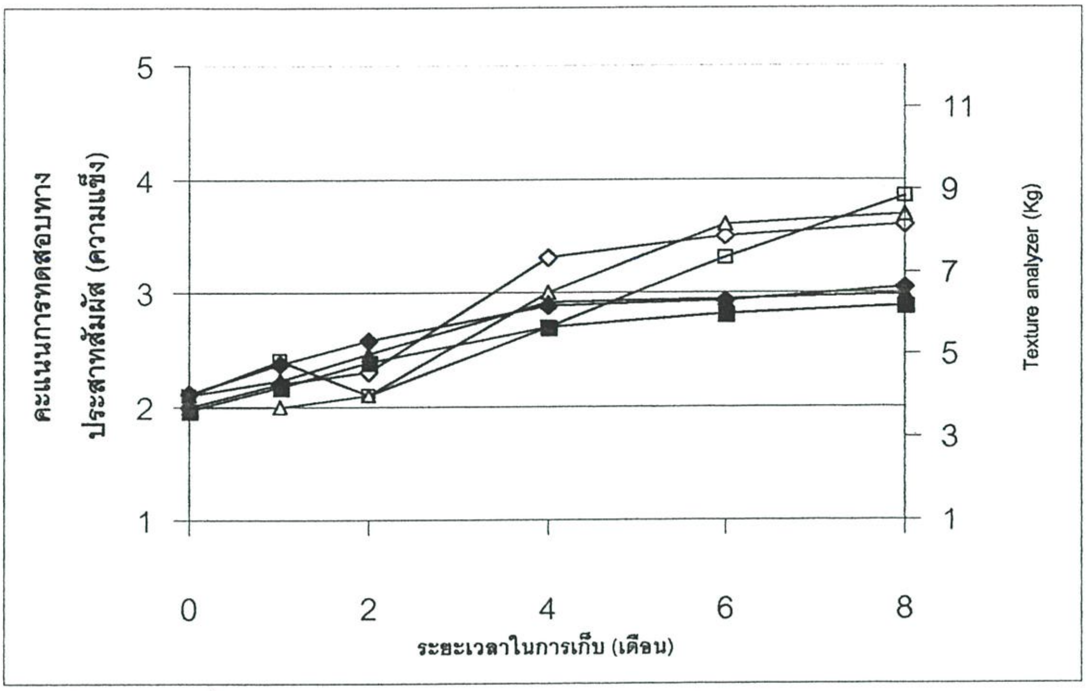
ของข้าวหอมมะลิบรรจุกระป๋องประมาณ 3.00 – 5.00 กิโลกรัม โดยวิธีการวัดตามข้อ 3.5.3.2 ผู้บริโภคจะให้การยอมรับมากที่สุด (ภาพที่ 4.3)

ตารางที่ 4.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser ในข้าวหอมมะลิสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเป็นระยะเวลา 8 เดือน

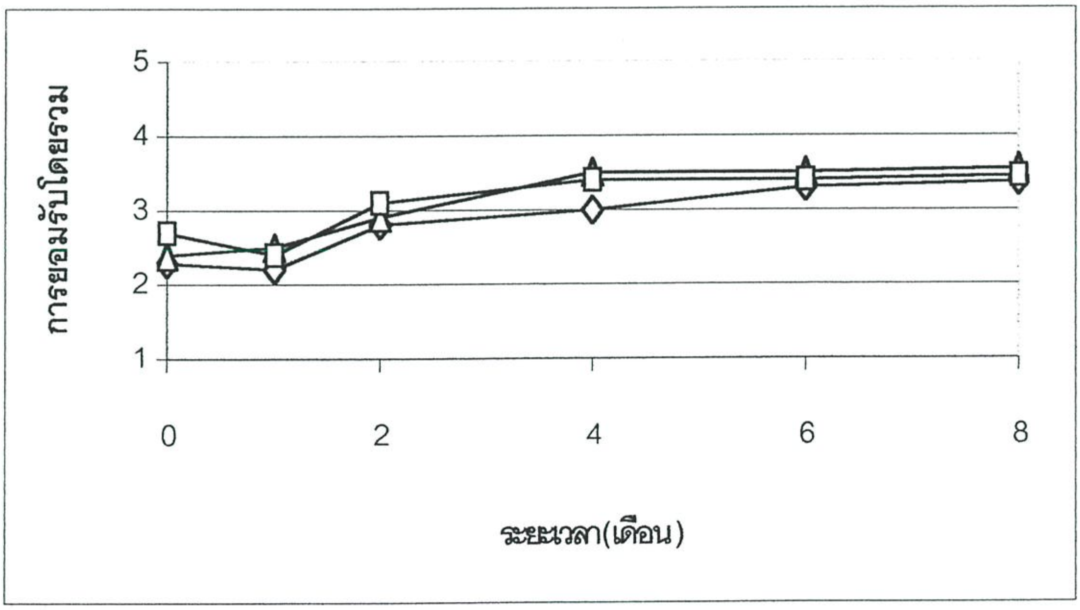
คุณลักษณะ	ปัจจัยที่ศึกษา	ระยะเวลา (เดือน)					
		0	1	2	4	6	8
เนื้อสัมผัส(ความแข็ง)	$F_0 = 1$	2.00 ± 0.78 a	2.20 ± 0.99 a	2.30 ± 0.47 a	3.30 ± 0.46 a	3.5 ± 0.50 a	3.60 ± 0.50 a
(ทางประสาทสัมผัส)	$F_0 = 3$	2.00 ± 0.64a	2.00 ± 0.78 a	2.10 ± 0.07 a	3.00 ± 0.78 ab	3.6 ± 0.67 ab	3.68 ± 0.62 a
	$F_0 = 5$	2.10 ± 0.54 a	2.40 ± 0.81 a	2.10 ± 0.54 a	2.70 ± 0.79 b	3.3 ± 0.61 b	3.85 ± 0.55 a
การยอมรับโดยรวม	$F_0 = 1$	2.29 ± 0.91 a	2.20 ± 0.99 a	2.80 ± 1.26 a	3.00 ± 0.65 a	3.3 ± 0.65 a	3.37 ± 0.36 a
	$F_0 = 3$	2.39 ± 1.21 a	2.50 ± 0.82 a	2.90 ± 1.15 a	3.50 ± 0.68 a	3.50 ± 0.68 a	3.55 ± 0.47a
	$F_0 = 5$	2.69 ± 0.79 a	2.40 ± 0.81 a	3.10 ± 0.84 a	3.40 ± 1.03 a	3.40 ± 1.03 a	3.45 ± 0.26 a
ความแข็ง (กิโลกรัม)	$F_0 = 1$	4.06 ± 0.19 a	4.77 ± 0.29 a	5.34 ± 0.52 a	6.18 ± 0.17 a	6.29 ± 0.21 ab	6.64 ± 0.41 a
(Texture Analyser)	$F_0 = 3$	4.00 ± 0.19 a	4.37 ± 0.25 b	5.00 ± 0.14 b	6.25 ± 0.12 ab	6.35 ± 0.10 a	6.46 ± 0.28 a
	$F_0 = 5$	3.64 ± 0.21 b	4.21 ± 0.21 b	4.80 ± 0.11 b	5.66 ± 0.28 b	5.99 ± 0.16 b	6.17 ± 0.25 a

ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวหอมมะลิบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส (◇, $F_o = 1$; Δ, $F_o = 3$ และ □, $F_o = 5$) และโดยวิธีวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer (◆, $F_o = 1$; ▲, $F_o = 3$ และ ■, $F_o = 5$)



ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมของข้าวหอมมะลิบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส (◇, $F_o = 1$; Δ, $F_o = 3$ และ □, $F_o = 5$)

4.5.2 ข้าวรวงแก้วสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

4.5.2.1 ความแข็ง

ผลการทดสอบด้านความแข็งของข้าวรวงแก้วสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ในเดือนที่ 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 แสดงดังตารางที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบความแข็งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาเดียวกัน พบว่า ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่แตกต่างกัน คือ 1, 3 และ 5 ผู้ชิมให้คะแนนด้านความแข็งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าคะแนนความแข็งของข้าวมีค่าเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.4) โดยหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 เดือนผู้ชิมให้คะแนนความแข็งค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดรีโทรกราเดชันอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเก็บรักษา ทำให้น้ำที่อะไมโลสดูดซึมไว้ถูกปล่อยออกมา ส่งผลให้ข้าวมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการวัดความแข็งของข้าวด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 4.7) พบว่ามีความสอดคล้องกัน คือ ข้าวมีความแข็งขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และความแข็งของข้าวไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) แตกต่างกัน

4.5.2.2. การยอมรับโดยรวม

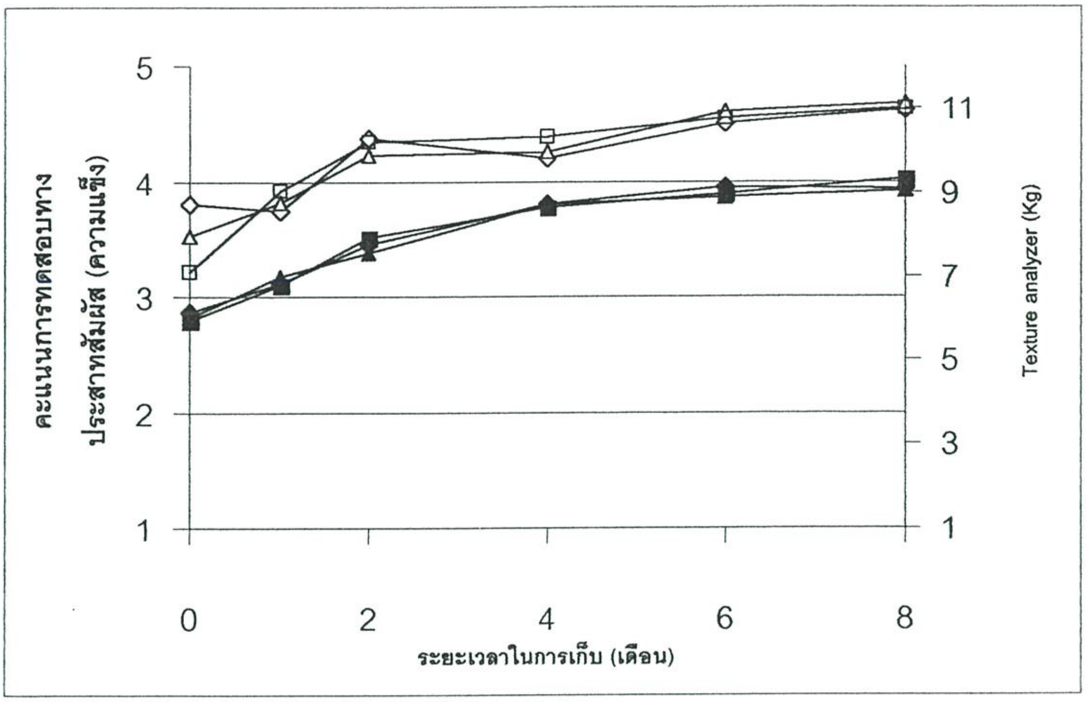
จากการทดสอบการยอมรับโดยรวมของข้าวรวงแก้วสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง พบว่า ข้าวรวงแก้วสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ได้รับการยอมรับโดยรวมมากที่สุดในช่วงระยะเวลา 2 เดือนแรกของการเก็บรักษา และมีแนวโน้มไม่ยอมรับเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.5) โดยให้ผลในทำนองเดียวกันทุกการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากผู้ชิมส่วนใหญ่รู้สึกเฉยๆ กับการบริโภคข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง ซึ่งสังเกตได้จากคะแนนของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่เสร็จสิ้นกระบวนการผลิตใหม่ๆ

