

ผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเหนียว กข 10

นางสาวอชฌา เพชรสลั๊บกั้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF TEMPERATURE AND STORAGE TIME ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES
OF GLUTINOUS RICE CULTIVAR RD 10

Miss Atcha Petsalabkaew



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โดย

นางสาวอชฌมา เพชรสลั๊บกแก้ว

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.จिरารัตน์ อนันตกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.จिरารัตน์ อนันตกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทรารวรรณ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน)

5572236523 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: GLUTINOUS RICE / RICE STORAGE / RICE AGING / PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

ATCHA PETSALABKAEW: EFFECTS OF TEMPERATURE AND STORAGE TIME ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF GLUTINOUS RICE CULTIVAR RD 10. ADVISOR: ASSOC. PROF. JIRARAT ANUNTAGOOL, Ph.D., 155 pp.

The research was to study the effects of temperature and storage time on physicochemical properties of glutinous rice cv. RD 10 (*Oryza sativa* L.), which contains 7.4% amylose. Freshly harvested paddy (≤ 1 month) was packed in plastic sacks and stored at low temperature ($8 \pm 2^\circ\text{C}$, $76 \pm 1\%$ RH) for 12 months, room temperature ($30 \pm 2^\circ\text{C}$, $58 \pm 4\%$ RH) for 7 months and high temperature ($40 \pm 3^\circ\text{C}$, $37 \pm 3\%$ RH) for 5 months. Paddy sampling was done at different time intervals for different storage temperatures. The paddy was subsequently analysed for milling quality, cooking quality, cooked rice property, pasting property, thermal property and protein molecular weight distribution. Results showed that moisture content of paddy, head rice yield and whiteness index changed more tremendously for the rice stored at 40°C followed by those at 30 and 8°C , respectively. For cooking quality was increased. In term of texture properties of cooked rice, hardness and adhesiveness increased while cohesiveness decreased. For pasting property of flour, pasting temperature, peak viscosity and setback increased while breakdown decreased. The flour's onset temperature, peak temperature, conclusion temperature and gelatinization enthalpy increased. The investigation on protein pattern showed that higher MW protein fraction increased while lower MW protein fraction was decreased. All changes occurred more tremendously at 40°C followed by 30 and 8°C , respectively. Canonical correlation revealed that cooking quality had the best correlation with pasting property. Principal component analysis was successfully used to classify the rice into 3 groups. Further, the changes in WI, WU, SL and VE were reasonably explained by the First order fractional conversion model and Arrhenius relationship.

Department: Food Technology Student's Signature

Field of Study: Food Technology Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์โดยได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาใช้เวลาเพื่อให้ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนความเอาใจใส่และให้ความช่วยเหลือ รวมถึงการตรวจทานแก้ไข ข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ธานานวงศ์ ที่ร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ร่วมถึงการชี้แนะแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษาเพื่อผลิตบัณฑิตระดับบัณฑิตศึกษา คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2555 และทุนสนับสนุนการวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รหัสโครงการ CU-57-015-FW ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยข้าวอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้าวเปลือก กข 10 สำหรับใช้ในงานวิจัย และศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางโรงงานต้นแบบแปรรูปอาหาร คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่สำหรับเก็บตัวอย่าง ข้าวเปลือกเหนียว กข 10

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในระดับปริญญาโท และพี่ๆในระดับปริญญาเอก ภาควิชาเทคโนโลยี ทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกๆด้าน และให้กำลังใจตลอดการทำงานวิจัยเรื่องนี้ อีกทั้งเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภายในภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวก ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการใช้ เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัยเรื่องนี้

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่คอยช่วยเหลือ ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยครั้งนี้เสมอมาจนสำเร็จ การศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 ข้าว.....	2
2.2 ข้าวเหนียว.....	2
2.3 ข้าวเหนียว กข 10.....	3
2.3.1 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของข้าวเหนียว กข 10.....	4
2.3.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....	4
2.4 การเก็บรักษาข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยว.....	6
2.4.1 วิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือก.....	6
2.4.2 วิธีปฏิบัติในการเก็บรักษาข้าวเปลือก.....	7
2.4.3 การเก็บรักษาข้าวโดยใช้ความเย็น.....	8
2.5 การสีข้าวและค่านิยามที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.5.1 การสีข้าว.....	8
2.5.2 ค่านิยามที่เกี่ยวข้องกับข้าว.....	9
2.6 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาข้าว.....	11
2.6.1 ปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว.....	11

2.6.2	ปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว	12
2.7	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติอื่นๆ ของข้าว.....	14
2.7.1	คุณภาพการสี	14
2.7.2	ความขาวของเมล็ดข้าว.....	15
2.7.3	คุณภาพการหุงต้ม.....	15
2.7.4	ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก.....	15
2.7.5	สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว	16
2.7.6	สมบัติทางความร้อน	17
2.8	การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคัล.....	17
2.9	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวใน ระหว่างการเก็บรักษา	20
2.9.1	ปฏิกิริยาอันดับศูนย์	20
2.9.2	ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง	21
2.9.3	ความสัมพันธ์อาร์เรเนียส	23
2.10	การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวจากพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก	24
2.11	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	30
3.1	วัตถุประสงค์.....	30
3.2	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.2.1	การเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกข้าวเหนียว กข 10	30
3.2.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่	35
3.2.3	การศึกษาสมบัติของข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่ และข้าวเหนียวที่อยู่ใน ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ	36
3.2.3.1	การวิเคราะห์สมบัติของข้าวเปลือกเหนียว	36

3.2.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของข้าวสารเหนียว.....	36
3.2.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของข้าวเหนียวหุงสุก.....	37
3.2.3.4 การวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าวเหนียว.....	38
3.2.4 การวางแผนทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ.....	40
3.2.5 การหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล.....	41
3.2.6 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	41
3.2.7 การจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	41
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	42
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียว กข 10 ที่เก็บเกี่ยวใหม่.....	42
4.2 สมบัติของข้าวเปลือก.....	43
4.2.1 ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก.....	43
4.2.2 ปริมาณข้าวตัน.....	45
4.3 สมบัติของข้าวสาร.....	47
4.3.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดัชนีความขาวของข้าวสาร.....	47
4.4 สมบัติของข้าวหุงสุก.....	49
4.4.1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้ม.....	49
4.4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก.....	54
4.6 สมบัติของแป้งข้าว.....	59
4.6.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว.....	59
4.6.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว.....	65
4.6.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในแป้งข้าว.....	70

4.7 ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ของข้าวเหนียว กข 10 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ และระยะเวลาที่แตกต่างกัน ด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนคัล.....	74
4.8 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวตาม อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน.....	82
4.9 การจัดกลุ่มตัวอย่างจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่ แตกต่างกัน.....	89
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข 10.....	101
ภาคผนวก ข วิธีการทดลอง.....	108
ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการทดลอง.....	122
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลความแปรปรวน (ANOVA).....	134
ภาคผนวก จ ผลการทำนายค่าคุณภาพของข้าวโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และข้อมูลผล การทดลองเพิ่มเติม.....	148
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	155

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แผนการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิเก็บรักษาที่แตกต่างกัน	34
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียว	42
ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลาติโนเซชันของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ^(A,B)	66
ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลลาติโนเซชันของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ^(A,B)	67
ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาติโนเซชันของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ^(A,B)	68
ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลลาติโนเซชันของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ^(A,B)	69
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลลระหว่างกลุ่มที่ 1 สมบัติทางกายภาพและกลุ่มที่ 2 คุณภาพการหุงต้ม	75
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลลระหว่างกลุ่มที่ 1 สมบัติทางกายภาพและกลุ่มที่ 3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก	76
ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลลระหว่างกลุ่มที่ 1 สมบัติทางกายภาพและกลุ่มที่ 4 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว	77
ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลลระหว่างกลุ่มที่ 2 คุณภาพการหุงต้มและกลุ่มที่ 3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก	79
ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลลระหว่างกลุ่มที่ 2 คุณภาพการหุงต้มและกลุ่มที่ 4 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว	80
ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลลระหว่างกลุ่มที่ 3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกและกลุ่มที่ 4 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว	81

ตารางที่ 4.12	ค่าพารามิเตอร์ (A_0 และ k) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของการใช้ zero th order kinetics model ในการทำนายค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการ.....	88
ตารางที่ 4.13	ค่าพารามิเตอร์ (A_0 , A_∞ และ k) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของการใช้ first order fractional conversion model ในการทำนายค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน	88
ตารางที่ 4.14	ค่าพารามิเตอร์ (E_a , $\log k_0$ และ R^2) ของการใช้ Arrhenius relationship ในการทำนายค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ..	89
ตารางที่ ง.1.2	ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้น 95%.....	134
ตารางที่ ง.1.3	ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้น 95%.....	134
ตารางที่ ง.1.4	ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้น 95%.....	134
ตารางที่ ง.1.5	ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความชื้น 95%.....	135
ตารางที่ ง.2.1	ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้น 95%.....	136
ตารางที่ ง.2.2	ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้น 95%.....	136

ตารางที่ ง.2.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	136
ตารางที่ ง.2.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	137
ตารางที่ ง.3.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกระหว่างเก็บรักษา นาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	138
ตารางที่ ง.3.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกระหว่างเก็บรักษา นาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	138
ตารางที่ ง.3.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกระหว่างเก็บรักษา นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	138
ตารางที่ ง.3.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	139
ตารางที่ ง.4.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านการเกิดเฟสค์ของแป้งข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	140
ตารางที่ ง.4.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านการเกิดเฟสค์ของแป้งข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	140
ตารางที่ ง.4.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านการเกิดเฟสค์ของแป้งข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	140

<p>ตารางที่ ง.4.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของของสมบัติด้านการเกิดเพศต์ของ แป้งข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....</p>	<p>141</p>
<p>ตารางที่ ง.5.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของแป้ง ข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%.....</p>	<p>142</p>
<p>ตารางที่ ง.5.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของแป้ง ข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%.....</p>	<p>142</p>
<p>ตารางที่ ง.5.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของแป้ง ข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%.....</p>	<p>142</p>
<p>ตารางที่ ง.5.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของของสมบัติทางความร้อนของ แป้งข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....</p>	<p>143</p>
<p>ตารางที่ ง.6.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของพื้นที่ได้กราฟเชิงสัมพัทธ์ของ โปรตีนข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95%.....</p>	<p>144</p>
<p>ตารางที่ ง.6.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของพื้นที่ได้กราฟเชิงสัมพัทธ์ของ โปรตีนข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95%.....</p>	<p>144</p>
<p>ตารางที่ ง.6.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของพื้นที่ได้กราฟเชิงสัมพัทธ์ของ โปรตีนข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 95%.....</p>	<p>144</p>

ตารางที่ ง.6.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของของพื้นที่ได้กราฟเชิงสัมพัทธ์ ของโปรตีนข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	145
ตารางที่ ง.7.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณรำที่ถูกขัดสีออกของข้าว ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	146
ตารางที่ ง.7.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณรำที่ถูกขัดสีออกของข้าว ระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	146
ตารางที่ ง.8 ตารางสรุปผลความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	147
ตารางที่ จ.1 ระยะเวลาที่แตกต่างกันในการแช่ข้าวเหนียวภาวะอุณหภูมิห้องก่อนการหุงสุก.....	149
ตารางที่ จ.2 ค่าพารามิเตอร์ ($1/T$ และ $\log k_0$) ของการใช้ Arrhenius relationship ในการ ทำนายค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน	152
ตารางที่ จ.3 ค่า factor loading จากสององค์ประกอบแรกที่แยกสกัดได้จากค่าพารามิเตอร์ ต่างๆตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน.....	154

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	5
รูปที่ 2.2 ผลึกแป้งที่ได้จากการสีข้าว.....	10
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา	11
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามของสหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล	19
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง [A] กับ t สำหรับปฏิกิริยาอันดับศูนย์.....	21
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log [A] กับ t สำหรับปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง	22
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log k กับ 1/T สำหรับสมการอาร์เรเนียส.....	24
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างถุงพลาสติกสำหรับบรรจุข้าวเปลือก กข 10.....	31
รูปที่ 3.2 สถานที่เก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิตั้ง 8 องศาเซลเซียส	32
รูปที่ 3.3 สถานที่เก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิตั้ง 30 องศาเซลเซียส	32
รูปที่ 3.4 สถานที่เก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิตั้ง 40 องศาเซลเซียส	33
รูปที่ 3.5 ชุดเครื่องมือทดสอบคุณภาพการสีข้าว	34
รูปที่ 3.6 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล	18
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	44
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณข้าวตันของข้าวเหนียวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งและระยะเวลา	46
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงดัชนีความขาวของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	48
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาของการหุงต้มข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	50
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงการดูดซับน้ำของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งและระยะเวลาแตกต่างกัน... ..	51
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้ง	52

รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	53
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของข้าวหุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	55
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	56
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	57
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความเหนียวของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	60
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงสุดของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	61
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน.....	62
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ.....	63
รูปที่ 4.15 เจลที่ผ่านการแยกโปรตีนตามช่วงน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ด้วยวิธี SDS-PAGE	71
รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนในช่วงต่างๆ ของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ และระยะเวลาแตกต่างกัน	73
รูปที่ 4.17 การวิเคราะห์องค์ประกอบจากข้อมูลค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน.....	90
รูปที่ ข. 1 กราฟที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก.....	113
รูปที่ ข. 2 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสแบบ texture profile analysis (TPA).....	113
รูปที่ ข.3 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Genetools.....	121
รูปที่ จ.1 ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร กข 10	148
รูปที่ จ.2 ระยะเวลาที่แตกต่างกันในการแช่ข้าวเหนียวภาวะอุณหภูมิห้องก่อนการหุงสุก.....	148

รูปที่ จ.3 ปริมาณรำที่ถูกขับสึออกของข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน..... 149

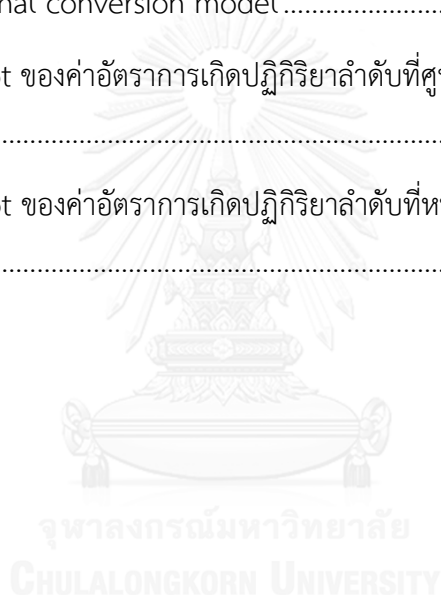
รูปที่ จ.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน..... 150

รูปที่ จ.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน 150

รูปที่ จ.6 ค่าจากการทดลอง และค่าจากการทำนายโดยใช้ zeroth order model และ first order fractional conversion model 151

รูปที่ จ.7 Arrhenius plot ของค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่ศูนย์ (zeroth order kinetics model) 153

รูปที่ จ.8 Arrhenius plot ของค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (first order kinetics model) 153



บทที่ 1

บทนำ

ข้าวเหนียว (glutinous rice) รับประทานมากในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของไทย นอกจากรับประทานแบบข้าวเหนียวนึ่งแล้วยังแปรรูปเป็นแป้งข้าวเหนียว (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555) ข้าวเหนียว กข 10 เพาะปลูกในช่วงฤดูนาปีและนาปรัง (อภิชาติ ศรีสะอาด และ พัชรี สำโรงเย็น, 2557) เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วจะเก็บในรูปข้าวเปลือก จากนั้นนำมาสีเป็นข้าวสารเพื่อบริโภคหรือจำหน่าย ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวและภาวะในการเก็บรักษา โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอกที่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ทำให้คุณภาพของข้าวเหนียวที่ได้เปลี่ยนแปลงไป ข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่เมื่อนำมาสีจะได้ปริมาณข้าวต้นต่ำ แต่เมื่อผ่านการเก็บรักษาคุณภาพการสีดีขึ้น ได้ปริมาณข้าวต้นสูงและคุณภาพในการหุงต้มดี การเก็บรักษาเป็นเวลานานส่งผลให้ข้าวเหนียวมีความเหนียวนุ่มลดลง (ปัทมา เล้าประเสริฐ, 2552) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมีต่างๆภายในเมล็ดข้าว ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน แอมิโลส และแอมิโลเพคติน ในระหว่างการเก็บรักษาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยเม็ดแป้งจับกันแข็งแรงมากขึ้นส่งผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกเปลี่ยนแปลงไป การพองตัวของเม็ดแป้งลดลง เนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกแข็งมากขึ้น เมื่อโปรตีนถูกออกซิไดส์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โปรตีนมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น มีผลต่อการพองตัวของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้ม ทำให้เม็ดข้าวสุกมีความนุ่มลดลง นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนจากโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์ทำให้เมล็ดข้าวมีสีคล้ำหรือสีเหลืองมากกว่าข้าวใหม่ (Wiset และคณะ, 2011)

ในปัจจุบันมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวเหนียวในระหว่างการเก็บรักษาน้อยมาก ยังไม่มีการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาข้าว กข 10 และสมมุติฐานของงานวิจัยนี้คาดว่า การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพต่างๆ ของข้าวเหนียว กข 10 ในระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเหนียว กข 10 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียว กข 10 และศึกษารูปแบบของโปรตีนข้าวในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อใช้ในการอธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้อาจนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายคุณภาพข้าวเหนียว กข 10 หลังการเก็บเกี่ยว