ตารางที่ 4.7 การทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser ในข้าวรวงแก้วสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเป็นระยะเวลา 8 เดือน

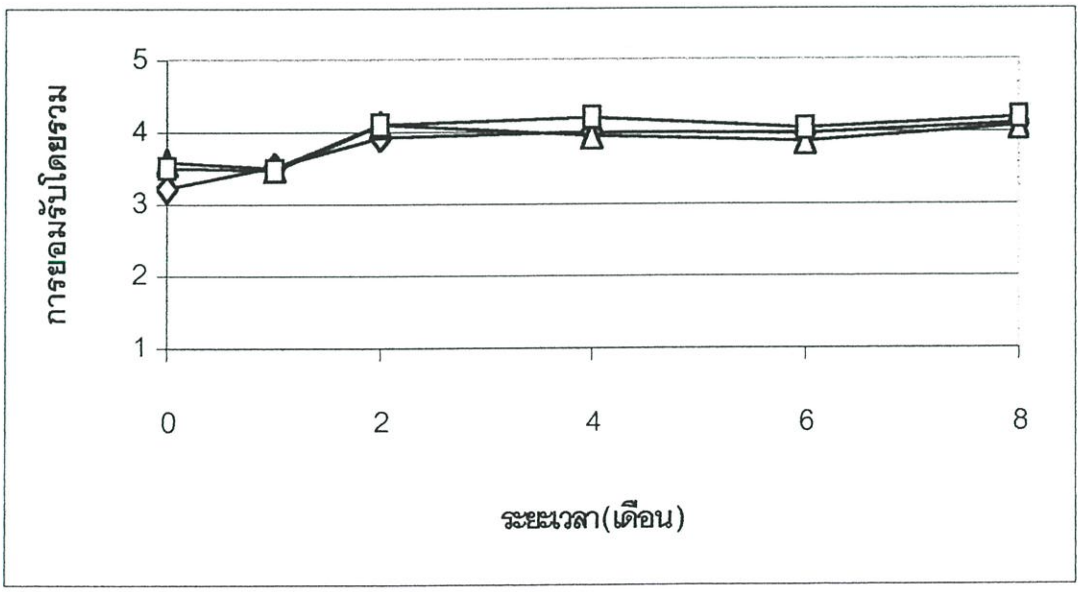
คุณลักษณะ	ปัจจัยที่ศึกษา	ระยะเวลา (เดือน)					
		0	1	2	4	6	8
เนื้อสัมผัส (ความแข็ง)	$F_0 = 1$	3.80 ± 0.99 a	3.75 ± 0.63 a	4.37 ± 0.66 a	4.20 ± 0.75 a	4.50 ± 0.50 a	4.62 ± 0.49 a
(ทางประสาทสัมผัส)	$F_0 = 3$	3.52 ± 0.81 a	3.82 ± 0.75 ab	4.23 ± 0.83 a	4.25 ± 0.67 a	4.60 ± 0.49 a	4.68 ± 0.47 a
	$F_0 = 5$	3.22 ± 0.97 a	3.92 ± 0.83 b	4.35 ± 0.58 a	4.38 ± 0.59 a	4.55 ± 0.50 a	4.63 ± 0.50 a
การยอมรับโดยรวม	$F_0 = 1$	3.22 ± 0.50 a	3.52 ± 0.51 a	3.93 ± 0.84 a	4.00 ± 0.84 a	3.98 ± 0.58 a	4.12 ± 0.61 a
	$F_0 = 3$	3.58 ± 0.81 a	3.50 ± 0.51 a	4.10 ± 0.70 a	3.95 ± 0.64 a	3.87 ± 0.69 a	4.08 ± 0.69 a
	$F_0 = 5$	3.50 ± 0.97 a	3.47 ± 0.50 a	4.10 ± 0.78 a	4.20 ± 0.64 a	4.05 ± 0.74 a	4.20 ± 0.72 a
ความแข็ง (กิโลกรัม)	$F_0 = 1$	6.15 ± 0.81 a	6.84 ± 0.41 a	7.73 ± 0.35 a	8.70± 0.27 a	9.11 ± 0.15 a	9.06 ± 0.57 a
(Texture Analyser)	$F_0 = 3$	6.03 ± 0.14 a	6.97 ± 0.11 a	7.54 ± 0.34 a	8.69 ± 0.54 a	8.88 ± 0.17 a	9.04 ± 0.31 a
	$F_0 = 5$	5.94 ± 0.20 a	6.79 ± 0.41 a	7.90 ± 0.33 a	8.62 ± 0.12 a	8.95 ± 0.42 a	9.31 ± 0.13 a

ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวรวงแก้วบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส (◇ , F_o = 1 ; Δ , F_o = 3 และ □ , F_o = 5) และโดยวิธีวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer (◆, F_o = 1 ; ▲, F_o = 3 และ ■ , F_o = 5)



ภาพที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมของข้าวรวงแก้วบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส (◇ , F_o = 1 ; Δ , F_o = 3 และ □ , F_o = 5)

4.5.3 ข้าวขาวตาแห้งสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

4.5.3.1 ความแข็ง

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความแข็งของข้าวขาวตาแห้งสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ในเดือนที่ 0, 1, 2, 4, 6 และ 8 แสดงในตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบความแข็งที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาเดียวกัน พบว่า ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่แตกต่างกัน คือ 1, 3 และ 5 ผู้ชิมให้คะแนนด้านความแข็งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าคะแนนความแข็งของข้าวมีค่าเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.6) โดยหลังจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 เดือนผู้ชิมให้คะแนนความแข็งค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดรีโทรกราเดชันอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเก็บรักษา ทำให้น้ำที่อะไมโลสดูดซึมไว้ถูกปล่อยออกมา ส่งผลให้ข้าวมีความแข็งเพิ่มมาก

4.5.3.2. การยอมรับโดยรวม

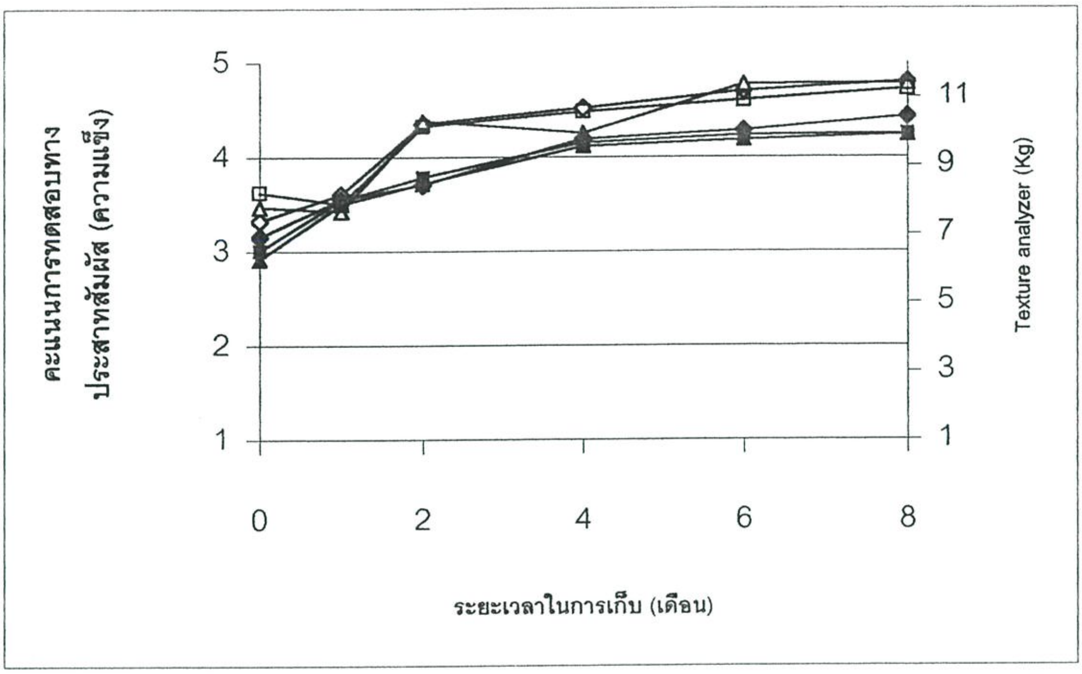
จากการทดสอบการยอมรับโดยรวมของข้าวขาวตาแห้งสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง พบว่า ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ได้รับการยอมรับโดยรวมมากที่สุดในช่วงเวลา 2 เดือนแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นมีแนวโน้มไม่ยอมรับเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4.7) โดยให้ผลในทำนองเดียวกันทุกการทดลอง ที่ความแข็งของข้าวประมาณ 6.5 - 7.00 กิโลกรัม เมื่อวัดความแข็งตามวิธีการวัดในข้อ 3.5.3.2 ผู้ชิมจะให้คะแนนการยอมรับมากที่สุด แต่ทั้งนี้หากพิจารณาจากคะแนนจะพบว่าผู้ชิมส่วนใหญ่ไม่นิยมบริโภคข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ซึ่งสังเกตได้จากคะแนนของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระ - ป๋องที่เสร็จสิ้นกระบวนการผลิตใหม่ๆ

ตารางที่ 4.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyser ในข้าวขาวตาแห้งสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องเป็นระยะเวลา 8 เดือน

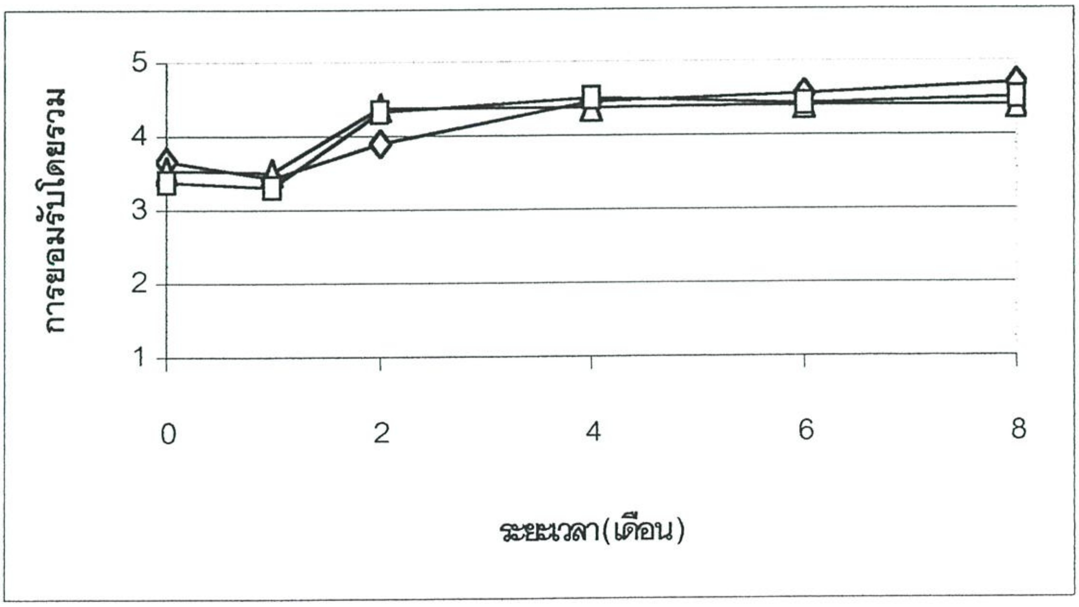
คุณลักษณะ	ปัจจัยที่ศึกษา	ระยะเวลา (เดือน)					
		0	1	2	4	6	8
เนื้อสัมผัส (ความแข็ง)	$F_0 = 1$	3.32 $\pm$ 0.66 a	3.60 $\pm$ 0.49 a	4.35 $\pm$ 0.48 a	4.52 $\pm$ 0.50 a	4.70 $\pm$ 0.46 a	4.80 $\pm$ 0.40 a
(ทางประสาทสัมผัส)	$F_0 = 3$	3.47 $\pm$ 0.51 ab	3.42 $\pm$ 0.50 a	4.38 $\pm$ 0.67 a	4.52 $\pm$ 0.64 a	4.77 $\pm$ 0.42 ab	4.78 $\pm$ 0.32 a
	$F_0 = 5$	3.62 $\pm$ 0.49 b	3.50 $\pm$ 0.64 a	4.32 $\pm$ 0.47 a	4.48 $\pm$ 0.55 a	4.60 $\pm$ 0.49 b	4.72 $\pm$ 0.45 a
การยอมรับโดยรวม	$F_0 = 1$	3.65 $\pm$ 0.48 a	3.02 $\pm$ 0.62 a	3.90 $\pm$ 0.71 a	4.45 $\pm$ 0.62 a	4.55 $\pm$ 0.55 a	4.70 $\pm$ 0.46 a
	$F_0 = 3$	3.50 $\pm$ 0.50 ab	3.50 $\pm$ 0.51 b	4.20 $\pm$ 0.67 ab	4.37 $\pm$ 0.49 a	4.40 $\pm$ 0.59 a	4.40 $\pm$ 0.59 b
	$F_0 = 5$	3.37 $\pm$ 0.67 b	3.30 $\pm$ 0.65 b	4.30 $\pm$ 0.47 b	4.50 $\pm$ 0.51 a	4.42 $\pm$ 0.50 a	4.50 $\pm$ 0.50 b
ความแข็ง (กิโลกรัม)	$F_0 = 1$	6.92 $\pm$ 0.19 a	7.99 $\pm$ 0.21 a	8.43 $\pm$ 0.23 a	9.77$\pm$ 0.13 a	10.02 $\pm$ 0.35 a	10.43 $\pm$ 0.30 a
(Texture Analyser)	$F_0 = 3$	6.26 $\pm$ 0.28 b	7.87 $\pm$ 0.33 a	8.47 $\pm$ 0.32 a	9.56 $\pm$ 0.17 a	9.74 $\pm$ 0.13 a	9.89 $\pm$ 0.28 a
	$F_0 = 5$	6.51 $\pm$ 0.15 ab	7.98 $\pm$ 0.13 a	8.65 $\pm$ 0.21 a	9.67 $\pm$ 0.23 a	9.87 $\pm$ 0.19 a	9.92 $\pm$ 0.25 a

ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวขาวตาแห้งบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส (◇ , F_o = 1 ; Δ , F_o = 3 และ □, F_o = 5) และโดยวิธีวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer (◆, F_o = 1 ; ▲ , F_o = 3 และ ■ , F_o = 5)



ภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยการยอมรับโดยรวมของข้าวขาวตาแห้งบรรจุกระป๋องโดยวิธีทดสอบทางประสาทสัมผัส (◇ , F_o = 1 ; Δ , F_o = 3 และ □, F_o = 5)

4.6 การศึกษาผลของรูปร่างของเมล็ดและระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) ที่มีต่อการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

จากการศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ในข้าวที่มีรูปร่างของเมล็ด (X_1) แตกต่างกัน โดยในข้าวเมล็ดสั้นมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง 1.67 (โคชิฮิคาริ) และในข้าวเมล็ดยาวมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง 3.19 (หอมมะลิ) ร่วมกับระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (X_2) ที่อุณหภูมิ 116 ^{o}ซ 2 ระดับ ได้แก่ 1 และ 5 นาที จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เมื่อพิจารณารูปร่างของเมล็ดร่วมกับระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อพบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดรีโทรกราเดชัน (ตารางที่ 4.9) โดยการเกิดรีโทรกราเดชันไม่ขึ้นกับรูปร่างของเมล็ด

เมื่อพิจารณาระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ พบว่า มีความสัมพันธ์กับการเกิดรีโทรกราเดชันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ – 0.25 หมายความว่า เมื่อระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น ทำให้การการรีโทรกราเดชันลดลง เนื่องจากระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อสูงขึ้น ทำให้เกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจน ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคในการกลับมารวมตัวของอะไมโลสใหม่อีกครั้ง

จากการเก็บรักษาข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 8 เดือน เมื่อวิเคราะห์สัมประสิทธิสหสัมพันธ์ พบว่า การเกิดรีโทรกราเดชันมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.90 โดยทั้งข้าวพันธุ์หอม-มะลิและข้าวพันธุ์โคชิฮิคาริ มีการเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มขึ้นทุกเดือนและยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 4.8)

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient ; r) ระหว่างรูปร่างของเมล็ด (L/W ratio) และ ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ ต่อการเกิดรีโทรกราเดชันในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน

การเกิดรีโทรกราเดชัน	Factor			
	อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (X_1)	ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) (X_2)	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (X_3)	อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง x ระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (X_1 x X_2)
ความแข็ง	- 0.02 ns	- 0.25**	0.90**	- 0.22 ns

หมายเหตุ ** มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

* มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความแข็ง (กิโลกรัม) ของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มี L/W ratio แตกต่างกัน โดยมีระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ F_0= 1 และ F_0= 5 นาน 8 เดือน เมื่อวัดด้วยวิธี Modified single kernel

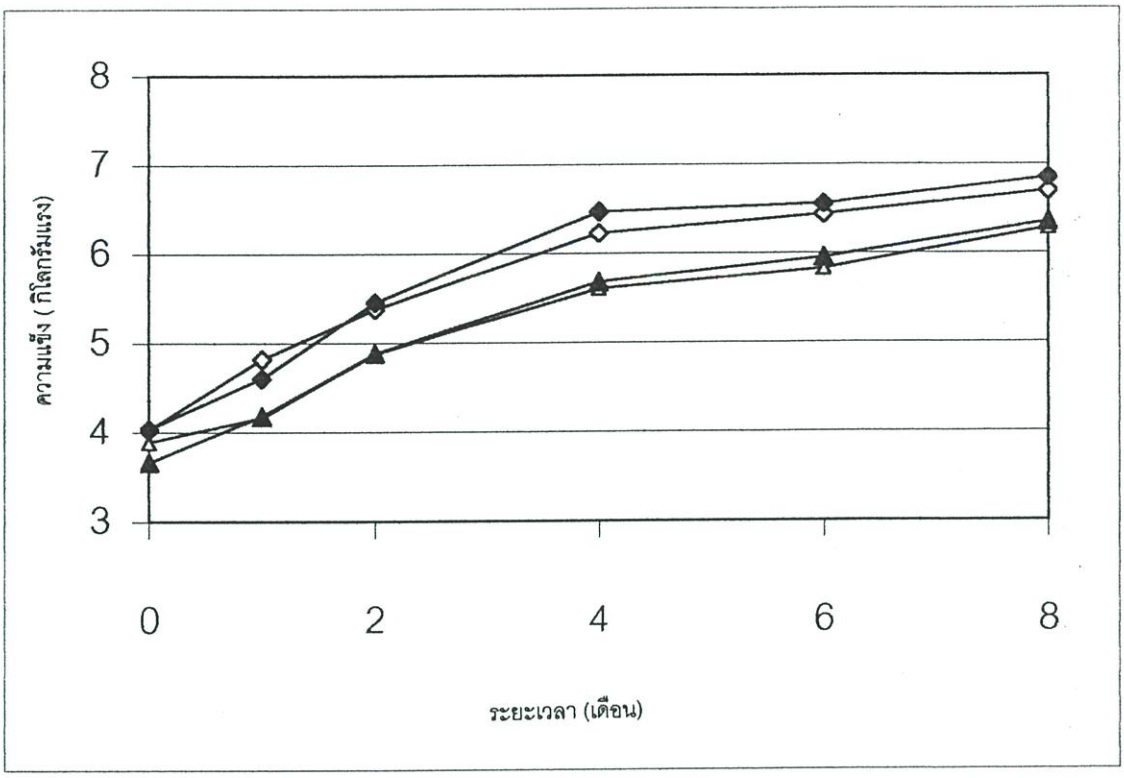
เดือนที่	เมล็ดยาว (L/W ratio = 3.19)		เมล็ดสั้น (L/W ratio = 1.67)	
	F_0 =1	F_0 = 5	F_0 = 1	F_0 = 5
0	$^{a}4.03 \pm 0.11^{ns}$	$^{a}3.89 \pm 0.18^{ns}$	$^{a}4.04 \pm 0.30^{ns}$	$^{a}3.66 \pm 0.39^{ns}$
1	$^{b}4.82 \pm 0.17^{a}$	$^{a}4.16 \pm 0.35^{bc}$	$^{b}4.61 \pm 0.22^{ac}$	$^{b}4.18 \pm 0.32^{a}$
2	$^{c}5.38 \pm 0.21^{a}$	$^{b}4.87 \pm 0.17^{b}$	$^{c}5.46 \pm 0.31^{a}$	$^{c}4.88 \pm 0.43^{b}$
4	$^{d}6.23 \pm 0.15^{a}$	$^{c}5.60 \pm 0.36^{b}$	$^{d}6.47 \pm 0.14^{a}$	$^{d}5.68 \pm 0.40^{b}$
6	$^{d}6.44 \pm 0.24^{a}$	$^{cd}5.83 \pm 0.81^{b}$	$^{de}6.55 \pm 0.17^{a}$	$^{de}5.96 \pm 0.23^{b}$
8	$^{d}6.70 \pm 0.22^{ab}$	$^{d}6.28 \pm 0.21^{a}$	$^{e}6.85 \pm 0.28^{b}$	$^{e}6.35 \pm 0.31^{a}$