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นธัญชาติชนิดหนึ่งซึ่งได้มาจากเมล็ดของธัญพืชตระกูลหญ้า วงศ์แกรมินีอี (Gramineae) สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศแบบเขตร้อนและเขตอบอุ่น ทำให้มีความหลากหลายของข้าวชนิดต่างๆไปทั่วโลกประมาณ 23 ชนิด แต่มีเพียง 2 ชนิดที่นิยมบริโภคคือ ข้าวที่ปลูกในทวีปเอเชีย (*Oryza Sativa*) และข้าวที่ปลูกในทวีปแอฟริกา (*Oryza glaberrina*) ข้าวที่ปลูกและซื้อขายกันในตลาดโลกส่วนใหญ่มาจากทวีปเอเชีย แบ่งเป็น 3 กลุ่มตามสภาพภูมิอากาศ และสายพันธุ์ข้าวคือ กลุ่มข้าวอินดิกา (*Indica*) หรือข้าวเจ้า เป็นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดเรียวยาว หรือยาวปานกลาง ลำต้นสูง เป็นข้าวที่นิยมเพาะปลูกในทวีปเอเชียเขตร้อน เช่น ไทย อินเดีย Philipines เป็นต้น ข้าวจาปอนิกา (*Japonica*) เป็นข้าวเหนียวเมล็ดสั้น กลมรี เป็นข้าวที่นิยมเพาะปลูกในเขตกึ่งร้อน เขตอบอุ่น และเขตที่มีอากาศเย็น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และจีนตอนเหนือ เป็นต้น และข้าวจาวานิกา (*Javanica*) เป็นข้าวลักษณะเมล็ดสั้น ที่มีลักษณะระหว่างข้าวอินดิกาและจาปอนิกา สันนิษฐานว่าเป็นข้าวพันธุ์ผสมระหว่างข้าวอินดิกาและข้าวจาปอนิกา นิยมเพาะปลูกในแถบเส้นศูนย์สูตร เช่น อินโดนีเซีย (ชาว-Java) และพม่า เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

2.2 ข้าวเหนียว

ข้าวเหนียว (Glutinous rice, Waxy rice หรือ Sticky rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* var. *glutinosa* เป็นพันธุ์ข้าวที่มีเมล็ดข้าวขุ่นขาวทั้งเมล็ด ลักษณะเด่นของข้าวเหนียวเมื่อนึ่งสุกแล้ว เมล็ดข้าวจะเหนียวและเกาะติดกันเหมือนกาว (ปัทมา เล้าประเสริฐ, 2552) แหล่งเพาะปลูกข้าวเหนียวมักจะปลูกทางภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย และในประเทศลาว นิยมบริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารจานหลักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทย นอกจากการบริโภคโดยตรงแล้วยังมีการนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารประเภทต่างๆ ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวเหนียวมากที่สุดในอาเซียน และเป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวเหนียวอันดับหนึ่งในตลาดโลก ตามมาด้วยประเทศเวียดนามและประเทศลาวซึ่งมีส่วนแบ่งการตลาดข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นตามลำดับ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ทั้งในอาเซียนและตลาดเอเชียเป็นกลุ่มประเทศผู้นำเข้าข้าวเหนียวกว่าร้อยละ 50 ในตลาดโลกนิยมบริโภคข้าวเหนียวจากประเทศไทย เพราะลักษณะของเมล็ดเรียวยาวและมีคุณสมบัติในการบริโภคหอมนุ่มมากกว่าข้าว

เหนียวจากประเทศอื่นๆ ดังนั้นตลาดจึงให้ราคาสูงกว่าประเทศอื่นเพราะคุณสมบัติจำเพาะนี้ (อรรรรณศรีโสภณพันธ์ และ ทัดพิชา เจริญรัตน์, 2557) ในประเทศไทยมีการเพาะปลูกข้าวได้ทั้งในฤดูนาปีและฤดูนาปรังกระจายอยู่ในหลายพื้นที่ทุกภูมิภาค โดยเฉพาะในปีการผลิต 2558/59 มีผลผลิตรวมทั้งประเทศ 27.42 ล้านตันข้าวเปลือก แบ่งเป็นฤดูนาปีมีผลผลิตรวม 23.48 ล้านตันข้าวเปลือก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559a) และฤดูนาปรังมีผลผลิตรวม 3.94 ล้านตันข้าวเปลือก ปีการผลิต 2558/59 มีผลผลิตข้าวเปลือกรวมทั้งประเทศ 25.20 ล้านตัน แบ่งเป็นการผลิตข้าวเจ้า 18.28 ล้านตัน และข้าวเหนียว 6.93 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559b) ราคาข้าวเปลือกข้าวเหนียวปี 2559 แบ่งเป็นข้าวเหนียวเมล็ดสั้น (ไม่เกิน 1 ปี) ราคา 12,450 บาทต่อตัน และข้าวเหนียวเมล็ดยาว (ไม่เกิน 1 ปี) ราคา 14,625 บาทต่อตัน (กองพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว, 2559) สถานการณ์การผลิตข้าวในประเทศไทยที่ผ่านมาในปี 2558 พบว่า มีเนื้อที่ปลูกข้าว 70.61 ล้านไร่ มีผลผลิตเฉลี่ย 32.62 ล้านตัน ผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 462 กิโลกรัม แยกเป็นฤดูนาปี 2557/58 มีผลผลิตเฉลี่ย 21.11 ล้านตันข้าวเปลือก และในฤดูนาปรัง 2557/58 มีผลผลิตเฉลี่ย 5.52 ล้านตันข้าวเปลือก คาดการณ์การผลิตข้าวในปี 2559 คาดว่า ฤดูนาปี 2558/59 มีเนื้อที่ปลูกข้าว 61.18 ล้านไร่ มีผลผลิตเฉลี่ย 26.58 ล้านตัน ผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 434 กิโลกรัม และในฤดูนาปรัง 2558/59 มีเนื้อที่ปลูกข้าว 14.73 ล้านไร่ มีผลผลิตเฉลี่ย 10.04 ล้านตันข้าวเปลือก ผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 682 กิโลกรัม (สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ข้าว, 2558) พันธุ์ข้าวเหนียวที่ปลูกในประเทศไทยนั้นมีหลากหลายพันธุ์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่ 1 พันธุ์ข้าวที่ได้มาหรือคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมือง ได้แก่ พันธุ์หมยนอง 62 เอ็ม พันธุ์นางฉลอง พันธุ์สันป่าตอง พันธุ์หางยี่ 71 พันธุ์ชีวมัจฉรินทร์ พันธุ์อาร์ 258 และพันธุ์โปร่งไคร้ เป็นต้น กลุ่มที่ 2 พันธุ์ข้าวที่ได้มาจากการผสมพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข 2 พันธุ์กข 3 พันธุ์กข 5 พันธุ์กข 7 พันธุ์กข 9 พันธุ์กข 11 พันธุ์กข 8 พันธุ์กข 13 พันธุ์ข้าวเหนียวอุบล 1 และพันธุ์ข้าวเหนียวแพร่ 1 เป็นต้น และกลุ่มที่ 3 พันธุ์ข้าวที่ได้มาจากการชักนำให้เปลี่ยนแปลงพันธุกรรมโดยการอาบรังสี ได้แก่ พันธุ์กข 6 และพันธุ์กข 10 เป็นต้น (บุญหงส์ จงคิด, 2547)

2.3 ข้าวเหนียว กข 10

ข้าวเหนียว กข 10 หรือ RD 10 (*Oryza sativa* L.) เป็นพันธุ์ข้าวเหนียวทางการค้า เป็นข้าวที่ไม่มีความหอม ลำต้นเตี้ย ไม่ไวต่อช่วงแสง ทำให้สามารถปลูกได้ทั้งฤดูนาปีและฤดูนาปรัง นิยมเพาะปลูกในเขตพื้นที่ทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เมล็ดเรียวยาวไม่ร่วงง่าย อายุเก็บเกี่ยวสั้นที่ 130 - 135 วัน ให้ผลผลิตต่อไร่สูง ให้ผลผลิตข้าวเปลือกประมาณ 680 กิโลกรัมต่อไร่ มีลักษณะใกล้เคียงกับข้าวเหนียวสันป่าตอง ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสง ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จากข้าวเจ้า กข 1 โดยใช้กัมมันตรังสีฟาส์นิวตรอนที่ 1 กิโลเรด ชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม โดย

มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้พันธุ์ข้าวเหนียวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง มีคุณภาพการหุงต้มดีและรับประทานอ่อนนุ่ม กรมวิชาการเกษตรจึงพิจารณาให้เป็นพันธุ์รับรอง และนำไปให้เกษตรกรปลูก เมื่อวันที่ 17 มิถุนายน 2524 (อภิชาติ ศรีสะอาด และ พัชรี สำโรงเย็น, 2557)

2.3.1 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของข้าวเหนียว กข 10

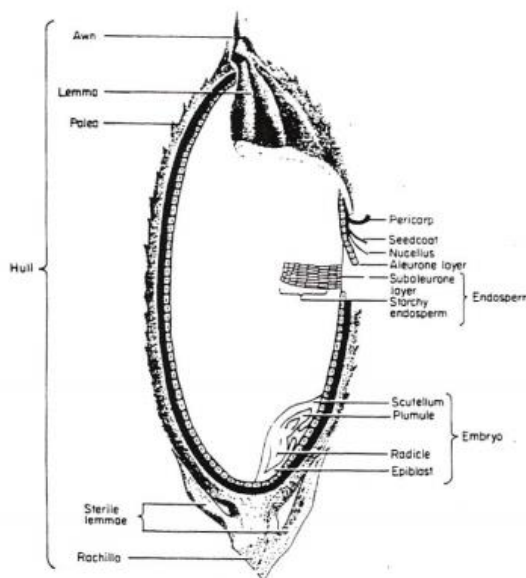
ข้าวเหนียว กข 10 มีองค์ประกอบทางเคมีกายภาพดังนี้ มีค่าพลังงาน 352.72 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ปริมาณความชื้น 12.29% ปริมาณโปรตีน 5.11% ปริมาณไขมัน 0.70% ปริมาณคาร์โบไฮเดรต 81.51% ปริมาณแป้ง 81.51% ปริมาณใยอาหาร 1.08% ปริมาณเถ้า 0.40% ปริมาณแอมิโลส 6.0 – 6.5% ค่าการสลายเมล็ดข้าวในต่างระดับ 7 (เมล็ดข้าวสลายตัวทั้งเมล็ดและมีลักษณะเป็นแป้งเปียกใส) ค่ากำลังการพองตัว 11.72% และค่าแอมิโลสที่ละลายน้ำได้ 0.45% (กองพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว, 2558) ลักษณะเมล็ดข้าวทางกายภาพของข้าวเหนียว กข 10 ข้าวเปลือกมีสีฟาง ข้าวกล้องมีสีขาว ข้าวเปลือกมีความยาว 10.11 ± 0.038 มิลลิเมตร ความกว้าง 2.91 ± 0.076 มิลลิเมตร ความหนา 2.17 ± 0.047 มิลลิเมตร ข้าวกล้องมีความยาว 7.87 ± 0.077 มิลลิเมตร ความกว้าง 2.34 ± 0.059 มิลลิเมตร ความหนา 1.92 ± 0.053 มิลลิเมตร ความยาวต่อความกว้างของข้าวกล้อง 3.36 รูปร่างเมล็ดเรียวยาว น้ำหนักข้าวเปลือก 29.25 กรัมต่อ 1000 เมล็ด หรือ 10.18 กิโลกรัมต่อตัน คุณภาพการสีมีร้อยละข้าวเต็มเมล็ดและข้าวตันเป็น 56.01% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณภาพการสีดีมาก (สีข้าวเต็มเมล็ดและตันข้าวมากกว่า 50%) (ศุภชัยชัยข้าวแพร่, 2556)

2.3.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดของข้าวเรียกว่า คาร์ยอพอซิส (caryopsis) หรือข้าวกล้อง (brown rice) ซึ่งถูกห่อหุ้มด้วยกลีบดอกใหญ่ (lemma) และกลีบดอกเล็ก (palea) ทำให้เป็นโครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือกที่สมบูรณ์ กลีบดอกทั้งสองชนิดนี้เมื่อแก่เต็มที่จะมีลักษณะเป็นเนื้อไม้ที่ค่อนข้างเปราะและประกอบด้วยธาตุซิลิกา (silica) เป็นจำนวนมาก เมื่อนำข้าวกล้องไปผ่าตามความยาวแล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ชั้นนอกสุดของข้าวกล้องจะมีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ เรียกว่า เยื่อชั้นนอก (pericarp) ซึ่งเป็นชั้นที่กำหนดสีของข้าวกล้องเป็นสีน้ำตาลอ่อน ถัดจากเยื่อชั้นนอกเข้าไปด้านในจะเป็นเยื่อชั้นกลางจำนวน 2 ชั้น ได้แก่ เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) และนิวเซลลัส (nucellus) หุ้มคัพภะ (embryo) ดังรูปที่ 2.1 ส่วนของแป้งข้าวที่เรียกว่า เอ็นโดสเปิร์มนั้นจะเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ (ประมาณ 83%) ของข้าวกล้อง เอ็นโดสเปิร์มจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อชั้นใน (aleurone layer) และตัวเอ็นโดสเปิร์มเองจะประกอบด้วยเซลล์พาราเรโนไคมา (parenchyma cells) ที่มีผนังบางซึ่งบรรจุเม็ดแป้ง (compound starch granules) ไว้เต็ม โดยมีโปรตีนแทรกอยู่รอบนอกใกล้ๆ กับชั้นของเยื่อหุ้ม

ชั้นใน ในเมล็ดข้าวเจ้า (non - glutinous rice) จะมีเม็ดแป้งอัดแน่นในส่วนของเอ็นโดสเปิร์ม ทำให้เนื้อข้าวสารมีลักษณะใสกว่าในข้าวเหนียว (glutinous rice) ซึ่งมีเม็ดแป้งอัดกันค่อนข้างหลวม อย่างไรก็ตามในเมล็ดข้าวสารเจ้าก็ยังมีส่วนที่ขาวขุ่นซึ่งเรียกว่า ท้องไขว่ หรือท้องปลาชิว (white abdomen or chalkiness) อันเนื่องมาจากการอัดตัวของเม็ดแป้งไม่แน่นพอ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากลักษณะประจำพันธุ์ หรือสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกไม่เหมาะสม ลักษณะท้องไขว่นี้อาจเป็นลักษณะด้อยของข้าวเจ้า เพราะทำให้น้ำหนักของเมล็ดเบาลง และส่วนที่เป็นท้องไขว่นี้จะมีลักษณะเปราะ เมื่อนำไปสีจะทำให้เมล็ดหักง่ายจึงได้ส่วนของต้นข้าว (head rice) น้อยลง นอกจากนี้ยังทำให้เมล็ดข้าวสารไม่ขาวสม่ำเสมอจึงไม่จูงใจให้ผู้บริโภคซื้อ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ขายได้ในราคาต่ำ

ส่วนของต้นอ่อนหรือคัพภะนั้นมีขนาดเล็กมาก ตั้งอยู่ตรงด้านบนของเมล็ดข้าวกล้อง ด้านที่มีกลีบดอกใหญ่หุ้มไว้ คัพภะประกอบด้วยส่วนของใบอ่อน (plumule) และส่วนของรากแรกเกิด (radicle) โดยมีส่วนของลำต้นอ่อนสั้นๆ (esocotyl) เชื่อมอยู่ตรงกลางระหว่างส่วนของใบและรากดังกล่าว ส่วนของใบจะถูกห่อหุ้มด้วยปลอกหุ้มต้นอ่อน (coleoptile) และส่วนของรากจะถูกห่อหุ้มด้วยกลุ่มของเนื้อเยื่อที่มีลักษณะอ่อนนุ่มเรียกว่าปลอกหุ้มรากอ่อน (coleorhiza) ด้านนอกสุดของคัพภะจะอยู่ติดกับชั้นของเยื่อหุ้มชั้นใน ส่วนของปลอกหุ้มต้นอ่อนนั้น จะถูกล้อมรอบด้วยชั้นของเซลล์ที่มีชื่อว่า scutellum และ epiblast (บุญหงส์ จงคิด, 2547)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

(ที่มา: Marshall และ Wadsworth, 1994)

2.4 การเก็บรักษาข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยว

จุดประสงค์หลักของการเก็บรักษาข้าวเปลือก คือ ต้องการให้มีการสูญเสียข้าวในขณะเก็บรักษา น้อยที่สุดทั้งด้านปริมาณและด้านคุณภาพ ในด้านปริมาณมักเกิดการสูญเสียน้ำหนักข้าวจาก นก หนู แมลงในโรงเก็บ การหายใจของเมล็ด ส่วนด้านคุณภาพมักเกิดการสูญเสียจากข้าวมีเมล็ดเหลือง มีกลิ่นเหม็นอับ และมีสิ่งสกปรกเจือปนมาก การเก็บรักษาข้าวโดยทั่วไปควรเก็บไว้ในสภาพหรือโรงเก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศต่ำหรือเก็บรักษาข้าวในที่แห้งและเย็น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

2.4.1 วิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือก

การเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยทั่วไป แบ่งออกเป็น 4 วิธี ดังนี้ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2559)

1. การเก็บรักษาข้าวในสภาพปกติ หมายถึง การเก็บข้าวไว้ในโรงเก็บปกติที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่เป็นส่วนใหญ่ เพราะมีการลงทุนน้อย และเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่โอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษามีอยู่สูง เช่น การเก็บในโรงเก็บยุงฉางของเกษตรกร โรงสี และโกดังส่งออกข้าวขนาดใหญ่

2. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว ได้แก่ การเก็บข้าวไว้ในตู้แช่ ตู้เย็น และไซโลเก็บข้าวที่มีการเป่าลมเย็น เป็นต้น การเก็บในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการสูญเสียทั้งด้านปริมาณและด้านคุณภาพ เพราะการเข้าทำลายของแมลงในโรงเก็บลดลง และการหายใจของเมล็ดข้าวน้อยลง

3. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ คือ การเก็บข้าวไว้ในภาชนะเก็บที่มิดชิด สามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ เช่น การเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในปี๊บสังกะสี หรือถุงพอลิเอทิลีน เป็นต้น การเก็บข้าวในสภาพปิดเช่นนี้ ความชื้นของข้าวจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะที่เก็บ ถ้าความชื้นของข้าวต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุจะต่ำ ข้าวที่เก็บรักษาจะมีความเสียหายน้อย ถ้าความชื้นของข้าวสูง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุจะสูง ข้าวที่เก็บรักษาจะมีความเสียหายมาก ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวด้วยวิธีนี้ ข้าวควรมีความชื้นก่อนเก็บต่ำ ทั้งนี้ขึ้นกับระยะเวลาที่ต้องการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปความชื้นของข้าวไม่ควรเกิน 14% โดยน้ำหนักเปียก วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ผลดี และมีค่าใช้จ่ายต่ำ

4. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถป้องกันและลดความเสียหายของข้าวได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คง

คุณภาพดีได้เป็นเวลานาน แต่ต้องมีการลงทุน และเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลสูง เช่น การเก็บอนุรักษ์ เชื้อพันธุ์ข้าวในธนาคารเชื้อพันธุ์

2.4.2 วิธีปฏิบัติในการเก็บรักษาข้าวเปลือก

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการเก็บรักษาข้าว คือการรักษาปริมาณและคุณภาพข้าวที่เก็บให้คงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาข้าว (ทวิผลเกษตรธรรมชาติ, 2559) ได้แก่

1. ความชื้น ข้าวที่จะเก็บโดยทั่วไปความชื้นของข้าวไม่ควรสูงเกิน 14% โดยน้ำหนักเปียก ความชื้นในข้าวเปลือกนั้นมีความสำคัญต่ออายุการ เก็บรักษา ซึ่งหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้วควรมีการลด ความชื้นของข้าวเปลือกให้เร็วที่สุด (ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 13 - 14% โดยน้ำหนักเปียก สามารถเก็บไว้ได้นาน 2 - 3 เดือน หากต้องการเก็บรักษาไว้นาน ควรลดความชื้นเมล็ดให้ต่ำกว่า 12% โดยน้ำหนักเปียก
2. ความสะอาด ข้าวที่จะเก็บต้องสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน เช่น เศษฟาง ตอซัง วัชพืช กวาด หิน ดิน ทราาย เพราะสิ่งเหล่านี้ดูดความชื้นได้ดี ทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นในขณะที่เก็บรักษา
3. การปลอดจากโรค แมลง ศัตรูต่างๆ ข้าวที่จะนำเข้าเก็บต้องปลอดจากโรค แมลง และศัตรูต่างๆ หากพบควรหาวิธีป้องกันกำจัดที่ถูกต้องและเหมาะสม
4. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม (ประมาณ 60 - 65% RH)
5. ลักษณะและสถานที่ตั้งของโรงเก็บ โรงเก็บที่ดีควรตั้งอยู่บนที่ดอน และแห้ง มีการระบายน้ำดี เพื่อป้องกันน้ำท่วม รอบๆบริเวณโรงเก็บต้องสะอาด โปร่ง ไม่มีต้นไม้ใหญ่ขึ้นปกคลุม สภาพโรงเก็บต้องมีผนังปิดมิดชิด แน่นหนา มีหลังคากันแดด กันฝน น้ำค้าง ควรยกพื้นสูงเพื่อให้มีการถ่ายเทอากาศด้านล่างตามช่องเปิดต่างๆ ควรมีตาข่ายป้องกัน นก หนู และสัตว์ศัตรูต่างๆ
6. การจัดการในขณะที่เก็บรักษา ควรมีการตรวจสอบข้าวที่เก็บและโรงเก็บเป็นระยะๆ

2.4.3 การเก็บรักษาข้าวโดยใช้ความเย็น

การเก็บรักษาข้าวโดยใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อชะลออัตราการหายใจและปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ของกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ทำให้ความเก่าของข้าวช้าลง ลดการทำลายของจุลินทรีย์ และศัตรูของข้าวในขณะการเก็บรักษาถือเป็นการเก็บรักษาระยะยาว มักใช้เครื่องทำความเย็นในการเก็บรักษาโดยการเก็บรักษาข้าวในห้องเย็นควรคำนึงถึงปัจจัยดังนี้ (ใจทิพย์ อุไรชื่น, 2550)

1. อุณหภูมิภายในห้องเย็นเหมาะสมกับข้าวที่เก็บรักษาห้องเย็นต้องมีการควบคุมอย่างดี ใอน้ำผ่านเข้าออกไม่ได้ เครื่องทำความเย็นต้องมีประสิทธิภาพสูง สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ โดยการวัดอุณหภูมิภายในห้องเย็น เพื่อให้มั่นใจว่าอุณหภูมิสม่ำเสมอทั้งห้อง
2. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในขณะลดความชื้นข้าวเปลือกควรมีค่าต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิดังกล่าว การลดความชื้นจึงจะได้ผล ทั้งนี้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในอากาศในขณะนั้นไม่ควรเกิน 60% RH

2.5 การสีข้าวและค่านิยามที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การสีข้าว

กระบวนการสีเมล็ดข้าวเป็นกระบวนการที่นิยมปฏิบัติกันโดยทั่วไป โดยแปรรูปข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกแล้วให้เป็นข้าวสาร โดยการใช้เครื่องขัดสีเพื่อเอาส่วนของรำ เปลือกเมล็ดชั้นนอก และจมูกข้าวบางส่วนออกไป เหลือส่วนที่เรียกว่าเอนโดสเปิร์มเป็นแป้งสีขาวอยู่ประมาณ 82% กระบวนการสีข้าวมีขั้นตอนดังนี้ (อภิัญญา เจริญกุล, 2558)

1. การทำความสะอาด (cleaning) ข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บเกี่ยวแล้วจะต้องผ่านการตรวจสอบความชื้น ซึ่งถ้ามีความชื้นมากกว่า 13 % จะต้องนำไปอบแห้งก่อนที่จะนำข้าวเปลือกไปเก็บไว้ ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งเพื่อลดความชื้นแล้วจะถูกส่งเข้ามาทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น หิน ดิน ฝุ่นละออง เศษเหล็ก วัชพืช และเปลือกข้าว ขั้นตอนการทำความสะอาดจะประกอบด้วย shaker screen และ aspiration
2. การกะเทาะเปลือก (dehulled) เป็นการกำจัดเปลือกข้าวออกไปโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า shelling device ซึ่งมี 3 ชนิด ได้แก่ 1) Stone sheller หรือ Disc sheller หรือ Abrasive disc มีลักษณะเป็นแผ่นหิน 2 แผ่นในแนวนอน ความห่างระหว่างแผ่นหินทั้งสองประมาณ มากกว่า 1/2 เท่า ถึง 1 เท่า ของความยาวเมล็ด โดยหินแผ่นบนอยู่หนึ่งและ หินแผ่นล่างหมุน 2) Rubber belt huller หรือ Moving rubber belts มีลักษณะเป็นแผ่นยางหมุนขัดสีกับท่อนเหล็ก (ribbed steel

roll) 3) Rubber roll huller มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งยาง หมุนในทิศทางตรงข้ามกัน และมีความเร็วต่างกัน

3. การแยกข้าวเปลือก เครื่องแยกข้าวเปลือก (paddy separator) สามารถแยกได้โดยอาศัยหลักการความหนาแน่นที่แตกต่างกันของข้าวเปลือก และข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกแล้ว หรือข้าวกล้อง (brown rice) โดยใช้ cyclone separator ส่วนเปลือกข้าวสามารถแยกได้โดยใช้ลมเป่า (aspiration)

4. การขัดสี (debrander) การขัดสี มี 2 ขั้นตอน คือ

- การขัดหยาบ เป็นการขัดโดยใช้หลักการ abrasive action โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า rotating ribs ซึ่งมีลักษณะเป็นแกนโลหะผิวหยาบสองแกนที่หมุน การขัดหยาบเป็นการกำจัดส่วนของจมูกข้าว (germ) และรำข้าวชั้นนอก คือ pericarp และ coarse outer cuticle layer
- การขัดขาว การขัดขาวเป็นการขัดสีโดยใช้เครื่อง whitener ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นหนัง ทำหน้าที่ขัดผิวข้าวให้มีลักษณะเป็นมันวาว การขัดขาวเป็นการกำจัดส่วนของรำข้าวชั้นใน (inner cuticle layer) และส่วนของ aleurone layer ด้วย โดยจะเรียกส่วนที่กำจัดออกนี้ว่า rice polish ส่วนรำข้าวชั้นนอก รำข้าวชั้นใน และ aleurone layer ที่กำจัดออกจะนำมารวมกันเรียกว่ารำข้าว (bran) และเรียกข้าวที่ผ่านการขัดขาวแล้วว่า white rice หรือ milled rice

5. การคัดคุณภาพ (grading) การคัดคุณภาพของข้าวจะคัดตามเปอร์เซ็นต์ของข้าวหัก โดยใช้เครื่องมือคัดขนาดคือ ตะแกรงร่อน แบ่งออกเป็น ข้าว 100% ข้าว 5% และข้าว 10% เป็นต้น

6. การบรรจุ (packing) ทำการบรรจุข้าวในกระสอบหรือถุง

2.5.2 คำนิยามที่เกี่ยวข้องกับข้าว

คำนิยามที่เกี่ยวข้องกับข้าวมีดังต่อไปนี้ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

ข้าวเต็มเมล็ด (whole grain) หมายถึง เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ดไม่มีส่วนใดหักออกเลย ความยาวของข้าวเต็มเมล็ดแบ่งออกเป็น 10 ส่วน

ข้าวตัน (head rice) หมายถึง ข้าวเมล็ดที่ส่วนหัวหรือท้ายบางส่วน หรือทั้งหัวและท้ายของเมล็ดหักไป มีความยาวเหลือตั้งแต่ 8 ส่วนขึ้นไป (8 - 9.9 ส่วน)

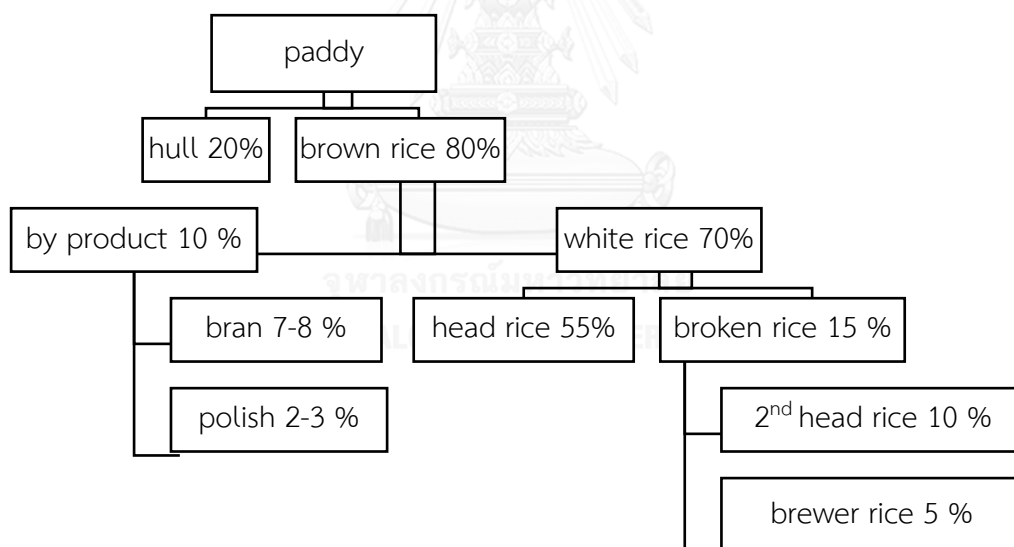
ข้าวหักใหญ่ (big broken) หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 5 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ดขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว (5 - 7.9 ส่วน)

ข้าวหัก (broken) หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ดขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของข้าวหักใหญ่ (2.5 - 4.9 ส่วน)

ปลายข้าว (small broken) หมายถึง เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวต่ำกว่า 2.5 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ดลงไป ผลผลิตที่ได้จากการสีข้าวเจ้า

ข้าวใหม่ หมายถึง ข้าวหอมที่เพิ่งเก็บเกี่ยวมาได้สักระยะหนึ่ง และมีการดูแลรักษาอย่างดี ก่อนที่จะนำมาบริโภค ข้าวใหม่จะให้ความหอมขณะหุงสุก มีลักษณะนุ่มเหนียว มียาง เกาะตัวกัน พอสมควร มีรสชาติอร่อย

ข้าวเก่า หมายถึง ข้าวที่เก็บเกี่ยวมาแล้วเก็บไว้เป็นเวลานาน 5 - 6 เดือนขึ้นไป ความหอมจะเจือจางลง รวมทั้งความนุ่มเหนียวลดลงด้วย เมื่อนำข้าวนี้มาหุงจะต้องใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นกว่าข้าวใหม่ ถึงแม้ความหอมจะลดน้อยลงไปแต่ยังคงมีรสชาติอร่อยเหมือนเดิม ส่วนความนุ่มนวลนั้น แม้จะลดลงบ้างเมื่อเทียบกับข้าวใหม่ แต่ก็ไม่ร่วนแข็งกระด้างจนเกินไป



รูปที่ 2.2 ผลผลิตที่ได้จากการสีข้าว

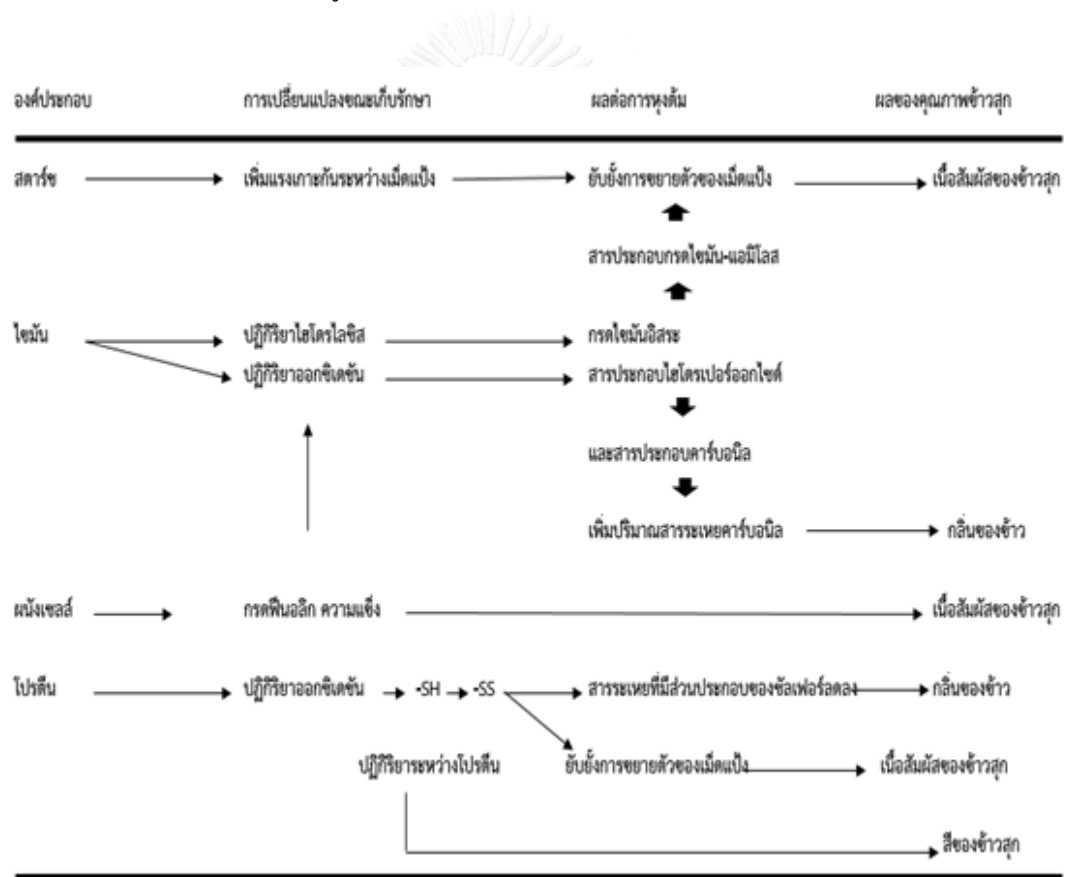
(ที่มา : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

2.6 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาข้าว

การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาข้าวมีสาเหตุมาจากจากปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว ดังนี้

2.6.1 ปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว

ปัจจัยภายนอกที่ทำให้เมล็ดข้าวเหนียวเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาการเก็บรักษา และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ส่งผลเนื่องต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายในที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าว ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน แอมิโลส และแอมิโลเพคติน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Zhou และคณะ, 2002)