* ค่าที่ได้จากตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

หมายเหตุ 1 ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2	1

2 ตัวอักษรที่ต่างกันในตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวหอมมะลิ (◊, F_o = 1 และ Δ, F_o = 5) และข้าวโคชิฮิคาริ (♦, F_o = 1 และ ▲, F_o = 5) บรรจุกระป๋อง เมื่อวัดด้วยวิธี Modified single kernel นาน 8 เดือน

หมายเหตุ ข้าวหอมมะลิเป็นตัวแทนของข้าวเมล็ดยาว (L/W=3.19)
ข้าวโคชิฮิคาริเป็นตัวแทนของข้าวเมล็ดสั้น (L/W=1.67)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

1. การเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องพันธุ์หอมมะลิ และพันธุ์ขาวตาแห้ง ที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (16.25 %) และ สูง (33.52 %) ตามลำดับ มีระดับความร้อนในการฆ่าเชื้อ (F_0) 1 และ 5 นาที พบว่า ปริมาณอะไมโลส และระยะเวลาในการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับการเกิดรีโทรกราเดชันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.85 และ 0.48 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเวลาในการเก็บรักษาพบว่า ข้าวขาวตาแห้งที่เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดรีโทรกราเดชันเร็วและมากกว่าข้าวหอมมะลิที่เป็นข้าวอะไมโลสต่ำ

2. จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้านความแข็งและการยอมรับโดยรวมของข้าวพันธุ์เดียวกันได้แก่ หอมมะลิ รวงแก้ว และขาวตาแห้ง โดยมีระดับในการฆ่าเชื้อแตกต่างกัน คือ ที่ระดับ F_0 เท่ากับ 1, 3 และ 5 พบว่า ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ในระหว่างการเก็บรักษา 2 เดือนแรก ผู้ชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างในด้านความแข็งได้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ผู้ชิมสามารถบอกถึงความแตกต่างในด้านของความแข็งและยอมรับโดยรวมได้ โดยคะแนนการยอมรับโดยรวมผู้ชิมชอบข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่ผลิตจากข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำหรือข้าวพันธุ์หอมมะลิ มากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลางและสูง

3. จากการศึกษาข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องที่มีรูปร่างของเมล็ดแตกต่างกัน ได้แก่ พันธุ์โคชิฮิคาริ (เมล็ดสั้น) และพันธุ์หอมมะลิ (เมล็ดยาว) ที่มีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน โดยระดับในการฆ่าเชื้อ คือ F_0 เท่ากับ 1 และ 5 พบว่า F_0 และระยะเวลาในการเก็บรักษา มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ – 0.25 และ 0.90 ตามลำดับ ส่วนรูปร่างของเมล็ด (L/W ratio) ไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดรีโทรกราเดชัน

บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2542. **เทคโนโลยีของแป้ง**. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิตติชัย บรรจง. 2534. “การวัดความแข็งของข้าวสุกด้วยวิธี Back Extrusion.” **เกษตรพระจอมเกล้า**. 9 (3) : 21 - 23.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าวประทุม สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 51 หน้า.

งามชื่น คงเสรี. 2531. **คุณภาพการหุงต้มรับประทานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพ. 94 - 101.

งามชื่น คงเสรี. 2540. “ **คุณภาพข้าวสุก**.” วารสารจาร์พา. 38 : 41 - 44.

จารนัย พานิชยกุล. 2537. “แป้ง(starch) - การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้สุก.” **วารสารจาร์พา**. 11 : 22 - 24.

ชุติมา เลิศลักษมี. 2539. “การศึกษากระบวนการแปรรูปข้าวจาปอนิก้าสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง.” ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2528. **วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร**. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยลัยเกษตรศาสตร์.

ทศรฐ อินแปลง. 2543. “การศึกษากระบวนการผลิตข้าวเหนียวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง.” ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รังสิตา สีมาบรรพ์. 2540. “ผลของพันธุ์ข้าวและอุณหภูมิในการเกิดรีโทรกราเดชันต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเจลจากแป้งข้าว.” ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

รุ่งนภา พงษ์สวัสดิ์มานิต. 2541. **วิศวกรรมอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุฒิชัย นาครักษา. 2530 . "การศึกษากระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง." รายงานโครงการวิจัยลำดับที่ 7/2530, ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วุฒิชัย นาครักษา. กระบวนการผลิตข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง (Cannes white rice) ในระดับอุตสาหกรรม. ประเทศไทย. สิทธิบัตรไทยเลขที่ 9584. 2543.

วุฒิชัย นาครักษา. 2535. **เทคโนโลยีธัญพืช**. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมจินตนา สุมิตสวรรค์. 2542. **การใช้เครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร**. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อรพิน ภูมิภมร. 2532. **เทคโนโลยีของแป้ง : เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย**. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abd Karim, A., Norziah, M.H., and Seow, C.C. 2000. "Method for the study of starch retrogradation." **Journal Food Chemistry**. 71 : 9 - 36.

Adair, C.B., Beachell, H.M., Jodon, N.E., Johnst, T.H., Thysell, J.R., Green, V.E, Webb, B.D. and Atkins, J.G. 1966. **Rice breeding and method in the United State.** Rice in the United State : Varities and Production, Arg. Res.Service. U.S.Dep.Arg. Handbook.

Anonymous. 2537. "Texture Profile Analysis." **วารสารจาร์พา.** 4 :16 -17, 6 :10 -13.

Atwell, W.A., Hood, L.F., Lineback D.R., Varriano-Marston, E. and Zobel, H.F. 1988. " The terminology and methodology associated with basic starch phenomena." **Cereal Food World.** 33 : 306 – 311.

Batcher, O.M., Helmintoller, K.F. and Dawson, E.H. 1956. "Development and Application of Methods for Evaluation Cooking and Eating Quality of Rice." **Jouanal of Rice.** 59 : 4-8.32

Borchard, W. 1996. "Rheologische untersuchungen zum einflu β von hydrokolloiden auf Die Gefrier-tau-stabilitat von starkek leisterm." **Starch/Starke** 48 : 52 – 57

Bourne, M.C., Moyer, J.C. and Hand, D.B. 1966. "Measurement of food texture by a universal testing machine." **Food Technology**. 20 (4) : 522 - 526.

BSI 5098. 1975. **Glossary for terms relating to the analysis of food.** British Standards (BSI). London.

Burns, E.E. 1972. Canned Rice Foods. *In* Rice Chemistry and Technology. **American Association of Cereal Chemists.** The Associattiiion, St. Paul, Minnesota, 1972.

Champagne, E.T., Lyon, B.G., Min, B.K., Vinyard, B.T., Bett, K.L., Barton II, F.E., Webb, B.D., McClung ,A.M., Moldenhauer, K.A., Linscombe, S., McKenzie, K.S. and Kohlwey, D.E. 1998. "Effects of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice." **Cereal Chem.** 75 (2) : 181 - 186.

Chang, S.M. and Liu, L.C. 1991. "Retrogradation of rice starches studied by differential scanning calorimetry and influence of sugars, NaCl Lipids." **Journal of Food Science.** 56 (2) : 564 - 570.

Del Mundo, A.M. 1979. **Sensory assessment of cooked milled rice.** *In* : proceeding of the workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality. IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines.

Demont, J.I. and Burns, E.E. 1968. "Effect of certain variable on canned rice quality." **Journal of Food Technology.** 22 (2) : 1186 -1188.

Eliasson, A.C. 1996. **Carbohydrate in Food.** London : Marcel Dekker, Inc.

Eliasson, A.C. and Gudmundsson, M. 1996. **Starch : Physiochemical and functional aspects.** *In* Carbohydrates in Food (Eliasson, A.C.) New York : Marcel Dekker, Inc.

Fan, J. and Marks, B.P. 1998. " Retrogradation kinetics of rice flour as influence by cultivar." **Cereal Chemistry.** 75 (1) : 153 - 155.

FAO. 1992. **Annual report.**

Friedman, H.H., Whitney, J.E. and Szczesniak, A.S. 1963. "The texturometer a new Instrument for objective texture measurement ." **Journal of Food Science.** 28 : 390 - 396.

Gerdes, D.L. and Burns, E.E. 1982. "Techniques for canning instannt parboiled rice." **Jouanal of Food Sciences.** 47(5) : 1734 - 1735.

Hizukuri, S. 1986. "Polymodal distribution of the chain length of amylopectin and its significant". **Carbohydrate Research.** 147 - 342.

Hogan, J.T. and Deoblad, H.J. 1961. "Note on a method of determining the degree milling of whole milled rice." **Cereal Chemistry.** 38 : 291.

Hori, K., Purboyo, R.B.R.A., Jo, M., Akinaga, Y.and Okita,T. 1995. "Sensory evaluation of aromatic rice by Japanese consumers." **ASEAN Food Journal.** 10 (1) :15 - 18.

International Rice Research Institute. 1972. Rep. 1971-1972. Los Banos, Philipines. 738 p.

Jacobson, M.R. and Bemiller, J.N. 1998. "Method for determining the rate and extent of aclerated starch retrogradation". **Cereal Chemistry.** 75 (1) : 22 - 29.

Jankowski, T. 1992 . "Influence of starch retrogradation on the texture of cooked potato tuber." **International Journal of Food science and Technology.** 27 : 637 - 642.

Juliano, B.O., Onate ,L.U. and Del mundo, A.M. 1965 . "Relation of starch composition protein content and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice." **Food Technology.** 19 : 1006 -1011.

Juliano, B.O. and . Prez, C.M., Breckenridge, C., AB., Castilo, T.D., Chouhury, N.H., Konggeree, N., Laignelet, B., Merca, F.E., Paule, C.M., and Webb, B.D. 1980. "Report of the international Cooperative Testing on the Gel Consistency of Milled Rice." **Rice** . 29 : 233 - 237.

Juliano, B.O. and Prez, C.M. 1984. "Result of a Colla borative test on the measurement of grain elongation of milled rice during cooking." **Journal Cereal Science.** 2 : 292 - 231.

Juliano, B.O. 1985. Critical and testing for qualities. *In* B.O. Juliano (ed). **Rice : Chemistry and Technology.** Amer.Ass.Cereal Chem.,Inc.,st.paul,Minnessota.

Kramer, A. and Twigg, B.A. 1970. **Kinesthetics or Texture.** *In* : Quality Control for the food Industry (1) fundamentals, (Kramer, A., Ed.). Connecticut, The AVI Publishing Company, Inc.

Kim, J.O., Kim, W.S. and Shin, M.S.K. 1997. "A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, x-ray and alpha-amylase methods." **Starch/Starke.**49 (2) : 71 – 75.

Klucinnec, J.D., and Thomson, D.B. 1999. " Amylose and amylopectin interac in retrogradation of dispersed high-amylose starch". **Cereal chemistry.** 76 (2) : 282 - 291.

Levine, H. and Slade, L. 1987. **Water as a plasticizer : physiochemical aspects of low - moisture polymeric system.** *In* water Science Reviews (Franks,F) Vol.3 Eds. Cambridge University Press.

Lima, I. and Singh, R.P. 1993. "Objective measurement of retrogradation in cooked rice during storage." **Journal of Food Quality.** 16 : 321 - 337.

Luh, B.S. and Liu, Y. 1980. **Canning Freezing and Freeze drying.** *In* : Rice Production and Utilization.AVI, : 590 - 594.

Lund, D.B. 1983. **Application of differential scanning calorimetry in foods.** In physical Properties of food. Westport : The AVI Publishing company, Inc.

Lyon, B.G., Champagne, E.T., Vinyard, B.T., Windham, W.R., Barton II, F.E., Webb, R.D., Mcclung, A.N., Moldenhauer, K.A., Linscombe, S., McKenzie, K.S. and Kohlway, D.E. 1999. "Effects of degree of milling, drying condition, and final moisture content on sensory texture of cooked rice." **Cereal Chemistry.** 76 (1) : 56 - 62.

Marchant, J.L. and Blanshard, J.M.V. 1978. " Study of dynamics of the gelatinization of starch granules employing a small angle light scattering system". **Starch/Stärke** 30 : 257 – 264.

Meullenet, J.F., Marks, B.P., Hankins, J.A., Griffin, V.K. and Daniels, M.J. 2000. "Sensory quality of cooked long-grain rice as affected by rough rice moisture content, temperature, and storage duration." **Cereal Chemistry.** 77 (2) : 259 - 263.

Noel, T.R., Ring, S.G. and Whittam, M.A. 1993. "Physical properties of starch products : Structure and Functtion." *In* **Food colloids and polymer : stabiliity and mechanical properrties.** (Dickinson, E. and Walsttra, P). Redwood Press Ltd, Malksham. Wiltshire. (or The Royal Society of Chemistry)

Normand, F.L. and Marshall , W.E. 1989. "Differential Scanning calorimetry of whole grain milled rice and milled rice flour". **Cereal Chemistry.** 66 (4) : 317 - 320.

Oates, C.G. 1997. "Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis." **Trend in Food Science and Technology.** 8 : 375 – 382.

Okabe, M. 1979. "Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality." **Journal of Texture Studies.** 10 : 131 - 152.

Perdon, A.A., Siebenmorgan, T.J., Buescher, R.W. and Gbur, E.E. 1999. "Starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage." **Journal of food science.** 64 (5) : 828 - 832.

Perez, C.M. and Juliano, B.O. 1981. "Texture changes and storage of rice." **Journal of Texture Studies.** 12 : 321 - 333.

Perez, C.M., Villareal, C.P., Juliano, B.O. and Biliaderis, C.G. 1993. "Amylopectin – Staling of cooked non waxy milled rices and starch gels." **Cereal Chemistry.** 70 (5) : 567- 571.

Pillaiyar, P. and Mohandoss, R. 1981. "A pressing-device to measure the texture of cooked rice." **Journal of Texture Studies.** 473 - 781.

Pomeranz, Y. 1987. Modeern Cereal Science and Technology. VCH Publ.,Inc.,New York.486p.

Roberts, R.L., Houston, D.F. and Kester, E.B. 1953. "Process for canning white rice." **Journal of food technology.** 7 (2) : 78 - 80.

Sharp, R.N., Shaarp, C.Q. and Kattan, A.A. 19981. "A new method for thermal processed canned rice." **Journal of food technology.** 35(5) : 75 - 77.

Shutz, H.G. and Damrell, J.D. 1974. "Prediction of hedonic ratings of rice by sensory analysis. **Journal of food science.** 39 : 203 - 206.

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

Sasmat, A. and Meullenet, J.F. 2001. "Prediction of Rice Sensory Texture Attributes from a Single Compression Test, Multivariate Regression, and a Stepwise Model Optimization Method." **Journal of Food Science.** 66 (1) : 124 - 131.

Slad, L.and Levine, H.1991. "Beyond water activity : recent advance based on and alternative approach to the assessment of food quality and safety." **Critical Review Food Science Nutrition.** 30 : 115 - 360.

Szczesniak, A.S., Brandt, M.A. and Fried, H.H. 1963. "Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and sensory methods of texture evaluation." **Journal of Food Science.** 28 : 397- 403.

Tako, M. and Hizukuri, S. 2000 . "Retrogradation mechanism of rice starch." **Cereal Chemistry.** 77 (4) : 473 - 477.

Teo, C.H.and Seow, C.C. 1992. "A pulsed NMR method for the study of starch retrogradation." **Starch/Starke.** 44 (8) :288-292.

Tsuji, S. 1981. "Texture measurement of rice kernels using the multiple point Measuration Method." **Journal of Texture Studies.** 12 : 93 -105.

Whistler, R.L. and Denie, J. R. 1984. **Molecular structure of starch.** *In* Starch Chemistry and Tecnology. (Whistler, R.L.,Bemiller, J.N. and Paschall (eds), E.F.) 2 nd E.D. Florida : Acadamic Press, Inc.

Yonan-Malek,M. 1943. **Method and control system for treating and canning rice.** U.S.Patent. 2,334,665.

Yook, C., Pea, U.H. 1993. "Gelatinization and retrogradation characteristics of hydroxypropylated and cross linked rice." **Journal of Food Science.** 58 (2) : 405 - 407.

Yrjo, R. 1995. **Phase transition in foods.** London: Academic Press.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

1. ความชื้น

เตรียมตัวอย่างโดยบดผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 20 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร) ผสมให้เข้ากัน เตรียมจานโลหะ (Dish) และฝาที่เย็นที่ทราบน้ำหนักแล้ว (โดยอบที่ 130° ± 3 °ซ) ใส่ตัวอย่าง 2 กรัม (จดน้ำหนักที่แน่นอน) เปิดฝา อบพร้อมฝาในตู้อบ 1 ชั่วโมง (เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 130° ซ) เมื่อครบเวลาปิดฝาขณะอยู่ในตู้อบ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ชั่งน้ำหนัก คำนวณเป็น % ความชื้น

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไปในการอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

2. ไขมัน

ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 3 - 4 กรัม ใส่ในกระดาษกรอง แล้วห่อใส่ในทิมเบิล (Thimble) ปิดด้านบนของตัวอย่างด้วยสำลีหรือกระดาษกรอง นำทิมเบิลใส่ลงในหลอดสกัด (Extraction tube) ที่ด้านบนต่อด้วยเครื่องควบแน่น (Condenser) ด้านล่างต่อกับขวดก้นกลมใส่ปิโตรเลี่ยมอีเทอร์ (Petroleum ether) 150 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลม ต่อเครื่องสกัดไขมันทั้งหมด ปรับระดับความร้อน ทำการสกัด 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไประเหยอีเทอร์ออกด้วยเครื่องระเหยภายใต้สุญญากาศ (Vacuum rotary evaporator) นำส่วนไขมันไปอบที่ 100 °ซ 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3. โปรตีน

ดัดแปลงใช้คอปเปอร์ซัลเฟตและโปตัสเซียมซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำตัวอย่างจำนวน 3 – 5 กรัม มาย่อยด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้น 0.02 นอร์มอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวอยู่ด้วย ทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส จึงทำให้เย็นแล้วนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นขนาดเล็ก เก็บส่วนที่เป็นแอมโมเนียโดยการควบแน่นในสารละลายกรดบอริคความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ นำไปไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริค ความเข้มข้น 0.02 N จนอินดิเคเตอร์ (เมทธิลเรท และบลอมกลีซอรีน) เปลี่ยนจากสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นสีแดงหรือชมพูอ่อนแกมส้ม ปริมาณกรดไฮโดรคลอริคใช้ในการไต-

เตรตนำไปคำนวณหาค่าปริมาณไนโตรเจน โดยคูณด้วยแฟคเตอร์ 6.25 จะได้ปริมาณโปรตีน (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ไตเตรต) ตามต้องการ

4. เยื่อใย

เตรียมตัวอย่างที่วิเคราะห์ โดยบดตัวอย่างร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร) และอบกระดาษกรอง (Filter paper) ที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$ –100 $^{\circ}$ซ นาน 2 ชั่วโมง แล้วชั่งตัวอย่างน้ำหนัก นำตัวอย่างใส่บีกเกอร์ (Beaker) เติมกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น 1.2 % จำนวน 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองผ่านผ้าลินินโดยใช้กรวยกรอง (Buncher Funnel) ล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดจนหมดกรด ตรวจด้วยกระดาษลิตมัส (Litmus) ล้างผ้าลินินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 200 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดอีก 30 นาที ล้างด้วยด่างอีกครั้ง และล้างด้วยแอลกอฮอล์เป็นขั้นตอนสุดท้าย นำกระดาษกรองที่มีเยื่อใย อบที่อุณหภูมิ 135 $^{\circ}$ซ นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาในครูซิเบิล (Crucible) จนหมดควัน แล้วนำมาใส่เตาเผา (Muffle furnace) อุณหภูมิ 550 $^{\circ}$ - 600 $^{\circ}$ซ จนเป็นเถ้าสีขาว ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาณเยื่อใย

$$\% \text{ เยื่อใย} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

5. เถ้า

ชั่งตัวอย่างจำนวน 2-3 กรัม ใส่ในครูซิเบิล (Crucible) ที่เผาในเตาเผา ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก เผาบนเตา (Hot plate) จนเป็นสีเทาหรือจนไม่มีควัน นำไปเผาต่อในเตาเผา (Muffle furnace) ที่ 550 $^{\circ}$ซ จนได้เถ้าสีขาว หรือน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าที่ได้}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