2.6.2 ปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว

- ความชื้น

ข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่มีความชื้น 20 – 25% โดยน้ำหนักเปียก เมื่อนำข้าวเปลือกมากองรวมกัน เมล็ดข้าวจะมีการหายใจ ทำให้กองข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ มีผลทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพ เช่น เกิดข้าวเน่า ข้าวบูด ข้าวเหลือง เป็นต้น ข้าวมีคุณภาพการสีต่ำ ราคาข้าวเปลือกจะต่ำลงเมื่อมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำข้าวเปลือกไปสีหรือเก็บรักษาจะต้องลดความชื้นให้เหลือประมาณ 12-14 % จึงจะมีคุณภาพการสีที่ดี เก็บรักษาได้นาน ข้าวเปลือกจะได้ราคาดีกว่า ความชื้นเป็นเกณฑ์หนึ่งที่กำหนดคุณภาพข้าวเปลือกที่สำคัญ เป็นดัชนีชี้วัดน้ำหนักของเมล็ด ความชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวเปลือกเมื่อแปรรูปเป็นข้าวสาร แต่การลดความชื้นทำให้น้ำหนักข้าวหายไป (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ข้าวเปลือกที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้น จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว ของ Park และคณะ (2012) พบว่า ปริมาณความชื้นของข้าวสารจาปอนิกามีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่ทุกอุณหภูมิ (4, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส) นาน 4 เดือน ปริมาณความชื้นของข้าวสารที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

- ไขมัน

ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมันในรูปของกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจับกับโมเลกุลแอมิโนส ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนแปลงไป การเกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้ได้สารระเหยจำพวกสารประกอบคาร์บอนิลเพิ่มมากขึ้น และเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดกลิ่นหืนเพิ่มขึ้น ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าว การเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงจะเร่งเอนไซม์ไลเปสเปลี่ยนไขมันเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเพิ่มขึ้น (Juliano, 1985) จากการศึกษาของ Park และคณะ (2012) พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาในทุกๆ อุณหภูมิตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน ข้าวสารที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (4 และ 20 องศาเซลเซียส)

- โพรตีน

เมื่อโปรตีนถูกออกซิไดส์ในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการพองตัวของเมล็ดข้าว นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนทำให้เมล็ดข้าวมีสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ (Kim และคณะ 2004) โดยหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าวและทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนของกรดอะมิโนและโปรตีนได้เป็นไกลโคซิลเอมีนและเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สีน้ำตาล (นิธิยา รัตนานนท์, 2557) แต่เมื่อผ่านกระบวนการเก็บรักษา (aging process) คุณภาพการหุงต้มจะดีขึ้น (Juliano, 1985) ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความขาวของเมล็ดข้าว การเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงจะเกิดความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นจะเข้าไปเร่งให้ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดเร็วขึ้น (Soponronnarit และคณะ, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Likitwattanasade และ Hongsprabhas (2010) ที่มีค่า b^* เพิ่มขึ้นในข้าวหอมปทุม (PTT1) และข้าวเหลืองปะทิว (LPT123) เก็บที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 70% RH เป็นเวลา 5 วัน

- แอมิโลส - แอมิโลเพคติน

สตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด ได้แก่ แอมิโลส และแอมิโลเพคติน สตาร์ชจากแหล่งที่แตกต่างกันจะมีอัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินที่แตกต่างกัน ทำให้สมบัติด้านต่างๆ ของสตาร์ชแตกต่างกันด้วย (Juliano, 1971) แอมิโลสสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน เช่น รวมตัวกับไอโอดีนให้สารสีน้ำเงิน แอมิโลเพคตินถือว่าสำคัญกว่าแอมิโลส ปริมาณแอมิโลเพคตินมีผลต่อการพองตัวของสตาร์ชจากธัญชาติ และความยาวของสายกิ่งของแอมิโลเพคตินที่มีความยาวของสายกิ่งสั้นกว่า จะมีอุณหภูมิการเกิดเจลที่ในซต่ำกว่า นอกจากนั้นแอมิโลเพคตินที่มีความยาวของสายกิ่งมากกว่า จะมีระดับการเกิดรีโทรเกรดที่สูงกว่าแอมิโลเพคตินที่มีสายกิ่งสั้นกว่า (Jane และคณะ 1999) ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกของข้าวแต่สายพันธุ์มีผลมาจากคุณสมบัติของสตาร์ชที่แตกต่างกันในส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพคติน ทำให้สามารถแบ่งประเภทคุณภาพข้าวหุงสุกได้ตามปริมาณแอมิโลส (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) วรธินี เกตุคง (2556) ศึกษาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและการคืนรูปจากเยือกแข็งต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก ใช้ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นวัตถุดิบ เก็บรักษาที่ระยะเวลา 3 ระดับ (0.7 3 และ 12 เดือน) พบว่า ระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมิโลส (amylose content) แต่ส่งผลต่อโครงสร้างของเม็ดแป้งได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง จากงานวิจัยของ จันวิภา ภูมรินทร์ (2551) ศึกษาผลของการอบแห้ง อุณหภูมิ และปริมาณแอมิโลสต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและความคงทนของเมล็ดข้าวสาร ตัวอย่างที่ศึกษา คือ ข้าวเหนียว กข

6 เมื่อผ่านการอบแห้ง ด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซนซ์ร่วมกับการเทมเปอร์ริงตามด้วยการตากในที่ร่ม (FBTS) และเทคนิคฟลูอิดไอเซนซ์ร่วมกับการตากในที่ร่ม (FBS) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 3 ระดับ คือ 90 150 และ 170 องศาเซลเซียส พบว่า ลักษณะโครงสร้างของเม็ดแป้งและโครงสร้างภายในของเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้งยังคงมีความสมบูรณ์ เมื่อส่องด้วยกล้อง SEM กำลังขยาย 1500 เท่า เพื่อส่งดูภาคตัดขวางของเมล็ดข้าว พบว่า เห็นเหลี่ยมคมภายในเมล็ดข้าวชัดเจน เนื่องจากเม็ดแป้งไม่ได้สัมผัสความร้อน แต่เมื่อผ่านการอบแห้งความเหลี่ยมคมลดลงอย่างเห็นได้ชัดตามระดับอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น ตามลำดับ

2.7 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและสมบัติอื่นๆ ของข้าว

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและสมบัติอื่นๆ ของข้าว ใช้สำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงของข้าวเหนียวในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ คุณภาพการสี ความขาวของเมล็ดข้าว คุณภาพการหุงต้ม ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว และสมบัติทางความร้อน ดังนี้

2.7.1 คุณภาพการสี

คุณภาพของการสีข้าวขึ้นกับประสิทธิภาพในการสีและระดับการสี เพื่อให้ได้ข้าวสารตามที่ต้องการประสิทธิภาพการสี คือ ปริมาณผลผลิตจากข้าวเปลือกที่ได้เป็นข้าวสารเต็มเมล็ดและต้นข้าว ถ้าได้เปอร์เซ็นต์ข้าวสารเต็มเมล็ดและข้าวต้นมากแสดงว่าประสิทธิภาพการสีดี ทั้งนี้ขึ้นกับพันธุ์ข้าว การปฏิบัติการณ์ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวและกระบวนการสีข้าว ในกระบวนการสีข้าวจะได้ผลผลิตจากข้าว ดังนี้ ข้าวเปลือก 100% จะได้ แกลบ 20 – 30% รำ 8 – 11% ข้าวสารรวม (ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหัก ปลายข้าว) 66 – 72% ระดับการสีหรือขั้นของการสี คือ ความหนักเบาหรือมากน้อยในการขัดข้าวข้าวกล้องให้เป็นข้าวสาร สิ่งที่ได้จากการขัดคือ รำ คัพพะ และส่วนของเนื้อเมล็ด โดยสามารถแบ่งระดับการสีเป็น 4 ระดับ คือ สีดีพิเศษ สีดี สีดีปานกลาง และสีธรรมดา (เครือวัลย์ อุตตะวีริยะสุข, 2531) ดังนั้นการวัดเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมักนิยมใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการสีข้าวในระหว่างการเก็บรักษา จากงานวิจัยของ ปัทมา เล้าประเสริฐ (2552) ศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเหนียว กข 6 เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือก กข 6 ที่ภาวะต่างๆ เป็นเวลา 6 เดือน จากนั้นนำข้าวเปลือกมาขัดสีจนได้เป็นข้าวสาร พบว่า เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นก่อนการเก็บรักษามีค่า 44.86% หลังจากเก็บรักษานาน 6 เดือน ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อมมีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงขึ้นเป็น 45.33% 46.14% และ 47.20% ตามลำดับ แต่การเก็บข้าวเปลือกในกระสอบที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นลดลงเป็น 43.91%

2.7.2 ความขาวของเมล็ดข้าว

การวัดเปอร์เซ็นต์ความขาวของเมล็ดข้าว เป็นการวัดความขาวของเมล็ดข้าวที่ผ่านขบวนการสีข้าวมาแล้ว เมล็ดข้าวหรือแบ่งข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาเวลานานๆ เมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีคล้ำ ข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิในการเก็บสูงจะมีสีคล้ำกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (Soponronnarit และคณะ 2008; ดลฤดี ใจสุทธิ และคณะ 2550; เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์, 2541) การเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของเมล็ดข้าวหรือแบ่งข้าว นั้นเกิดขึ้นจาก 2 สาเหตุ คือ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา เช่น *Fusarium* sp. ทำให้เมล็ดเกิดสีเหลือง และ *Curvularia* sp. ทำให้เกิดสีดำ เป็นต้น ซึ่งข้าวที่มีความชื้นสูงจะทำให้แบคทีเรียและเชื้อรา เจริญเติบโตได้ดีและเกิดสีคล้ำยิ่งขึ้น (ภัทรพร ธัญญวินิชกุล, 2540) และอีกสาเหตุหนึ่งคือ สีคล้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ โดยมีอุณหภูมิสูงและแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (นิริยา รัตนานนท์, 2557)

2.7.3 คุณภาพการหุงต้ม

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านการหุงต้มของข้าว เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการหุงต้ม มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้น (Kaminski และคณะ, 2013) เนื่องจากเมล็ดแบ่งในเมล็ดข้าวมีการจับตัวกันแข็งแรงมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันโปรตีนในเมล็ดข้าวก็เกิดการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างสายของโปรตีน ทำให้โครงสร้างของเมล็ดแบ่งมีความแข็งแรง (Zhou และคณะ, 2002) ดังนั้นเมื่อหุงต้มข้าว น้ำจึงซึมผ่านเข้าไปภายในเมล็ดข้าวได้ยากขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการหุงต้ม (cooking time) นานขึ้น ส่งผลให้การดูดน้ำ (water uptake) และอัตราการยืดตัว (elongation ratio) เปลี่ยนแปลงไป

2.7.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงจากงานวิจัยของ Park และคณะ (2012) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสารจาปอนิกา ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน ที่บรรจุถุงพอลิเอทิลีนโดยการทดสอบแบบ texture profile analyzer (TPA) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ ได้ค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ ความแข็ง (hardness) เป็นค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการกดครั้งแรก ความเหนียวติดกัน (adhesiveness) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของข้าวหุงสุกในการเกาะติดกันกับองค์ประกอบอื่นๆ และความเหนียวที่เกาะติดกัน (cohesiveness) เป็นค่าที่แสดงถึง

ความสามารถของข้าวหุงสุกในการเกาะติดกันเอง (Zhou และคณะ 2007) พบว่า การเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูง ทำให้ข้าวมีความแข็งสูงสุด เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และการเก็บข้าวที่อุณหภูมิต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกันน้อยที่สุด ความเหนียวติดกันมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีนทำให้ข้าวสุกมีความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความเหนียวที่ยึดเกาะกัน (cohesiveness) ลดลง การเก็บรักษาข้าวสารจาปอนิกาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 4 เดือน มีความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และการเก็บข้าวที่อุณหภูมิสูงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกันมากที่สุด

2.7.5 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว

มักจะใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้งในภาวะที่มีน้ำและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ การให้ความร้อนและการทำให้เย็น การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินและติดตามสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว ในขณะที่แป้งได้รับความร้อนรวมทั้งความคงตัวของสารละลายแป้งเมื่อเริ่มให้ความเย็น (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ, 2546) จากการศึกษาของ Park และคณะ (2012) การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวจาปอนิกาในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน ที่บรรจุถุงพอลิเอทิลีน พบว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าว ได้แก่ ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) และค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสูงสุด พบว่า การเก็บข้าวสารที่อุณหภูมิสูง (20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความหนืดสูงสุด สูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) ความหนืดสูงสุดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 1 เดือนแรก หลังจากนั้นจึงลดลง และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเก็บรักษาครบ 4 เดือน การเก็บที่อุณหภูมิสูง (30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความหนืดที่ลดลง ลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (4 และ 20 องศาเซลเซียส) และความหนืดที่ลดลง มีค่าลดลงในทุกๆ อุณหภูมิการเก็บรักษา นาน 4 เดือน การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) ในช่วง 2 เดือนแรก มีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นลดลง และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเดือนที่ 2 ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษานาน 4 เดือน

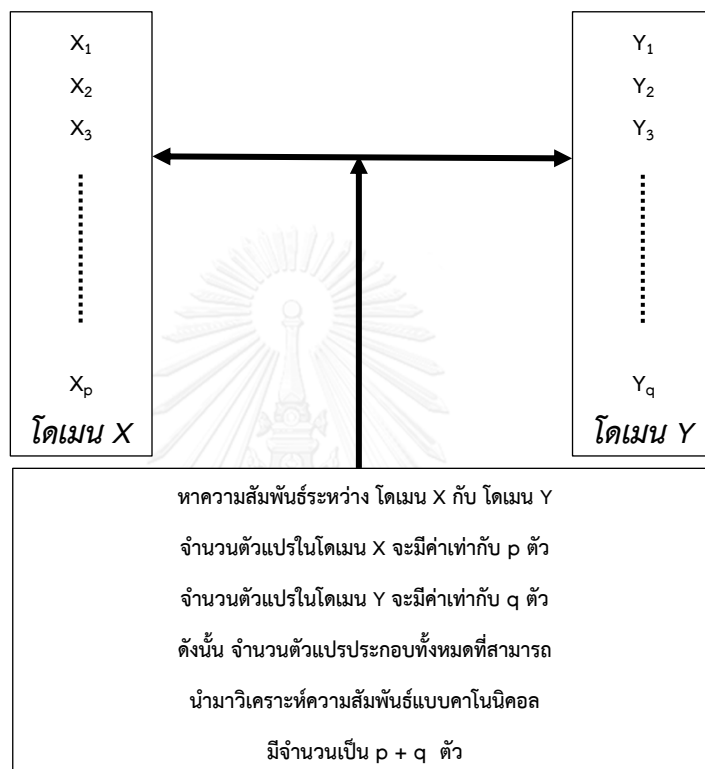
2.7.6 สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวจะวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้แป้งข้าวเกิดเจลลิตในเซชันในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ โดยใช้เครื่อง DSC ค่าที่วิเคราะห์ได้จาก DSC thermogram คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตในเซชัน (T_0) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิตในเซชัน (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลิตในเซชัน (T_c) และเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเกิดเจลลิตในเซชัน (ΔH_g) ซึ่งกระบวนการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งข้าวเป็นกระบวนการดูดความร้อน (endothermic process) ผลของอุณหภูมิกการและระยะเวลาการเก็บรักษาจากงานวิจัยของ Tananuwong และ Malila (2011) พบว่า ค่า T_0 และ T_p มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกภาวะการเก็บรักษา เมื่อเก็บนาน 12 เดือน ซึ่งค่า T_0 และ T_p ของการเก็บรักษาข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่อุณหภูมิแวดล้อม ($28 - 35^\circ\text{C}$) มีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15°C) ในขณะที่ $\Delta T_g (T_c - T_0)$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาในช่วง 2 เดือนแรก หรือ 4 เดือนแรก และมีแนวโน้มลดลงจากเดือนที่ 8 เมื่อพิจารณาภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดง พบว่า ระดับการเกิดเจลลิตในเซชันมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษาระยะสั้น (≤ 4 เดือน) หลังจากนั้นระดับการเกิดเจลลิตในเซชันมีค่าลดลงในช่วงการเก็บรักษาระยะยาว (≥ 6 เดือน) การที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตในเซชันและเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเจลลิตในเซชันของข้าวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ซึ่งมีสาเหตุมาจากอันตรกิริยาระหว่างองค์ประกอบของข้าว ได้แก่ แป้ง โปรตีน ไขมัน และปฏิกิริยาเอนไซม์ทำให้เม็ดแป้งที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานานเพิ่มแรงยึดเกาะกัน และเกิดพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลของโปรตีน ช่วยเสริมการยึดเกาะระหว่างโปรตีนและไปแทรกระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง เสริมให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรง ซึ่งจะไปยังยังหรือขัดขวางไม่ให้น้ำเข้าไปในเม็ดแป้ง ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้ส่วนของเม็ดแป้งเกิดการพองตัวและเกิดเจลลิตในเซชันได้ (Iturriaga และคณะ 2004; Teo และคณะ 2000)

2.8 การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล (canonical correlation analysis) คือ การวิเคราะห์ที่พัฒนามาจากการวิเคราะห์การถดถอย พหุคูณ เป็นการวิเคราะห์สำหรับข้อมูล ที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มตัวแปร X หรือเรียกว่า โดเมน X ที่ประกอบด้วยตัวแปร ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปเช่นกัน โดยที่ จำนวนตัวแปร ประกอบของกลุ่มตัวแปร X และจำนวนตัวแปรประกอบของ กลุ่มตัวแปร Y ไม่จำเป็น ต้องเท่ากัน ทั้งนี้ข้อมูลของแต่ละกลุ่ม ตัวแปรจะมีลักษณะ

เป็นตัวแปรประกอบหลาย ๆ ครั้ง ดังนั้น ลักษณะการวิเคราะห์ สหสัมพันธ์คาโนนิคอลจึงไม่ใช่การวิเคราะห์ตัวแปรประกอบของแต่ละกลุ่มเป็นรายคู่ แต่จะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มข้อมูลที่ประกอบด้วย ตัวแปรหลายตัวกับตัวแปร หลายตัวไปพร้อมๆ กัน (ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์, 2559) แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล

(ที่มา: ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์, 2559)

ทฤษฎีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (canonical correlation analysis) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรชุดหนึ่งกับตัวแปรอีกชุดหนึ่งโดยตัวแปรชุดหนึ่งจะถูกเรียกว่าชุดตัวแปรอิสระ ส่วนตัวแปรอีกชุดหนึ่งจะเรียกว่าชุดตัวแปรตาม โดยจะแตกต่างจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุ (Multiple Correlation) ตรงที่การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุระหว่างชุดของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามตัวหนึ่งตามตัวอย่างต่อไปนี้ดังรูปที่ 2.5 (ปฏิพัทธ์ ทิพย์กาญจนรัตน์ และ ธนัญญา วสุศรี, 2558)

- สหสัมพันธ์พหุ (multiple correlation)

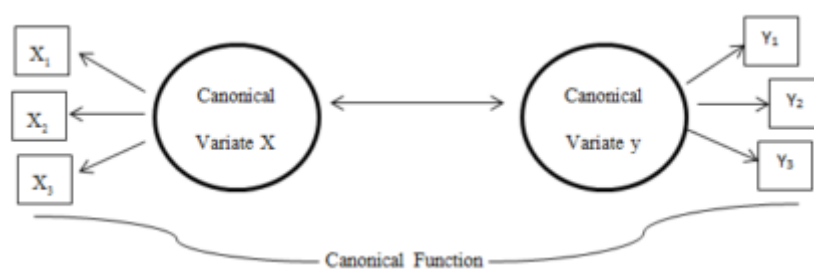
$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n = Y$$

- สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (canonical correlation)

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n = Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$$

เมื่อ X_i คือตัวแปรอิสระ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

Y_i คือตัวแปรตาม ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามของสหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล

(ที่มา: ปฏิพัทธ์ ทิพย์กาญจนรัตน์ และ ธนัญญา วสุศรี, 2558)

โดยตัวแปรแต่ละชุดจะมีการรวมตัวกันแบบเชิงเส้น (linear combination) ผลที่ได้จากการรวมตัวจะเรียกว่าซึ่งค่านี้จะบอกถึงสัดส่วน รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม canonical variable เป็นการรวมตัวที่ทำให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างชุดตัวแปรที่มีค่าสูงสุด จากรูปที่ 2.4 พบว่า มีชุดของตัวแปรอิสระจะใช้สัญลักษณ์ (X) และชุดของตัวแปรตามจะใช้สัญลักษณ์ (Y) ซึ่ง X และ Y จะต้องมีตัวแปรที่มากกว่า 2 ตัวแปรขึ้นไปในข้อมูลชุดนั้นๆ โดยวัตถุประสงค์หลักในการวิเคราะห์คาโนนิคอลคือการหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรสองกลุ่มในรูปของจำนวนตัวแปรคาโนนิคอลว่ามีกี่คู่ และแต่ละคู่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรทั้งสองกลุ่มนั้นได้มากน้อยเพียงใด และเพื่อลดจำนวนตัวแปรประกอบของแต่ละกลุ่มให้น้อยลง เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์โดยใช้กลุ่มตัวแทนของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (correlation) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปร โดยความสัมพันธ์มีสองลักษณะคือ ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง ค่าที่แสดงถึงระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปร ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ซึ่งมักเขียนแทน

ด้วยสัญลักษณ์ r หรือสัญลักษณ์อื่นๆ ตามที่นักสถิติกำหนดขึ้น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง +1 ($-1 \leq r \leq +1$) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จึงบอกทั้งขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์ เช่น $r = 0.92$ และ $r = -0.92$ จะมีขนาดของความสัมพันธ์เท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม (อิศรัฎฐ์ รินไธสง, 2559) ได้อธิบายความหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้ไว้ ดังนี้

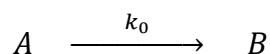
1. ค่า $r = 0$ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กันเลย
2. ค่า $r < 0.3$ แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันน้อย
3. ค่า r มีค่าระหว่าง $0.5 < r < 0.8$ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
4. ค่า $r > 0.8$ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
5. ค่า $r = 1$ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันเป็นบวกสมบูรณ์
6. ค่า $r = -1$ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันเป็นลบสมบูรณ์

2.9 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวในระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าตามแนวโน้มที่ได้จากผลการวิจัย คือ zeroth order kinetics model, first order kinetics model และ Arrhenius relationship (Goss และ Petrucci, 2007)

2.9.1 ปฏิกริยาอันดับศูนย์

ปฏิกริยาอันดับศูนย์ (zeroth order kinetics model) เป็นปฏิกริยาที่อัตราการเกิดปฏิกริยามีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นดังรูปที่ 2.6 และเป็นปฏิกริยาที่สามารถศึกษาได้ง่ายมีกฎอัตรา ดังนี้



$$r = -\frac{d[A]}{dt} = k_0 [A]^0 = k_0 \dots\dots\dots 2.1$$

ที่เวลา = 0 , $[A] = a_0$, และ ที่เวลา = t , $[A] = a$

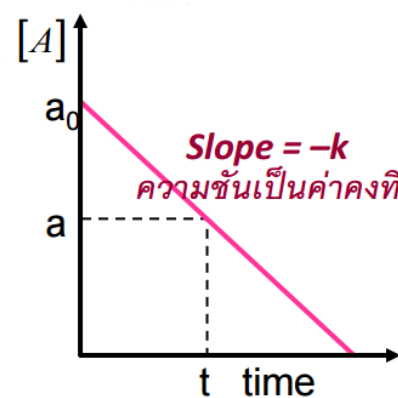
$$-\frac{d[A]}{dt} = k_0 \dots\dots\dots 2.2$$

$$-d[A] = k_0 dt \dots\dots\dots 2.3$$

$$-\int_{a_0}^a d[A] = \int_0^t k_0 dt \dots\dots\dots 2.4$$

$$a_0 - a = k_0 t \dots\dots\dots 2.5$$

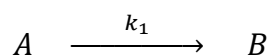
$$\text{ดังนั้น } [A] - [A]_0 = -k_0 t \dots\dots\dots 2.6$$



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $[A]$ กับ t สำหรับปฏิกิริยาอันดับศูนย์
(ที่มา: เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2559)

2.9.2 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (first order kinetics model) เป็นปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีกฎอัตราดังรูปที่ 2.7 ดังนี้



$$r = -\frac{d[A]}{dt} = k_1 [A]^1 \dots\dots\dots 2.7$$

ที่เวลา = 0 , $[A] = a_0$, และ ที่เวลา = t , $[A] = a$

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_1 [A] \dots\dots\dots 2.8$$

$$-\frac{d[A]}{[A]} = k_1 dt \dots\dots\dots 2.9$$

$$-\int_{a_0}^a \frac{d[A]}{[A]} = \int_0^t k_1 dt \dots\dots\dots 2.10$$

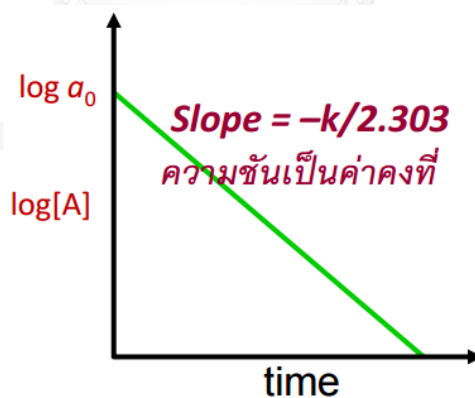
$$\ln\left(\frac{a}{a_0}\right) - a = -k_1 t \dots\dots\dots 2.11$$

$$\ln a = -k_1 t + \ln a_0 \dots\dots\dots 2.12$$

$$\log a = -\frac{k_1 t}{2.303} + \log a_0 \dots\dots\dots 2.13$$

$$\log \frac{[a]}{[a_0]} = -\frac{k_1 t}{2.303} \dots\dots\dots 2.14$$

$$\text{ดังนั้น } 2.303 \log \frac{[A]}{[A_0]} = -k_1 t \dots\dots\dots 2.15$$



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log [A]$ กับ t สำหรับปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง
(ที่มา: เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2559)

2.9.3 ความสัมพันธ์อาร์เรเนียส

ความสัมพันธ์อาร์เรเนียส (Arrhenius relationship) เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตรา (k) และอุณหภูมิ (T) สร้างโดย Svante August Arrhenius (ค.ศ.1859 - 1927) ดังรูปที่ 2.8 ดังนี้

$$k = k_0 \cdot e^{-E_a/RT} \dots\dots\dots 2.16$$

$$\log k = \log k_0 - \left(\frac{E_a}{2.303RT} \right) \dots\dots\dots 2.17$$

- เมื่อ k = ค่าคงที่อัตรา (specific rate constant)
 k_0 = ค่าคงที่เฉพาะของปฏิกิริยา หรือแฟกเตอร์ความถี่ของการชนกัน
 E_a = พลังงานก่อกัมมันต์ ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$)
 R = ค่าคงที่ของแก๊ส (1.99 cal/K หรือ $8.314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$)
 T = อุณหภูมิ (K)

การความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตรา (k) และอุณหภูมิ (T)

ถ้าค่า k ที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 เท่ากับ k_1 และ k_2

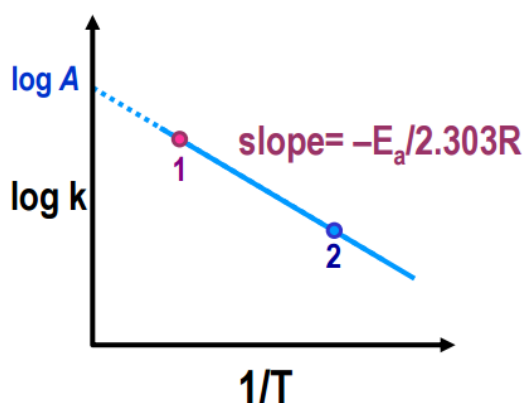
$$\log k_1 = \log k_0 - \left(\frac{E_a}{2.303RT_1} \right) \dots\dots\dots 2.18$$

$$\log k_2 = \log k_0 - \left(\frac{E_a}{2.303RT_2} \right) \dots\dots\dots 2.19$$

$$\log \left(\frac{k_2}{k_1} \right) = \frac{E_a}{2.303R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \text{ (สมการที่ 2.19 - 2.18) } \dots\dots\dots 2.20$$

$$\log \left(\frac{k_2}{k_1} \right) = \frac{E_a}{2.303R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) \dots\dots\dots 2.21$$

$$\text{ดังนั้น } E_a = 2.303R \left(\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right) \log \frac{k_2}{k_1} \dots\dots\dots 2.22$$



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log k$ กับ $1/T$ สำหรับสมการอาร์เรเนียส

(ที่มา: เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2559)

2.10 การจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวจากพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

(กัลยา วาณิชย์บัญชา, 2546)

การวิเคราะห์ปัจจัย (factor Analysis) หรือบางครั้งเรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบ เป็นเทคนิคที่จะจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ไว้ในกลุ่มหรือ factor เดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ใน factor เดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจจะเป็นในทิศทางบวก (ไปในทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) ก็ได้ ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละ factor จะไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis; PCA) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่ โดยอาศัยหลักความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรที่ใช้เป็นข้อมูลองค์ประกอบหลัก ตัวแปรคือ การผสมเชิงเส้นตรง (linear combination) ของตัวแปรที่อธิบายการผันแปรของข้อมูลได้มากที่สุด

การเลือกค่า loading เป็นการแยกตัวแปรใดควรจะอยู่ในองค์ประกอบใด โดยพิจารณาจากค่า loading ของตัวแปรต่าง ๆ ว่ามีค่ามากที่สุดอยู่ที่องค์ประกอบใดก็จัดให้อยู่ในองค์ประกอบนั้น แต่มีข้อแม้ว่าค่า loading ควรจะมีค่าตั้งแต่ 0.30 ขึ้นไป

ความหมายของค่าในการวิเคราะห์องค์ประกอบ

1. องค์ประกอบร่วมกัน (common factor) หมายถึง องค์ประกอบที่ประกอบด้วยตัวแปร 2 ตัวขึ้นไป มารวมกันอยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน โดยองค์ประกอบร่วมจะอาศัยจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือค่า r องค์ประกอบที่ประกอบด้วยตัวแปรที่มีค่าความสัมพันธ์กันมาก จะเป็นองค์ประกอบที่มีความหมายในการวิเคราะห์ องค์ประกอบ

2. ความร่วมกัน (communalities) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหนึ่งกับตัวแปรอื่นๆ ที่เหลือทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ถ้าตัวแปรใดมีค่านี้น้อยตัวแปรนั้นจะถูกตัดออก คำนี้นี้ได้จาก initial statistic หรือค่าทแยงมุมของ reproduced correlation matrix ความร่วมกัน

3. น้ำหนักองค์ประกอบ (factor loading) เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับองค์ประกอบ ซึ่งควรมีค่า มากกว่า 0.3 ตัวแปรใดมีน้ำหนักในองค์ประกอบใดมากควรจัดตัวแปรนั้นได้ในองค์ประกอบนั้น ในโปรแกรม SPSS น้ำหนักองค์ประกอบของแต่ละองค์ประกอบได้จากตาราง component matrix ก่อนการหมุนแกนองค์ประกอบ หรือดูได้จากเส้นทแยงมุมของเมทริกซ์ของค่าไอเกน (Eigen value)

4. คะแนนองค์ประกอบ (factor score) เป็นคะแนนที่ได้จากน้ำหนักองค์ประกอบและค่าของตัวแปรใน ปัจจุบันนั้น เพื่อใช้เป็นค่าของตัวแปรใหม่ ที่เรียกว่า องค์ประกอบ คะแนนองค์ประกอบของแต่ละองค์ประกอบอาจมีความสัมพันธ์กันบ้าง ถ้าจัดจำนวนองค์ประกอบเอาไว้มาก นั้นหมายความว่า ตัวแปรเดียวกันอาจอยู่ในหลายองค์ประกอบได้ตามน้ำหนักองค์ประกอบ

5. ค่าไอเกน (Eigen value) เป็นค่าความผันแปรของตัวแปรทั้งหมดในแต่ละองค์ประกอบ ในการวิเคราะห์ องค์ประกอบ องค์ประกอบร่วม (common factor) ที่ได้องค์ประกอบแรก จะเป็นองค์ประกอบที่แยกความผันแปร ของตัวแปรออกมาจากองค์ประกอบอื่นได้มากที่สุดจึงมีตัวแปรร่วมอยู่มากที่สุด

ประโยชน์ของการวิเคราะห์องค์ประกอบ

1. เพื่อลดจำนวนตัวแปรโดยการรวมตัวแปรหลาย ๆ ตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน ปัจจัยที่ได้ถือว่ เป็นตัวแปรใหม่ ที่สามารถหาค่าข้อมูลของปัจจัยที่สร้างขึ้นได้ เรียกว่า factor score จึงสามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป เช่น

- การวิเคราะห์ความถดถอย และสหสัมพันธ์ (regression and correlation analysis)
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
- การทดสอบสมมติฐาน t-test , Z-test

- การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (discriminant analysis) เป็นต้น

2. ใช้ในการแก้ปัญหาการที่ตัวแปรอิสระของเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยมีความสัมพันธ์ (multicollinearity)

3. ทำให้เห็นโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากเทคนิค factor analysis จะหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ของตัวแปรทีละคู่แล้วรวมตัวแปรที่สัมพันธ์กันกันมากไว้ในปัจจัยเดียวกัน จึงสามารถวิเคราะห์ถึงโครงสร้างที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันได้

4. ทำให้อธิบายความหมายของแต่ละปัจจัยได้ ตามความหมายของตัวแปรต่างๆที่อยู่ในปัจจัยนั้น ทำให้สามารถนำไปใช้ในด้านกรวางแผนได้

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกันอยู่เป็นจำนวนมาก แต่การศึกษาเดียวกันนี้ในข้าวเหนียวยังมีงานวิจัยอยู่น้อย จึงต้องการอ้างอิงจากงานวิจัยข้าวเจ้าเป็นหลัก โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Athapol Noomhorm และคณะ (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของแครกเกอร์จากข้าวสารเหนียว 2 สายพันธุ์ (กข 6 และ กข 8) ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าปริมาณแอมิโลสและโปรตีนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บเป็นเวลา 0 – 4 เดือน และทำการวิเคราะห์สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวที่เก็บรักษานาน 0 – 8 เดือน พบว่า ข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีอุณหภูมิเจลลิตีในเซชันคงที่ในระหว่างการเก็บรักษา ในข้าวเหนียว กข 6 พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในข้าวเหนียว กข 8 พบว่า เมื่อวิเคราะห์สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งในระหว่างทำให้ความเย็นจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และการเปลี่ยนแปลงคงที่ตลอดการเก็บรักษา 8 เดือน ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) พบว่า มีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่า setback มีค่าเพิ่มขึ้น ข้าวเหนียว กข 6 และ กข 8 มีอัตราการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน ข้าวที่ผ่านการเก็บรักษามีอัตราการดูดซับน้ำลดลงตามระยะเวลาแช่ที่นานขึ้น ค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก (volume expansion) มีค่าลดลงส่งผลให้ค่าความแข็ง (hardness) มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