6. คาร์โบไฮเดรต

คำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการ Total by different ดังนี้

% คาร์โบไฮเดรต = 100 – %(ความชื้น + โปรตีน + ไขมัน + เยื่อใย + เถ้า)

7. อะไมโลส

1. การเตรียมตัวอย่าง นำข้าวสารบดด้วยเครื่อง ร่อนผ่านตะแกรง 60 เมส (mesh) จากนั้นนำไปสกัดไขมันออกโดยใช้เอทธานอล (Ethanol) 85 % เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

2. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม ใส่ในขวดแก้ว ขนาด 100 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมเอทธานอล 95 % จำนวน 1 มิลลิลิตรลงไป เพื่อล้างตัวอย่างที่ติดข้างขวดแก้ว เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N จำนวน 9 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน 10 นาทีแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 - 24 ชั่วโมง

3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพนโตอะไมโลส ชั่งสารโพเตโต้อะไมโลส (Amylose from potato) 0.04 กรัม เติมเอทธานอล 95 % 1 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N จำนวน 9 มิลลิลิตร นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน 10 นาทีและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นทิ้งไว้ 15 - 24 ชั่วโมง

4. การเตรียมสารละลายแบงค์ (Blank) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.09 N จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดอะซิติก 1 N จำนวน 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งไว้ 15 - 25 นาที

5. การทำกราฟสารละลายมาตรฐานโพเตโต้อะไมโลส (Potato amylose) ปิเปตสารละลายโพเตโต้อะไมโลส ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร 5 ใบ โดยปิเปตลงใบละ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ (เทียบเท่ากับ 8, 16, 24, 32 และ 40 % อะไมโลสของแป้ง) จากนั้นเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิตร เติมกรดอะซิติก 1 N ลงในขวดแก้วใบละ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิลิตร แล้วเติมไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วทั้ง 5 ใบ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ 15 - 25 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโน-เมตร โดยใช้แบงค์ปรับค่าก่อนทำการวัด นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายโพเทโตอะไมโลสที่ได้มาเขียนกราฟมาตรฐาน

4. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่าง ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดอะซิติก 1 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้ว ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น นำขวดไปเก็บไว้ในที่มืด 20 นาที นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างมาหาปริมาณอะไมโลสจากกราฟมาตรฐานสารละลายโพเทโตอะไมโลส

8. อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างและน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด

เลือกข้าวที่มีลักษณะเต็มเมล็ดโดยสมบูรณ์ 1,000 เมล็ด มาจัดเรียงจัดเรียงตามความยาวและกว้าง วัดความยาวและความกว้างของเมล็ด คำนวณหาค่าเฉลี่ย อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าว (L/W ratio) และนำข้าวจำนวน 1,000 เมล็ด มาชั่งน้ำหนัก บันทึกข้อมูลน้ำหนักต่อ 1,000 เมล็ด

$$\text{L/W ratio} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยเมล็ดข้าว, มิลลิเมตร}}{\text{ความกว้างเฉลี่ยเมล็ดข้าว, มิลลิเมตร}}$$

ภาคผนวก ข

วิธีทดสอบคุณภาพการหุงต้ม

(Cooking quality test)

การทดสอบคุณภาพการหุงต้ม (Cooking quality test)

ชั่งข้าวสาร 8.00 ± 0.10 กรัม ใส่ในตะแกรงลวดทรงกระบอกสูง วัดความสูงของข้าวสาร บันทึกค่าความสูงของข้าวสารโดยรอบตะแกรง 3 จุด นำบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร ใส่น้ำ 160 มิลลิลิตร ตั้งบนเตา (hot plate) นำตะแกรงลวดที่บรรจุข้าวสารใส่ลงบีกเกอร์ ให้ความร้อนจนกระทั่งมีฟองปุดขึ้นมา ทิ้งไว้ 1 นาที ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา ต้มต่อไปด้วยความร้อนต่ำเป็นเวลา 20 นาที ยกตะแกรงลวดขึ้นจากน้ำ ปล่อยให้น้ำไหลออกจากตะแกรงเป็นเวลา 2 นาที พร้อมชั่งน้ำหนักและวัดความสูงของข้าวสุก 3 จุด บันทึกค่าเพื่อนำไปคำนวณอัตราการขยายตัวทางปริมาตร และค่าการดูดซึมน้ำ

จากนั้นทำการหาปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำข้าว โดยการดูดน้ำจากบีกเกอร์ 10 มิลลิลิตร ใส่ในอะลูมิเนียมแคน (Aluminum can) (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน) นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า แล้วนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °ซ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผล นำค่าที่ได้มาคำนวณโดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น} = \frac{\text{ความสูงเฉลี่ยของข้าวสุก}}{\text{ความสูงเฉลี่ยของข้าวสาร}}$$

$$\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสุก}}{\text{น้ำหนักข้าวสาร}}$$

ภาคผนวก ค

การคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

ความหมายของสัญลักษณ์

1. ค่า D (Death rate constant) หรือ (Decimal reduction time) ความสามารถในการทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ ถูกกำหนดให้แสดงในรูปของ D value ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ลง 90% ของที่มีอยู่ ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดค่า D แตกต่างกัน

2. ค่า Z (Z value) หมายถึงจำนวน °ฟ หรือ °ซ ที่ต้องการ เพื่อเปลี่ยน TDT curve ไป 1 log cycle หรือจำนวนอุณหภูมิที่เปลี่ยนค่า D ไป 10 เท่า

3. ค่า F_0 (Sterilizing value) หมายถึง จำนวนเวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิ 250 °ฟ สำหรับใช้ทำลายเชื้อจุลินทรีย์จำนวนหนึ่ง เมื่อ Z = 18 (ค่า Z = 18 ปกติจะเป็นของ *Clostridium botulinum*)

4. ค่า f_h หมายถึง เวลาที่ใช้ในการทำให้กราฟผ่าน 1 วงจร log cycle

5. ค่า Come up time (CUT) หมายถึงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำ จนอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

3. ค่า Corrected zero หมายถึงเวลาเริ่มต้นของการฆ่าเชื้อที่แก้ไขแล้ว ซึ่งเท่ากับผลคูณของ Come up time กับ 0.58

7. ค่า IT (Theoretical initial temperature) หมายถึงอุณหภูมิเริ่มต้นของจุด Cold point ของกระป๋องที่เป็นค่าจริง

8. ค่า jI (Psudo-initial temperature) หมายถึง อุณหภูมิเริ่มต้นโดยสมมติ ของการฆ่าเชื้อซึ่งหาได้โดยลากเส้นตรงจากจุด Corrected zero บนแกน X ไปตัดแกน Y จะได้อุณหภูมิที่จุดตัด นำไปลบอุณหภูมิที่อ่านได้ จากอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ จะได้ค่า jI

9. ค่า log g และ f_h/u สามารถอ่านได้จากกราฟความสัมพันธ์ของ log g กับ f_h/u ที่ m+g ต่างๆ

10. ค่า m+g หมายถึงผลต่าง ของอุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อกับอุณหภูมิน้ำเย็นในการทำให้กระป๋องเย็น

11. ค่า Fi หมายถึง จำนวนนาทีที่ต้องการใช้ทำลายจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ เมื่อ F มีค่าเท่ากับ 1 ที่ 250 °ฟ

$$Fi = \log^{-1} (250 - RT/Z)$$

12. ค่า B หมายถึง เวลาในการฆ่าเชื้อ (นาที)

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณค่า F_0 (Sterilizing value) ในการให้ความร้อน ในกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง

1. ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ 240 °ฟ เวลา 20 นาที ค่าที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

B_B = 20 + (6 x 0.42) = 22.52 นาที

RT = 240 °ฟ

f_h = 15 นาที

Corrected zero of process = 3.48

CUT = 6 นาที

IT' = 120

jI = RT – IT' = 240 – 120 = 120 °ฟ

Log g = log jI – (B_B / f_h) = log 120 – (22.52 / 15)

Fi = 3.594

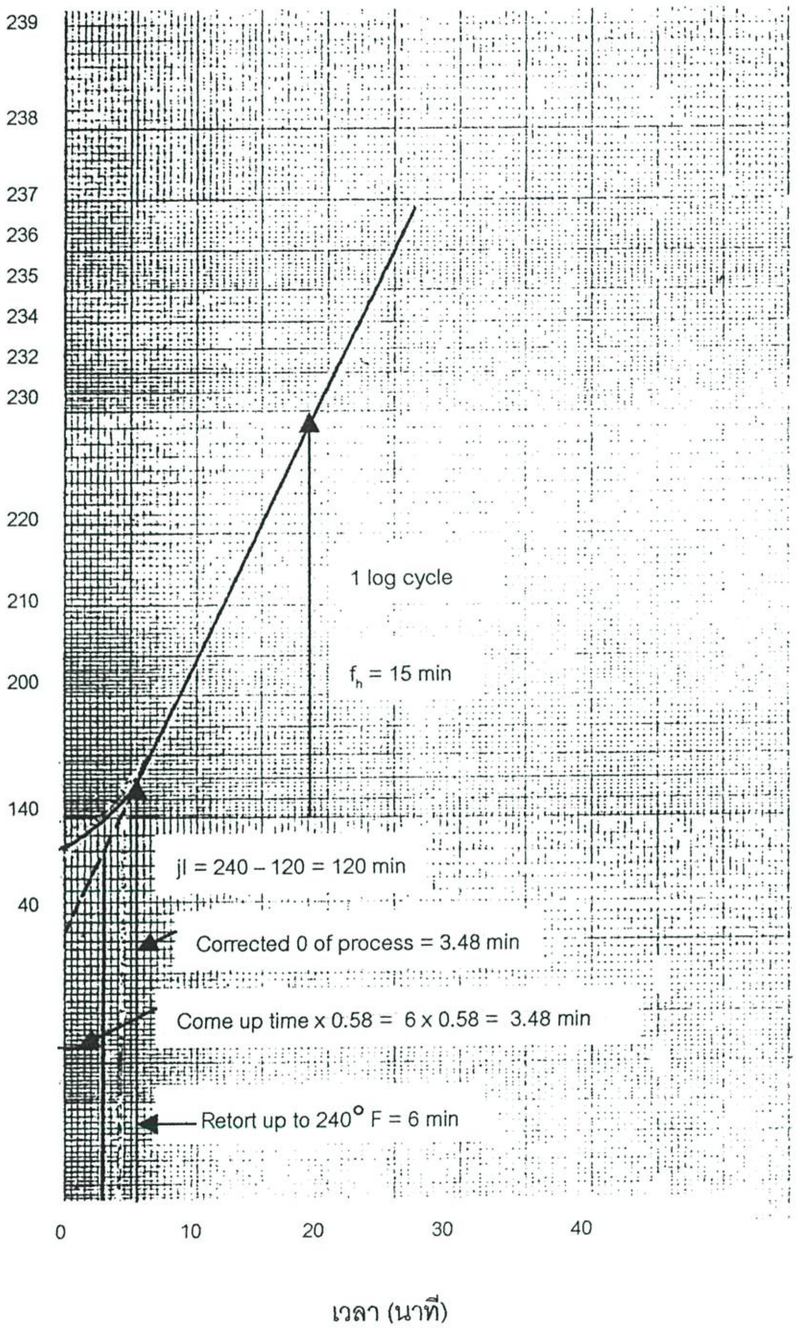
f_h / U = 3.366

จากสูตร

$F_0 = f_h / (f_h / U)$ Fi

= 15 / (3.366 x 3.594)

= 1.24 นาที



ภาพที่ ก.1 แสดงกราฟการให้ความร้อนกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ที่อุณหภูมิ 240 °F เวลา 20 นาที

2. ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ 240 °ฟ เวลา 30 นาที ค่าที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

B_B = 30 + (8 x 0.42) = 33.36 นาที

RT = 240 °ฟ

f_h = 17 นาที

Corrected zero of process = 4.64

CUT = 8 นาที

IT' = 120

jI = RT – IT' = 240 – 120 = 120 °ฟ

Log g = log jI – (B_B / f_h) = log 120 – (33.36 / 17)

Fi = 3.594

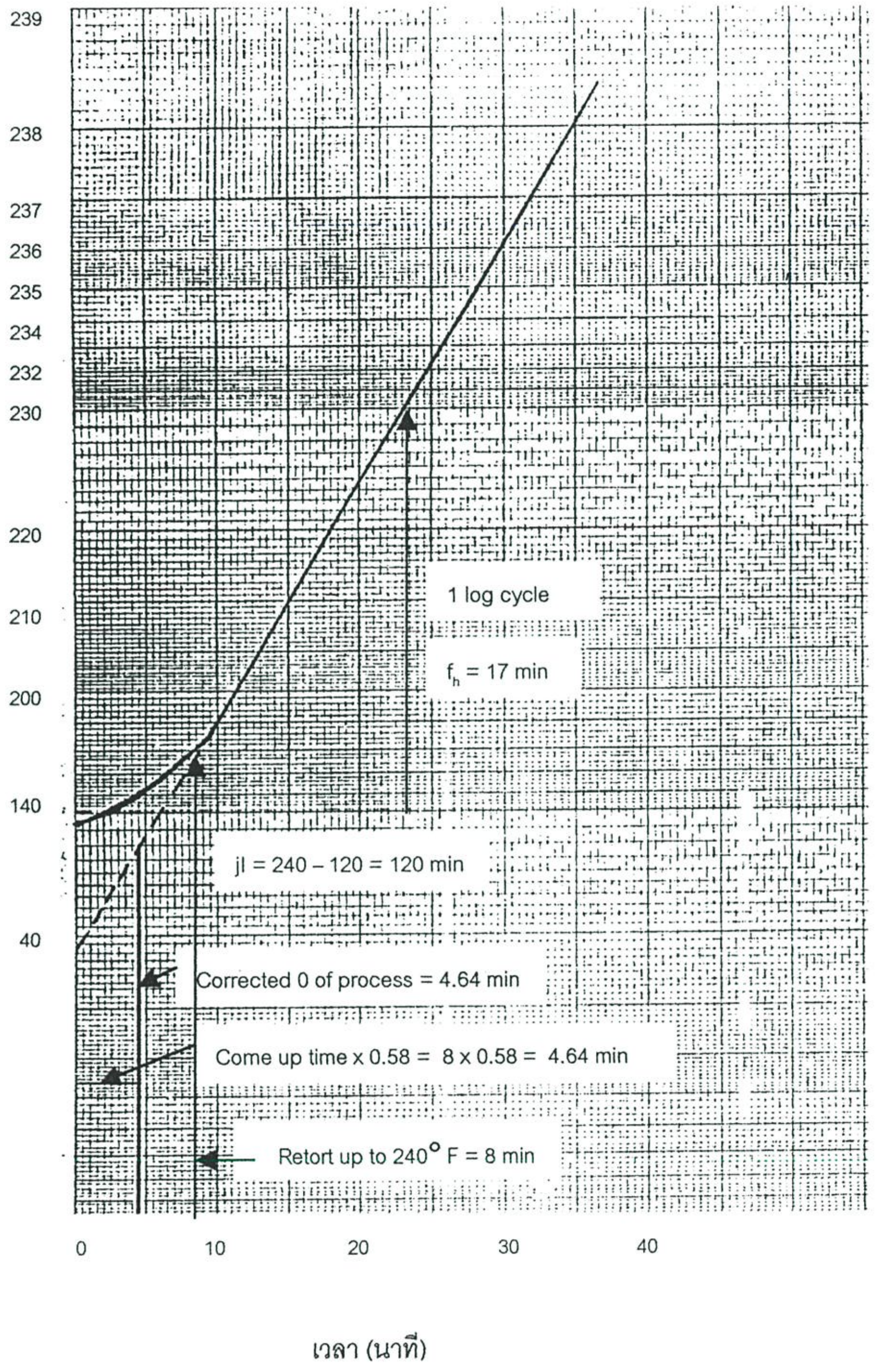
f_h / U = 1.546

จากสูตร

$F_0 = f_h / (f_h / U)$ Fi

= 17 / (1.546 x 3.594)

= 3.06 นาที



ภาพที่ ก.2 แสดงกราฟการให้ความร้อนกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ที่อุณหภูมิ 240 °F เวลา 30 นาที

3. ข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ 240 °ฟ เวลา 40 นาที ค่าที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

B_B = 40 + (8 x 0.42) = 43.36 นาที

RT = 240 °ฟ

f_h = 18 นาที

Corrected zero of process = 4.64

CUT = 8 นาที

IT' = 100

jI = RT – IT' = 240 – 100 = 140 °ฟ

Log g = log jI – (B_B / f_h) = log 140 – (43.36 / 18)

Fi = 3.594

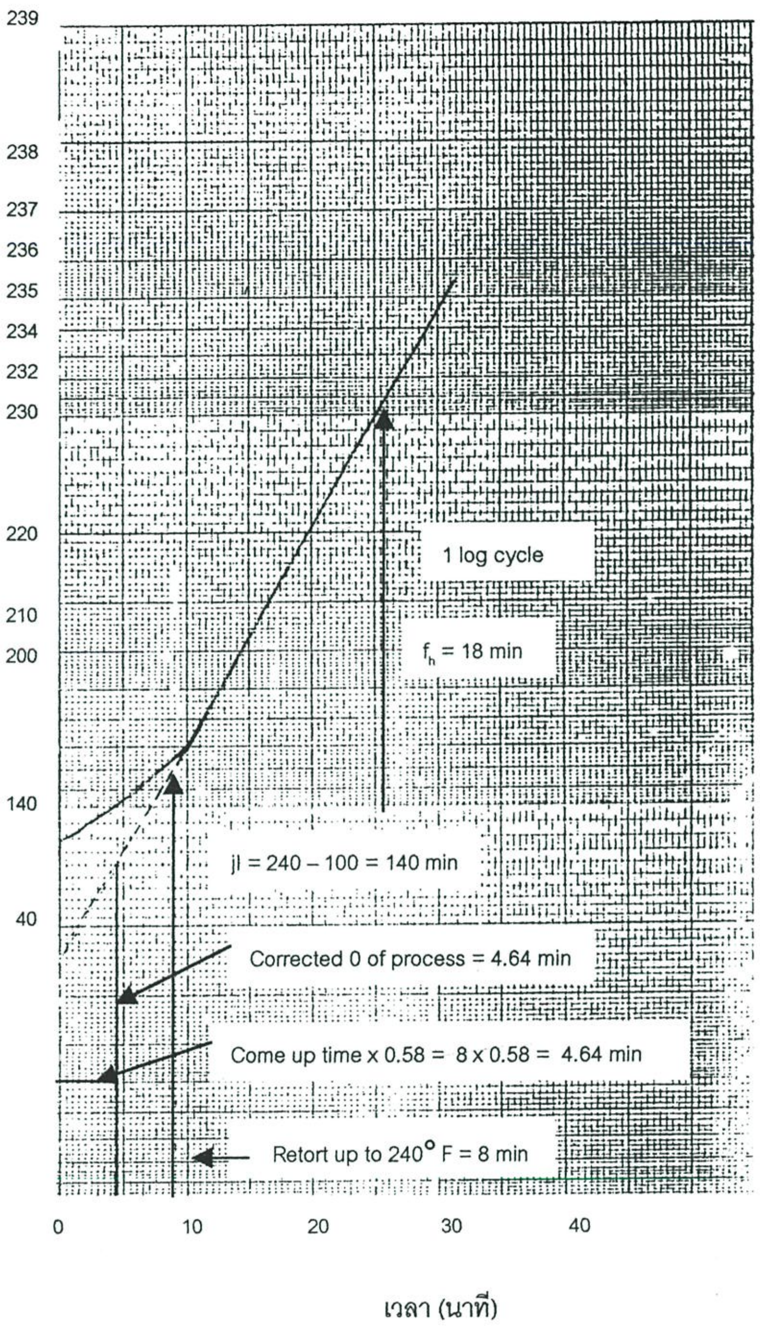
f_h / U = 1.011

จากสูตร

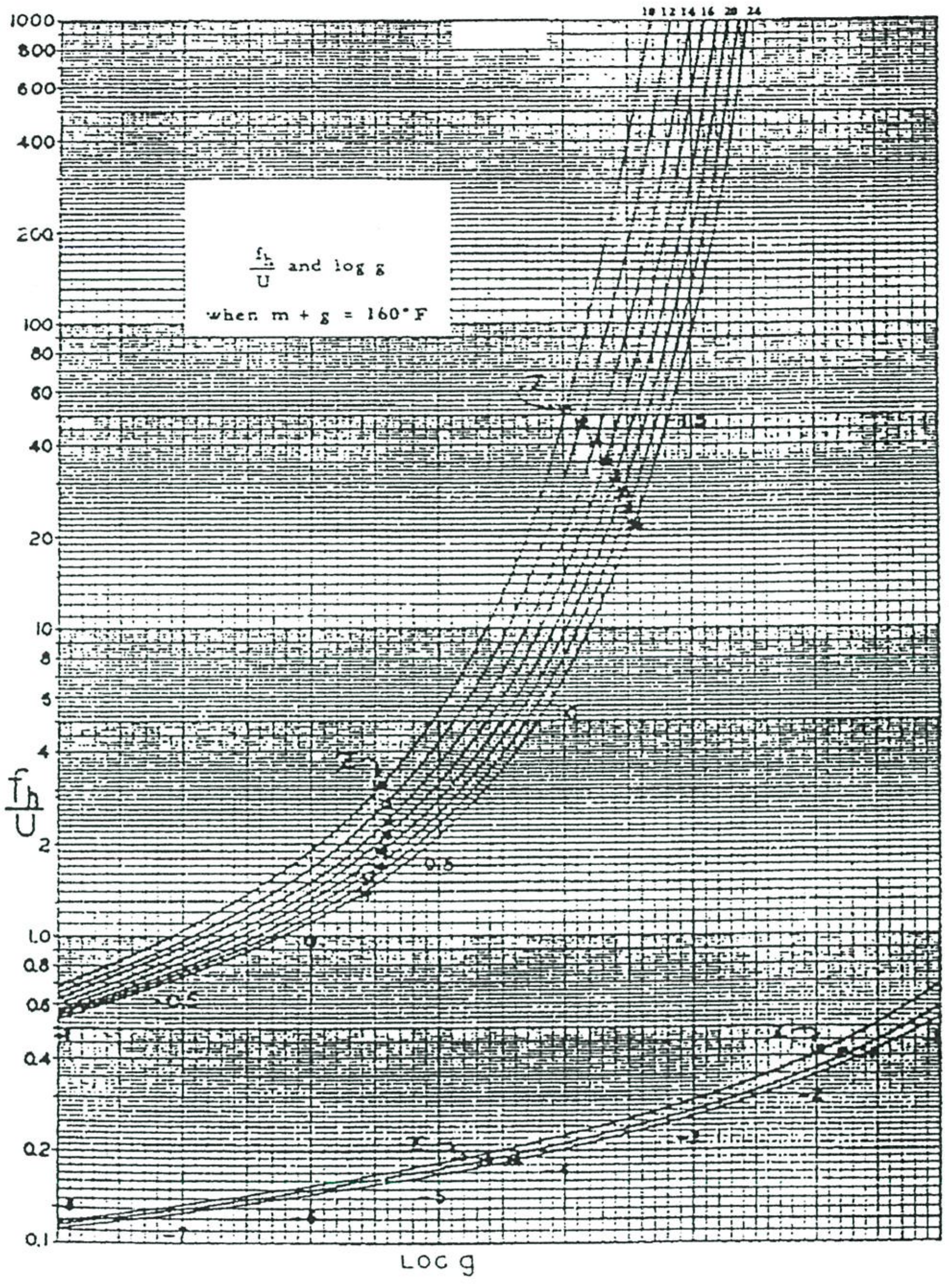
$F_0 = f_h / (f_h / U)$ Fi

= 18 / (1.011 x 3.594)

= 4.95 นาที



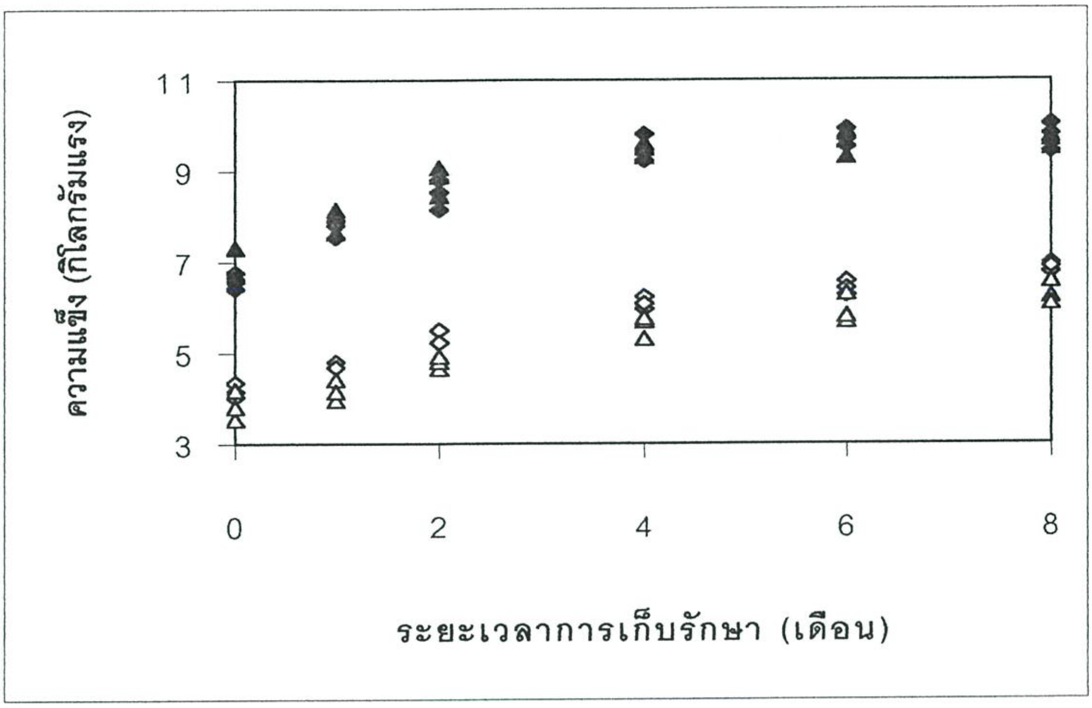
ภาพที่ ก.3 แสดงกราฟการให้ความร้อนกระบวนการแปรรูปข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ที่อุณหภูมิ 240 °F เวลา 40 นาที



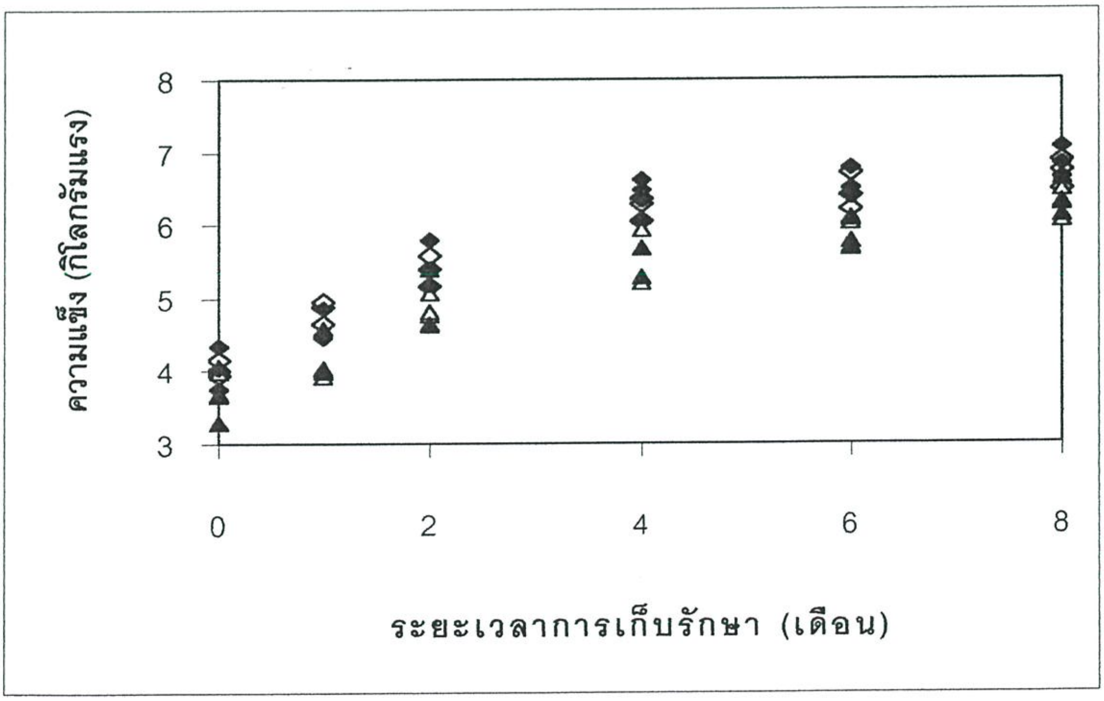
ภาพ ก. 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f_h / U กับ log g ที่ m + g = 160° ฟ

ภาคผนวก ง

ข้อมูลจากการทดลอง



ภาพที่ ง 1 ค่าความแข็งของข้าวหอมมะลิ (◊, F_o = 1 และ Δ, F_o = 5) และข้าวขาวตาแห้ง (♦, F_o = 1 และ ▲, F_o = 5) บรรจุกระป๋อง จากการทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อวัดด้วยวิธี Modified single kernel นาน 8 เดือน



ภาพที่ ง 2 ค่าความแข็งของข้าวหอมมะลิ (◊, F_o = 1 และ Δ, F_o = 5) และข้าวโคชิฮิคาริ (♦, F_o = 1 และ ▲, F_o = 5) บรรจุกระป๋อง จากการทดลอง 3 ซ้ำ เมื่อวัดด้วยวิธี Modified single kernel นาน 8 เดือน

ภาคผนวก จ

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ_____________________ เพศ________________ สัญชาติ ________________

ท่านรับประทานข้าววันละ________________มื้อ

กรุณาให้คะแนนคุณลักษณะต่างๆของตัวอย่างผลิตภัณฑ์

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง			
ความแข็ง				
การยอมรับโดยรวม				

หมายเหตุ

1. การชิมระหว่างตัวอย่างผู้ชิมต้องล้างตัวอย่างเดิมออกจากช่องปากด้วยน้ำสะอาดที่เตรียมให้ก่อนชิมตัวอย่าใหม่เสมอ
2. การให้คะแนนจะเป็นการให้คะแนนความชอบแบบ hedonic scale ตั้งแต่ 1-5 โดย 1 = น้อยที่สุด และ 5 = มากที่สุด

   1 = นุ่มมาก, 2 = นุ่มปานกลาง, 3 = ไม่นุ่มไม่แข็ง, 4 = แข็งปานกลาง, 5 = แข็งมาก

   1 = ชอบมาก, 2= ชอบปานกลาง, 3 = เฉยๆ, 4 = ไม่ชอบปานกลาง, 5 = ไม่ชอบมาก

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเมยวดี แซ่เลี้ยว เกิดเมื่อวันที่ 24 เมษายน 2520 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ) ในปี พ.ศ. 2543 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และทำงานตำแหน่งเจ้าหน้าที่อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยวลัย-ลักษณ์จนถึงปี พ.ศ. 2545 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2547