ภัทรพร ธัญญาวิณิชกุล (2540) ศึกษาผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพของข้าวสาร ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวสารที่เก็บเกี่ยวใหม่ นำมาบรรจุในถุงขนาด 2 กิโลกรัม แบ่งเป็น 4 ชนิด ได้แก่ ถุงพอลิเอทิลีน ถุงไนลอน ถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บในสภาพออกซิเจนต่ำ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แต่ข้าวสารที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เป็นสุญญากาศจะเก็บรักษาที่ 15 องศาเซลเซียส เก็บรักษานาน 6 เดือน ในทุกๆเดือน ทำการสุ่มทดสอบคุณภาพของข้าว พบว่า องค์ประกอบทางเคมี (proximate composition) ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า สตาร์ช และแอมิโลสไม่เปลี่ยนแปลงในทุกภาวะการเก็บรักษา เมื่อเก็บข้าวสารนานขึ้น การขยายปริมาตรของข้าวสุก ความแข็งของข้าวสุก ปริมาณเมล็ดเหลือง มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มมีค่าลดลง ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 องศาเซลเซียส) เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆค่อนข้างช้า

Tanuwong และ Malila (2011) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพในระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่อุณหภูมิต่ำ (15 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิแวดล้อม (28 - 35 องศาเซลเซียส) พบว่า สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว โดยใช้เครื่อง DSC มีค่า อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาคีไนต์ (T_0) และอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาคีไนเซชัน (T_p) มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกภาวะการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน ซึ่งค่า T_0 และ T_p ของการเก็บรักษาข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่อุณหภูมิแวดล้อม (28 - 35 องศาเซลเซียส) มีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 องศาเซลเซียส) ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาคีไนเซชัน (ΔT_g) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาในช่วง 2 เดือนแรก หรือ 4 เดือนแรก และมีแนวโน้มลดลงหลังจากเดือนที่ 8 เหนือค่าปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเกิดเจลาคีไนเซชัน (ΔH_g) มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกภาวะการเก็บรักษาในช่วง 8 เดือนแรก หลังจากเก็บนาน 12 เดือนมีค่าลดลง

Wiset และคณะ (2011) และ ปัทมา เล้าประเสริฐ (2552) ศึกษาผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพข้าวเหนียว กข 6 โดยใช้ตัวอย่างข้าวเปลือก มีความชื้นเริ่มต้นไม่เกิน 14% โดยน้ำหนักเปียก เก็บในถังที่มีการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม และการเป่าด้วยอากาศเย็นที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการเก็บในกระสอบเก็บนาน 6 เดือน พบว่า ปริมาณความชื้น (moisture content) ของข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิสูงลดลงมากกว่าอุณหภูมิต่ำ ปริมาณข้าวตัน (head rice yield) มีค่าเพิ่มขึ้น ดัชนีความขาว (whiteness index) ของข้าวสารมีค่าลดลงแปรผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บที่มากขึ้น ข้าวสารมีสีเหลืองมากขึ้น อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความหนืดสูงสุด

(peak viscosity) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 2 - 4 เดือนแรก หลังจากนั้นจึงลดลง แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าก่อนการเก็บรักษา ความหนืดลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) มีแนวโน้มลดลงแปรผกผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) มีค่าสูงสุดในเดือนที่ 4 ในทุกภาวะการเก็บรักษาข้าวเปลือก ค่า T_0 , T_p และ T_c มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยในทุกภาวะการเก็บรักษา เก็บนาน 6 เดือน ค่า T_p และ T_c ของข้าวที่เก็บในกระสอบ มีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อมที่มีค่า T_p และ T_c ใกล้เคียงกัน ค่า ΔH_g มีแนวโน้มสูงขึ้นแปรตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา การเก็บข้าวในกระสอบมี ค่า ΔH_g สูงกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อม

Park และคณะ (2012) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสารจาปอนิกาที่บรรจุถุงพอลิเอทิลีน (polyethylene) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส เก็บนาน 4 เดือน มีความชื้นเริ่มต้น 16.5% โดยน้ำหนักเปียก พบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงในทุกภาวะการเก็บรักษา การเก็บที่อุณหภูมิสูงมีปริมาณความชื้นลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเก็บรักษาข้าวนานขึ้นข้าวมีสีคล้ำหรือมีสีเหลืองมากขึ้น และการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูง (30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความขาวลดลงมากกว่าการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิต่ำ (4 และ 20 องศาเซลเซียส) ส่วนการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว พบว่า ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วง 1 เดือนแรก หลังจากนั้นจึงลดลง และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเก็บรักษาครบ 4 เดือน ความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิสูง (30 และ 40 องศาเซลเซียส) ความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนมีค่าลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (4 และ 20 องศาเซลเซียส) ความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) ในช่วง 2 เดือนแรก ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นมีค่าลดลง และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเดือนที่ 2 ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นมีค่าสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของหุงสุก (texture profile analyzer) พบว่า ค่าความแข็ง (hardness) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา การเก็บที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส) ทำให้ข้าวมีค่าความแข็งสูงสุด รองลงมาคือ เก็บที่อุณหภูมิ 30, 20 และ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) พบว่า มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บ การเก็บข้าวที่อุณหภูมิต่ำมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกันน้อยที่สุด ค่าความเหนียวที่ยึดเกาะกัน (cohesiveness) พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา และการเก็บข้าวที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส) มีการ

เปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกันมากที่สุด รองลงมาคือ เก็บที่อุณหภูมิ 30 20 และ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Kaminski และคณะ (2013) ศึกษาคุณภาพในการหุงต้มข้าว BR-IRGA 410 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ (0.5, 20 และ 35 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าระยะเวลาในการหุงสุก (cooking time) ค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก (volume yield) และค่าลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุก (appearance of cooked grains) มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ข้าวหุงสุกที่ได้มีความแข็งเพิ่มขึ้น และมีความเหนียวน้อยลง เมื่อพิจารณาค่า proportionate change ค่า elongation ratio ค่า actual elongation มีทิศทางไปในแนวเดียวกันคือ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ เก็บรักษาที่ 20 และ 0.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาข้าวเป็นระยะเวลาเวลานานขึ้น

อลิษา ชมพูพล้อย และคณะ (2556) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงความเหนียวของข้าวพันธุ์ต่างๆ พบว่า เมล็ดข้าวที่เก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเกิดขึ้นตลอดเวลา ขึ้นกับสมบัติของข้าวแต่ละพันธุ์และสภาพการเก็บรักษา งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเหนียวของเมล็ดข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสที่แตกต่างกัน ได้แก่ ข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสสูง (ชัยนาท 1) และข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสต่ำ (ขาวดอกมะลิ 105 และ ปทุมธานี 1) และข้าวเหนียว (สันป่าตอง 1 และ กข 10) โดยเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 4 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน และวัดความเหนียวทุก 2 เดือน พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเหนียวของข้าวทั้ง 5 พันธุ์แตกต่างกัน เช่น ค่าความเหนียวสูงสุด (peak viscosity) ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวชัยนาท 1 มีค่าลดลงเดือนที่ 2 และคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าความเหนียวที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) ของพันธุ์ข้าวส่วนใหญ่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้งสองมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ข้าวปทุมธานี 1 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 ก่อนที่จะเริ่มลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ข้าวทุกพันธุ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความเหนียวสูงสุด (peak viscosity) และค่าความเหนียวที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) ลดลงมากกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับค่าความเหนียวที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) ของข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 และข้าวเหนียว กข 10 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ข้าวปทุมธานี 1 มีความเหนียวที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) มีค่าลดลง ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวชัยนาท 1 ที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเก็บรักษาที่ 60 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์

ข้าวเปลือกข้าวเหนียว กข 10 (RD 10) ซึ่งจากศูนย์วิจัยข้าวอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี เป็นข้าวที่เพาะปลูกในช่วงต้นฤดูการเพาะปลูกข้าวนาปรัง (มกราคม - กุมภาพันธ์) และเก็บเกี่ยวในเดือนเมษายน พ.ศ.2557 ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่ มีอายุหลังเก็บเกี่ยวไม่เกิน 1 เดือน ผ่านการลดความชื้นโดยการตากแดดจนมีความชื้นไม่เกิน 14% โดยน้ำหนักเปียก แสดงรูปตัวอย่างในภาคผนวก จ รูปที่ จ.1

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกข้าวเหนียว กข 10

ก่อนการเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกต้องทำความสะอาดข้าวเปลือก โดยผ่านเครื่องร่อนแบบตะแกรง (บริษัท นาทวี เทคโนโลยี จำกัด, TV 03, ฉะเชิงเทรา) เพื่อกำจัดเศษฟางหญ้า เศษหิน และเศษดิน เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกในกระสอบพลาสติกสาน ถุงละ 1.5 กิโลกรัม มัดปากถุงด้วยเชือกฟาง (รูปที่ 3.1) จากนั้นนำกระสอบข้าวเปลือกแยกเก็บรักษาตามอุณหภูมิ แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิสูง โดยมีภาวะการเก็บดังนี้

– อุณหภูมิต่ำ : เก็บข้าวเปลือกภายในตู้แช่เย็นแบบ 3 ประตู ขนาดความจุ 1,174 ลิตร หรือ 42 คิวบิกฟุต ขนาดตู้ (กว้าง x ลึก x สูง) 165 x 63.5 x 200 เซนติเมตร การใช้กระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ / 50 เฮิรตซ์ (Lucky Star Universal Co., Ltd, LS-3125C, Thailand) แสดงในรูปที่ 3.2 ภายในห้องเก็บมีอุณหภูมิ 8 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ $76 \pm 1\%$ RH แสดงรายละเอียดในภาคผนวก จ รูปที่ จ.4 และ จ.5 ตามลำดับ

– อุณหภูมิห้อง : เก็บข้าวเปลือกภายในห้องบุงนวนที่ปิดสนิทและทึบแสง และมีเครื่องควบคุมความชื้น (Inovent Products Co., Ltd, DR-502, Thailand) แสดงในรูปที่ 3.3 ภายในห้องเก็บมีอุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ $58 \pm 4\%$ RH แสดงรายละเอียดในภาคผนวก จ รูปที่ จ.4 และ จ.5 ตามลำดับ

- อุณหภูมิสูง : เก็บข้าวเปลือกภายในห้องบุงนวนที่ปิดสนิทและทึบแสง โดยมีหลอดอินฟราเรดเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน (ห้างหุ้นส่วนจำกัด สวนหลวง เอ็นจิเนียริ่ง, กรุงเทพมหานคร) แสดงดังรูปที่ 3.4 ภายในห้องเก็บมีอุณหภูมิ 40 ± 3 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ $37 \pm 3\%$ RH แสดงรายละเอียดในภาคผนวก จ รูปที่ จ.4 และ จ.5 ตามลำดับ

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกในทุกๆภาวะ ทำการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของบรรยากาศแวดล้อมภายในห้องเก็บ และบันทึกด้วยเครื่อง temperature and humidity datalogger (Shenzhen Everbest Machinery Industry Co., Ltd, DT-172/172TK, China) แสดงค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ในภาคผนวก จ ดังรูปที่ จ.4 และ จ.5 ตามลำดับ สุ่มข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาตามแผนการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกันตามความถี่ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 หลังจากนั้นผึ่งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิเมล็ดข้าวเท่ากับอุณหภูมิห้อง ก่อนผ่านขั้นตอนการกะเทาะเปลือก ขัดสี และคัดขนาด เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าว กข 10 ต่อไป แสดงในรูปที่ 3.5



ถุงพลาสติกสาน ขนาดบรรจุ 5 กิโลกรัม

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างถุงพลาสติกสานสำหรับบรรจุข้าวเปลือก กข 10



ตู้เย็นสำหรับแช่ตัวอย่าง



ปุ่มควบคุมอุณหภูมิ

รูปที่ 3.2 สถานที่เก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำ 8 องศาเซลเซียส



ห้องเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำ



เครื่องควบคุมความชื้นในอากาศ

รูปที่ 3.3 สถานที่เก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำ 30 องศาเซลเซียส



ห้องเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิสูง



หลอดอินฟราเรด



แผงไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิ

รูปที่ 3.4 สถานที่เก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



เครื่องกะเทาะเปลือก
ชนิด 3 ลูกกลิ้ง



เครื่องขัดสี



เครื่องคัดขนาด

รูปที่ 3.5 ชุดเครื่องมือทดสอบคุณภาพการสีข้าว

ตารางที่ 3.1 แผนการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกที่อุณหภูมิเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

รายการ	ข้าวเหนียว ที่เก็บเกี่ยวใหม่	อุณหภูมิที่เก็บรักษา		
		8°C	30°C	40°C
จำนวนกระสอบข้าวที่แบ่งเก็บรักษา ที่อุณหภูมิต่างๆ	2	12	14	28
ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)	0	12	7	5 (20 สัปดาห์)
ความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ (เดือนต่อครั้ง)	-	2	1	0.25 (1 สัปดาห์)
จำนวนที่สุ่ม (กระสอบต่อครั้ง)	2	2	2	2

3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่

– การเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว โดยการบดตัวอย่างข้าวสารเหนียวด้วยเครื่อง waring blender (Waring Commercial, 8010BU, USA) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh จากนั้นส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีการวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

– การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่ (เดือนที่ 0) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ (2 กระสอบ) ทำการวิเคราะห์ ดังนี้

– การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ด้วยวิธี AOAC (2012) หมายเลข 925.10

– การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ด้วยวิธี compendium of methods for food analysis (2003), p2-9

– การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี In-house method T058 based on AOAC (2012), 991.20 (nitrogen factor = 6.25)

– การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ด้วยวิธี AOAC (2012) หมายเลข 992.06

– การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ด้วยวิธี AOAC (2012) หมายเลข 978.10 และ 962.09

– การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ด้วยวิธี AOAC (2012) หมายเลข 923.03

– ทุกการวิเคราะห์ทำการวัดค่า 2 ซ้ำ ต่อ 1 ซ้ำทำการทดลอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก หัวข้อที่ ก.1 – ก.6

– การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ส่งวิเคราะห์ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร (KAPI) อาคารปฏิบัติการวิจัยกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยวิธีที่ดัดแปลงจาก Gibson และคณะ (1997) และ Takeda และ Hizukuri (1987) วัดค่า 2 ซ้ำ ต่อ 1 ซ้ำทำการทดลอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก หัวข้อที่ ก.7

3.2.3 การศึกษาสมบัติของข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่ และข้าวเหนียวที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ

ดำเนินการศึกษาสมบัติต่างๆ ของข้าวเปลือก ข้าวสาร ข้าวหุงสุก และแป้งข้าว เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีรายละเอียดดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

3.2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติของข้าวเปลือกเหนียว

- วัดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกด้วยเครื่อง grains moisture meter (G-WON Hitech CO., LTD, GMK-303, Seoul, Korea) วัดค่า 2 ซ้ำ ต่อ 1 ซ้ำการทดลอง
- วัดปริมาณข้าวต้นตามวิธีใน มกษ. 4004-2555 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555) เตรียมตัวอย่างโดยการขัดสีในระดับดีพิเศษ โดยใช้เครื่องมือสำหรับการทดสอบคุณภาพการสี (อุสินทวี ลพบุรี, ประเทศไทย) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักร 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องกะเทาะเปลือกชนิด 3 ลูกกลิ้ง เครื่องขัดสี และ เครื่องคัดขนาด วัดค่า 2 ซ้ำ ต่อ 1 ซ้ำการทดลอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.1

3.2.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของข้าวสารเหนียว

- การเตรียมข้าวสารเหนียวเพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ด้วยวิธีที่ระบุในข้อ 3.2.2
- การวิเคราะห์ดัชนีความขาว ทำการวัดตัวอย่างในรูปแบบข้าวสาร (whiteness index) โดยการวัดค่าสีในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดค่าสี (color-different meter) (CR-400 D65 light source; Konica Minolta, Tokyo, Japan) และคำนวณ (อ้างอิงจากวิธีใน Jaiboon และคณะ, 2009) วัดค่า 2 ซ้ำ ต่อ 1 ซ้ำการทดลอง ตามสมการที่ 3.1 (Chen และคณะ 1999) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.2

$$\text{Whiteness index (WI)} = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \dots\dots\dots 3.1$$

3.2.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของข้าวเหนียวหุงสุก

– การเตรียมข้าวเหนียวหุงสุกเพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆ โดยการชั่งข้าวสารเหนียว 1 กรัม แขน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นหาระยะเวลาแช่ข้าวสารเหนียวที่เหมาะสม แสดงรายละเอียดในภาคผนวก จ รูปที่ จ.2 และตารางที่ จ.1 หลังจากครบระยะเวลาแช่ข้าว นำข้าวสารเหนียวห่อใส่ผ้าขาวบางแล้วนำไปนึ่งด้วยหม้อนึ่งไฟฟ้า (Groupeseb, Tefal-VC1016, France) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.3.1

– การวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้มของข้าวสาร (cooking qualities) ดัดแปลงจากวิธีของ Singh และคณะ (2005) วัดค่า 2 ข้อ ต่อ 1 ข้อการทดลอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.3.1 ประกอบด้วย

– ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้ม (minimum cooking time) หมายถึง ระยะเวลาหุงต้มที่ทำให้เมล็ดข้าวสุกที่ไม่มีส่วนขาวขุ่นตรงกลางเมล็ดเมื่อกดข้าวด้วยกระจก และนำเวลาที่ได้ไปใช้ในการหาค่าต่อไปนี้ แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.3.1

– ปริมาณน้ำที่ดูดซับขณะหุงต้ม (water uptake) หมายถึง สัดส่วนโดยน้ำหนักของข้าวที่เพิ่มขึ้นระหว่างทำให้สุกเนื่องจากการดูดซับน้ำ

– ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม (solid loss) หมายถึง สัดส่วนของแข็งในส่วนที่เหลือจากการหุงต้ม รายงานในรูปร้อยละของของแข็งต่อน้ำหนักข้าวสาร

– การขยายปริมาตรของข้าวสุก (volume expansion) หมายถึง สัดส่วนโดยปริมาตรของข้าวสุกต่อปริมาตรข้าวสาร

– การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (texture properties) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) (Texture Technologies Corp, TA-XT plus, UK) ดัดแปลงจากวิธีของ (Park และคณะ, 2001) เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการนึ่งข้าวแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.3.2.1 และทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ texture profile analysis (TPA) โดยใช้หัววัดแบบ P/100 1 ข้อของการทดลอง เตรียมตัวอย่างข้าวหุงสุก 2 ครั้ง แต่แต่ละครั้งของการเตรียมตัวอย่างข้าวสุก วัดค่า 10 ข้อ รวมวัดค่าซ้ำทั้งสิ้น 20 ข้อ ต่อ 1 ข้อของการทดลอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.3.2.2 ประกอบด้วย

– ความแข็ง (hardness) หมายถึง แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม; kg

– ความเหนียวติดกัน (adhesiveness) หมายถึง งานที่จำเป็นในการดึงหัววัด หรือหัวกด หรือฟันออกจากตัวอย่างอาหาร ในกราฟ TPA คือพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่มีค่าเป็นลบของช่วงการกด หรือการเคี้ยวที่ 1 (Area 3) มีหน่วยเป็นแรงคูณด้วยเวลา มีหน่วยเป็น กิโลกรัม.วินาที; kg.s

– ความเหนียวที่ยึดเกาะกัน (cohesiveness) หมายถึง พลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 2 (Area 2) และครั้งที่ 1 (Area 1) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

3.2.3.4 การวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าวเหนียว

– เตรียมแป้งข้าวสารเหนียวเพื่อวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ด้วยวิธีที่ระบุในข้อ 3.2.2

– การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (New port Scientific Instrument & Engineer, RVA-4, Australia) ตามวิธีของ AACC (2000) หมายเลข 61-02.01 วัดค่า 2 ซ้ำ ต่อ 1 ซ้ำการทดลอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.4.1 ประกอบด้วย

– อุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อน (pasting temperature) หมายถึง อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส; °C

– ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) หมายถึง ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด มีหน่วยเป็น ปาสคาล.วินาที; Pa.s

– ความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) หมายถึง หลังจากแป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวเต็มที่แล้ว จะมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้น ความหนืดจะเริ่มลดลง มีหน่วยเป็น ปาสคาล.วินาที; Pa.s

- ความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) หมายถึง ความหนืดที่เมื่อลดอุณหภูมิลงแล้ว ทำให้โมเลกุลอิสระโดยเฉพาะส่วนของแอมิโลสที่กระจัดกระจาย ออกมาสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง มีหน่วยเป็น ปาสคาล.วินาที; Pa.s (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)
- การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin-Elmer, Diamond-DSC, USA) เชื่อมต่อกับโปรแกรม Pyris™ operation software และ purge ด้วยก๊าซไนโตรเจน ตามวิธีของ Tananuwong และ Malila (2011) วัดค่า 2 ชั่วโมง ต่อ 1 ชั่วโมงทดลอง แสดง รายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.4.3 ประกอบด้วย
 - อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลในเซชัน (onset temperature; T_o) มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส; °C
 - อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลในเซชัน (peak temperature; T_p) มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส; °C
 - อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลในเซชัน (conclusion temperature; T_c) มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส; °C
 - เอนทัลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเกิดเจลในเซชัน (enthalpy of gelatinization; ΔH_g) อัตราส่วนของจุลต่อกรัมตัวอย่าง; J/g
- การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่สกัด จากข้าว ด้วยวิธี SDS-PAGE โดยการแยกด้วยกระแสไฟฟ้าบนเจลอะคริลาไมด์ที่มี sodium dodecyl sulfate เป็นส่วนประกอบ (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE) ศึกษาแบบ 1 มิติ โดยดัดแปลงวิธีจากของ Laemmli (1970) และ Iida และคณะ (1993) โดยใช้เครื่อง OmniPAGE electrophoresis (Clever Scientific Ltd, CVS10 DSYS, UK) และ power supply (Major Science, MS300V, USA) ทดลองที่ 300 V และ 20 มิลลิแอมแปร์ต่อ 1 เจล โดยใช้เจล SDS-PAGE ที่มีความเข้มข้นของ separating gel และ stacking gel 10% และ 4% ตามลำดับ และใช้ Perfect protein™ markers, 10-225 kDa (Navogen®, Merck Millipore, USA) เป็นโปรตีนมาตรฐาน ประมวลผลข้อมูลจากแถบโปรตีนที่แยกได้โดยใช้เครื่อง Gel

documentation (Syngene InGeniusL, UK) บันทึกรูปแบบเจลด้วยโปรแกรม GeneSnap และวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของแต่ละแถบโปรตีนด้วยโปรแกรม Genetools วัตถุประสงค์ 2 ข้อ ต่อ 1 ข้อ การทดลอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข หัวข้อที่ ข.4.4

3.2.4 การวางแผนทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Cochran และ Cox, 1957) ดังนี้

– การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูลจากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ระยะเวลาเก็บรักษาแตกต่างกัน ทำการทดลองตัวอย่างละ 2 ข้อ สำหรับการวิเคราะห์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (IBM SPSS Statistics Version 22, IBM Corporation, USA) ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized design; CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบ One-Way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง และมีปัจจัยในการทดลอง ดังนี้

- 1) อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเก็บรักษา 12 เดือน
- 2) อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเก็บรักษา 7 เดือน
- 3) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเก็บรักษา 5 เดือน

– การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูลจากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของข้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน ทำการทดลองตัวอย่างละ 2 ข้อ สำหรับการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (IBM SPSS Statistics Version 22, IBM Corporation, USA) ออกแบบการทดลองแบบ 3x2 factorial in CRD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง และมีปัจจัยในการทดลองดังนี้

- 1) อุณหภูมิในการเก็บรักษาข้าว 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส)
- 2) ระยะเวลาในการเก็บรักษา 2 ระดับ (2 และ 4 เดือน)

– การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการทดลองตัวอย่างละ 2 ซ้ำสำหรับทุกการวิเคราะห์ แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค

3.2.5 การหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิกคอล

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวที่เก็บรักษาอุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกันมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (IBM SPSS Statistics Version 22, IBM Corporation, USA) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

3.2.6 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้จากข้อ 3.2.3 โดยใช้ zeroth order kinetics model ตามสมการที่ 2.6 และ first order kinetics model ตามสมการที่ 2.15 และสร้าง Arrhenius plot ตามสมการที่ 2.22 ของค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจาก zeroth และ first order kinetics model แสดงรายละเอียดของสมการในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.9 (Chang, 2002; Tiwari และคณะ 2009)

3.2.7 การจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวที่เก็บรักษาอุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกันมาจัดกลุ่มตัวแปรด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis; PCA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (IBM SPSS Statistics Version 22, IBM Corporation, USA) เพื่อรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มของตัวแปรองค์ประกอบหลัก (PC) เดียวกัน จากนั้นจึงจำแนกกลุ่มตัวอย่างด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียว กข 10 ที่เก็บเกี่ยวใหม่

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียว กข 10 ที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใยหยาบ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณแอมิโลส เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีระหว่างข้าวเหนียว กข 10 ที่ได้จากการวิเคราะห์กับข้าวเหนียว กข 10 จากแหล่งอื่น ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียว

องค์ประกอบทางเคมี	ข้าวเหนียว กข 10 ^(A) จากการวิเคราะห์	ข้าวเหนียว กข 10 (กองพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว, 2559)	ข้าวเหนียว กข 6 ^(B) (ปีพมา เล้าประเสริฐ, 2552)
ความชื้น (% w.b.)	13.10 ± 0.30	12.29	14.66 ± 1.95
โปรตีน (% d.b.)	9.29 ± 0.21	5.11	6.87 ± 0.12
ไขมัน (% d.b.)	0.89 ± 0.08	0.70	0.61 ± 0.02
เถ้า (% d.b.)	0.48 ± 0.06	0.40	1.22 ± 0.15
เส้นใยหยาบ (% d.b.)	0.44 ± 0.10	1.08	—
คาร์โบไฮเดรต (% d.b.)	88.90 ± 0.24	81.51	—
แอมิโลส (% ในแป้งข้าวที่ ผ่านการกำจัดไขมัน)	7.37 ± 0.09	6.0 – 6.5	5.11 ± 0.13

^A ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข้าวเหนียว กข 10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ส่วนใหญ่มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับข้าวเหนียว กข 10 จากแหล่งอื่น จากงานวิจัยนี้ข้าวเหนียว กข 10 มีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าข้าวเหนียว กข 10 อ้างอิงจากกองพัฒนาผลิตภัณฑ์ (2559) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีระหว่างข้าวเหนียว กข 10 กับข้าวเหนียว กข 6 (ปีพมา เล้าประเสริฐ, 2552)

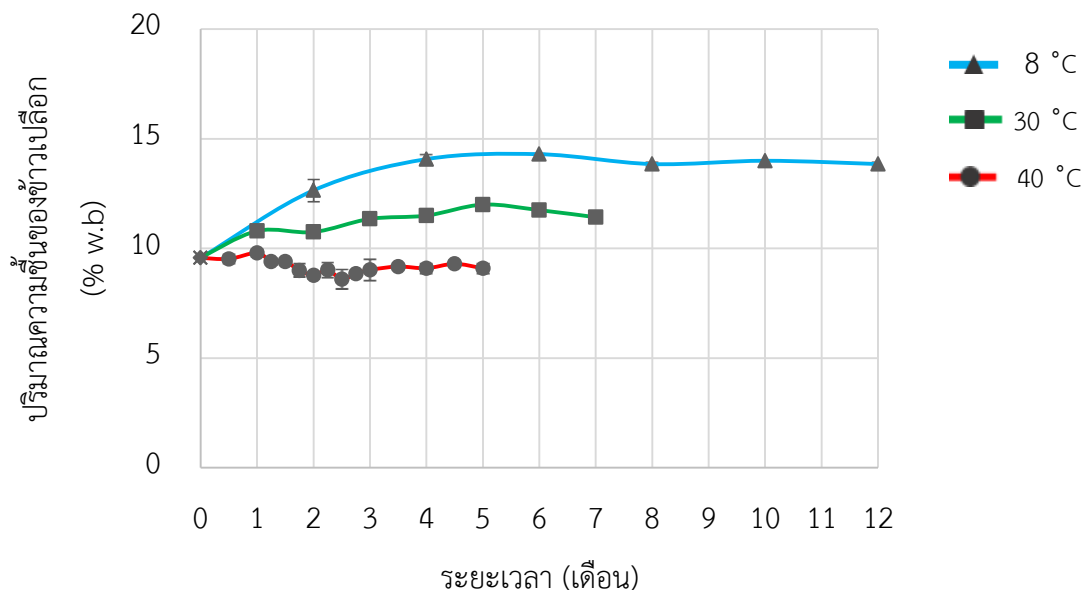
พบว่า ข้าวเหนียว กข 10 มีปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และปริมาณแอมิโลส สูงกว่าข้าวเหนียว กข 6 แต่มีปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าต่ำกว่าข้าวเหนียว กข 6 เกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์มีความแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยด้านสายพันธุ์ของข้าว ภาวะการเพาะปลูก ฤดูกาลเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปข้าว เช่น การกะเทาะเปลือก การขัดสี เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

4.2 สมบัติของข้าวเปลือก

ในการทดลองนี้ใช้ ข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวไม่เกิน 1 เดือน หลังจากฤดูกาลเก็บเกี่ยว นำข้าวเปลือกมาลดความชื้นให้เหลือไม่เกิน 14% โดยน้ำหนักเปียก เพื่อให้ได้ข้าวเปลือกเหนียวที่มีคุณภาพดี การตรวจสอบคุณภาพของข้าวเปลือกทำโดยการนำข้าวเปลือกมาทดลองสีเพื่อประเมินปริมาณแกลบ รำ ข้าวสารเต็มเมล็ด ข้าวตัน ข้าวหัก และวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณข้าวตัน เพราะเป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินราคาข้าวเปลือก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) และมักใช้เป็นค่าในการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวเปลือกในระหว่างการเก็บรักษา

4.2.1 ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก

จากการทดลองหาปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน และ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 เดือน มีความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 9.6 เป็น 13.9 และ 11.4% โดยน้ำหนักเปียก ตามลำดับ โดยความชื้นในระหว่างเก็บที่สองอุณหภูมิดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 5 เดือน ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงจาก 9.6 เป็น 9.1% โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งเป็นการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1.1 – 1.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นของข้าวเปลือกในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.1 และแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความชื้นของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา มีผลต่อปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1.4

ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์ (2541) พบว่า ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (37 องศาเซลเซียส) ลดลงมากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ (25 องศาเซลเซียส) การเก็บที่อุณหภูมิสูงมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ a_w ภายในเมล็ดข้าวลดลงตามความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เนื่องการเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงจะเกี่ยวข้องกับทั้งการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อน (drying force) จะเกิดการถ่ายเทของน้ำที่มีอยู่ในอาหาร (a_w) จากความดันไอสูงไปสู่ความดันไอต่ำของอากาศแวดล้อม ในระหว่างการเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ขึ้นมากมาย ผลของอุณหภูมิสูงทำให้ความชื้นที่อยู่บนพื้นผิวของเมล็ดข้าวระเหยได้เร็วขึ้น เมล็ดข้าวจึงมีปริมาณความชื้นลดลง (Wimberly, 1983)

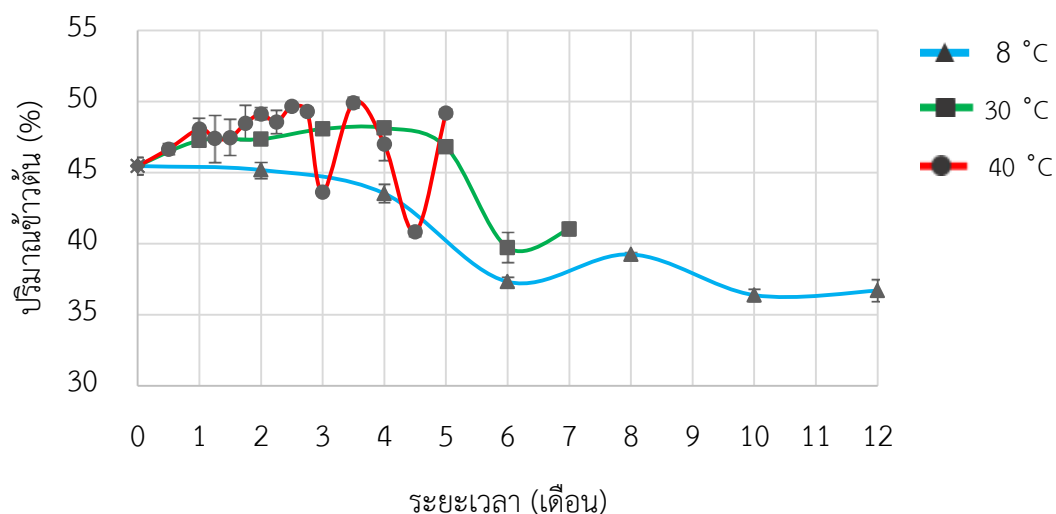
จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 8 และ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บข้าวเปลือกนานขึ้น แต่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 14% w.b ตามมาตรฐานข้าวเปลือกที่กำหนดไว้ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

, 2555) และได้มีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเก็บตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 3 ระดับ แสดงรายละเอียดในภาคผนวก จ รูปที่ จ.4 และ จ.5 ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพบรรยากาศและฤดูกาลในระหว่างการเก็บรักษา (Dhaliwal และคณะ, 1991)

4.2.2 ปริมาณข้าวต้น

การตรวจสอบคุณภาพการสีจะกระทำได้เมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นไม่เกิน 14% โดยน้ำหนักเปียก และทำการขัดสีข้าวเปลือกเพื่อหาปริมาณข้าวต้น (head rice yield) (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555) ปริมาณข้าวต้นเป็นตัวแปรในการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการสีในระหว่างการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน จากการวิจัย พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 5 เดือน มีปริมาณข้าวต้นเพิ่มขึ้นอย่าง มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จาก 45.5 เป็น 49.2% แต่เมื่อเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน และ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 เดือน ปริมาณข้าวต้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 45.5 เป็น 36.7 และ 41.0% ตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ค.1.1 – 1.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณข้าวต้นในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.2 และแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณข้าวต้น ดังรูปที่ 4.2

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณข้าวต้นของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อปริมาณข้าวต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1.4



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณข้าวต้นของข้าวเหนียวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พัสกร เจียตระกูล และคณะ (2546) ศึกษาการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณข้าวต้นมากกว่าเก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส คณะนักวิจัยรายงานว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงทำให้การเคลื่อนที่ขององค์ประกอบภายในเกิดได้ดีกว่าจึงส่งผลให้โครงสร้างของเมล็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวจับตัวกันได้ดีขึ้น เมล็ดข้าวมีลักษณะแข็งและแกร่ง เมื่อนำไปสีข้าวจึงทนต่อแรงกระแทกได้ดี น้ำภายในเมล็ดข้าว (a_w) เป็นตัวกลางสำคัญที่ทำให้การเคลื่อนที่ของสารตั้งต้นต่างๆ เช่น สตาร์ช โปรตีน และไขมัน เป็นต้น ภายในเมล็ดข้าวเกิดอันตรกิริยาร่วมกันได้ดี การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูง ทำให้เร่งอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบภายใน (สตาร์ช โปรตีน และไขมัน) ได้ดีกว่าจึงส่งผลให้โครงสร้างของเมล็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวจับตัวกันได้ดีขึ้น เมล็ดข้าวมีลักษณะแข็งและแกร่ง ในขณะที่เดียวกันโปรตีนในเมล็ดข้าวก็เกิดการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างสายของโปรตีน ส่งผลให้โครงสร้างของเมล็ดแป้งมีความแข็งแรง เมล็ดข้าวแกร่งขึ้น (Zhou และคณะ, 2002) ดังนั้นเมื่อกะเทาะ และขัดสีข้าวเปลือก จึงทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทำให้มีปริมาณข้าวต้นเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง

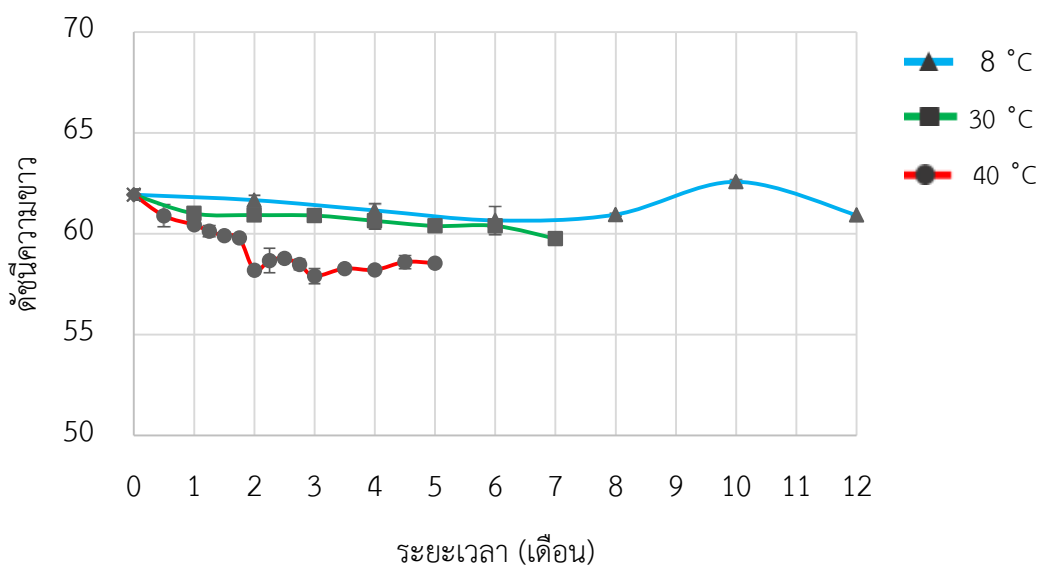
นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกและปริมาณข้าวต้น จากงานวิจัยนี้ พบว่า เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูง (30 และ 40 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ความชื้นของข้าวเปลือกลดลง เมื่อนำข้าวเปลือกเหนียวไปสีจะได้ปริมาณข้าวต้นมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (8 องศาเซลเซียส) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ปริมาณข้าวต้นลดลงเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ปริมาณข้าวต้นลดลงเดือนที่ 6 ของการเก็บรักษา ส่วนการเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นของข้าวเปลือกลดลง ปริมาณข้าวต้นเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บนานขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปัทมา เล้าประเสริฐ (2552) พบว่า เมื่อเก็บข้าวเหนียว กข 6 นาน 6 เดือน ข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 20 และอุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าลดลงตามลำดับ ส่งผลให้ปริมาณข้าวต้นที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเก็บในกระสอบ พบว่า ความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณข้าวต้นที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าความชื้นของข้าวเปลือกมีผลต่อความแกร่งของเมล็ดข้าวขณะสี ความชื้นของข้าวเปลือกต่ำจะได้ปริมาณข้าวต้นสูง ทำให้มีปริมาณข้าวหักลดลง

4.3 สมบัติของข้าวสาร

สมบัติของข้าวสารในที่นี้ หมายถึง ความขาวของข้าวสารที่ตรวจวัดได้ จากนั้นคำนวณให้ได้ค่าดัชนีความขาวจากการสมการ whiteness index (Chen และคณะ 1999) ความขาวของข้าวสารเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของข้าว และเป็นการวิเคราะห์ทางกายภาพเท่านั้น โดยทั่วไปค่าความขาวของข้าวสารเหนียวควรมีค่าไม่น้อยกว่า 46 หน่วย จึงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Unnevehr และคณะ 1992) ความขาวของข้าวสารขึ้นกับพันธุ์ข้าว องค์ประกอบทางเคมี สถานที่ปลูก ระดับการขัดสี และภาวะการเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา เป็นต้น

4.3.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดัชนีความขาวของข้าวสาร

จากการทดลองดัชนีความขาวของข้าวสาร (whiteness index) พบว่า ดัชนีความขาวของข้าวสาร (whiteness index) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 61.9 เป็น 60.9 59.8 และ 58.6 เมื่อเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือนตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1.1 – 1.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาวของข้าวสารในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.3 และแสดงการเปลี่ยนแปลงดัชนีความขาวของข้าวสาร ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงดัชนีความหวานของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนีความหวานของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8, 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลา การเก็บรักษาข้าว มีผลต่อดัชนีความหวานของข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1.4

ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park และคณะ (2012) ที่พบว่า ค่าดัชนีความหวานของข้าวสารจาปอนิกาในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน ที่บรรจุถุงพอลิเอทิลีน การเก็บข้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกันทำให้ข้าวสารมีค่าความหวานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาข้าวนานขึ้นข้าวมีสีคล้ำหรือมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น และการเก็บข้าวที่อุณหภูมิสูง (30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความหวานลดลงมากกว่าการเก็บข้าวที่อุณหภูมิต่ำ (4 และ 20 องศาเซลเซียส) การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวสารเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่เอนไซม์ (non-enzymatic browning) โดยหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าว และทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนของกรดอะมิโนและโปรตีนในข้าวได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2557) การเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงนั้น ความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นจะเร่งให้ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดได้เร็วขึ้น

4.4 สมบัติของข้าวหุงสุก

สมบัติของข้าวสุก หมายถึง คุณภาพของข้าวในระหว่างการหุงต้ม ได้แก่ ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้ม การดูดซับน้ำ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม และการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก เป็นต้น และลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏของข้าวหุงสุก ได้แก่ ความแข็ง ความเหนียวติดกัน และความเหนียวที่เกาะติดกันของข้าวหุงสุก สามารถใช้เป็นค่าในการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติของข้าวสุก ดังนี้

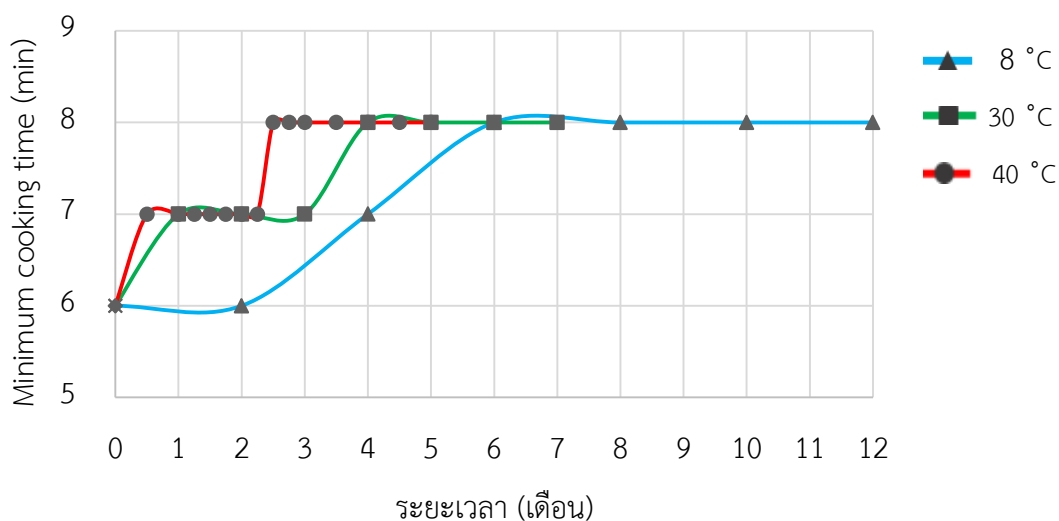
4.4.1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้ม

จากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้มซึ่งมีค่าต่างๆที่ใช้ติดตามผลคุณภาพการหุงต้มในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ ระยะเวลาการหุงต้มที่น้อยที่สุด (minimum cooking time) การดูดซับน้ำ (water uptake) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม (solid loss) และการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก (volume expansion) ดังนี้

- ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้ม

จากการทดลองระยะเวลาการหุงต้มที่น้อยที่สุด พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จาก 6 เป็น 8 นาที ในเดือนที่ 6 4 และ 2.5 เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องใช้เวลาในการหุงนานขึ้นหากต้องการหุงต้มข้าวเหนียวเก่าเก็บให้สุกเต็มที่ โดยข้าวเหนียวที่เก่าเก็บที่อุณหภูมิสูงกว่ามีระยะเวลาการหุงต้มที่น้อยที่สุดเพิ่มขึ้นเร็วกว่า แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2.1 – 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.4 และแสดงการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้ม ดังรูปที่ 4.4

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2.4

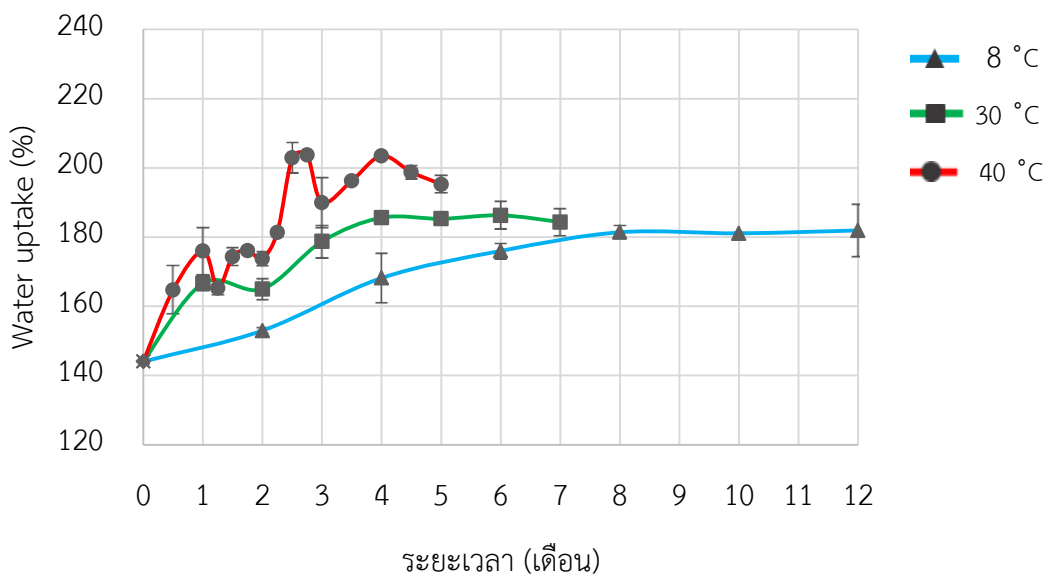


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาของการหุงต้มข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

- การดูดซับน้ำ

จากการทดลองค่าการดูดซับน้ำของข้าว พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 144.0 เป็น 181.9 184.3 และ 195.3% ตามลำดับ เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2.1 – 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับน้ำของข้าวในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.5 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับน้ำของข้าว ดังรูปที่ 4.5

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อการดูดซับน้ำของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2.4

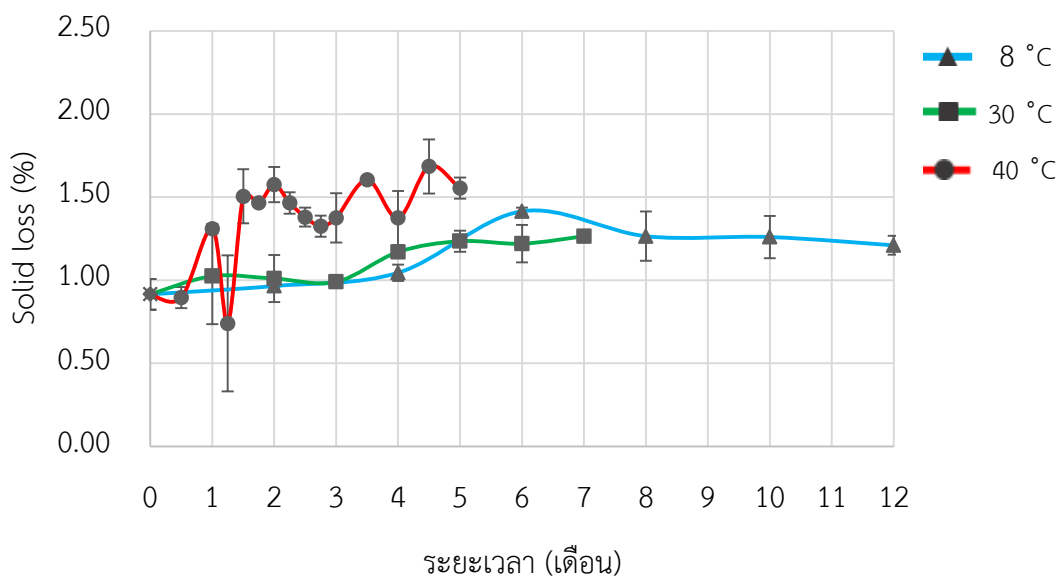


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงการดูดซับน้ำของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

- ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม

จากการทดลองปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 0.9 เป็น 1.4 และ 1.7% ตามลำดับ เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน และ 40 องศาเซลเซียส นาน 5 เดือน ตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จาก 0.9 เป็น 1.3% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 เดือน แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2.1 – 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.6 และแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม ดังรูปที่ 4.6

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2.4

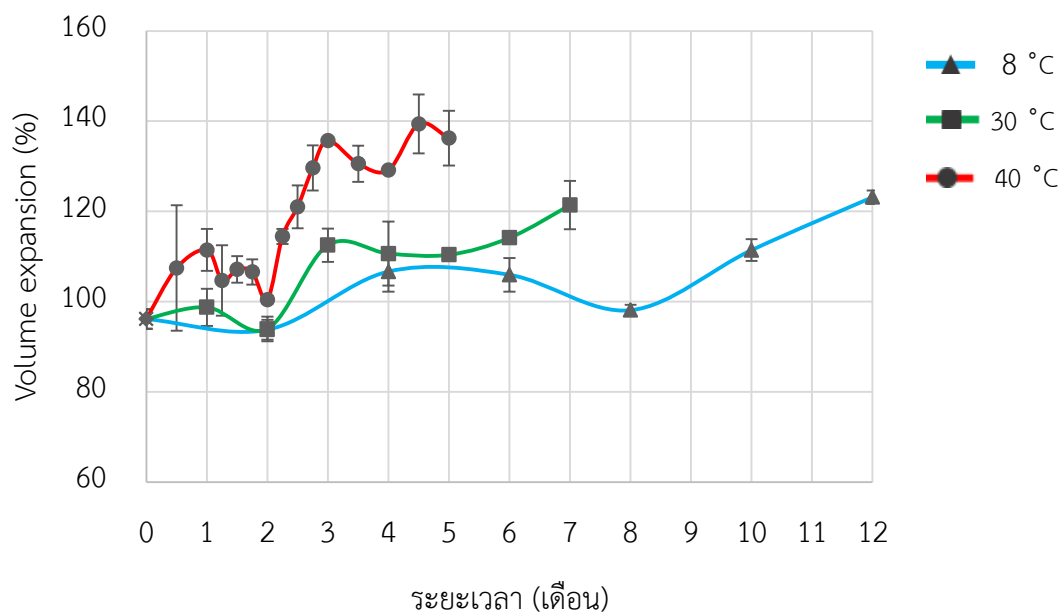


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ และระยะเวลาแตกต่างกัน

- การขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก

จากการทดลองการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก (volume expansion) พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 96.1 เป็น 123.2 121.4 และ 136.3% ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2.1 – 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.7 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก ดังรูปที่ 4.7

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2.4



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มมีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaminski และคณะ (2013) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มของข้าว BR-IRGA 410 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0.5 20 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานและนำข้าวมาหุงสุกจะมีผลให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำและขยายขนาดเพิ่มขึ้น การเก็บข้าวที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณความชื้นภายในเมล็ดข้าวลดลง เมื่อนำข้าวมาหุงสุกทำให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำและขยายตัวได้มากกว่าการเก็บข้าวที่อุณหภูมิต่ำ (ปีพมา เล้าประเสริฐ, 2552) การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับน้ำมีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soponronnarit และคณะ (2008) พบว่า การหุงต้มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หลังจากการเก็บรักษาข้าวที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน เก็บนาน 6 เดือน มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บข้าวนานขึ้น เมื่อทดลองหาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มในงานวิจัยนี้ เกิดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการหุงต้มที่เพิ่มมากขึ้นตามที่รายงานไปก่อนหน้านี้ ทำให้ผลการทดลองขัดแย้งกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษาในข้าวเจ้า เช่น งานวิจัยของ Soponronnarit และคณะ

(2008) พบว่า การหุงต้มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หลังจากการเก็บรักษาข้าวที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน เก็บนาน 6 เดือน มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มลดลงเมื่อเก็บรักษาข้าวนานขึ้น ซึ่งในการทดลองดังกล่าวมีการใช้เวลาในการหุงต้มที่คงที่ ข้าวไม่ได้ถูกทำให้สุกที่ระยะเวลาการหุงต้มน้อยที่สุดของข้าวที่ช่วงเวลาเก็บนั้นๆ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มจึงลดต่ำลง การเปลี่ยนแปลงค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaminski และคณะ (2013) พบว่า ข้าว BR-IRGA 410 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0.5 20 และ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า มีการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาเก็บนานขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soponronnarit และคณะ (2008) พบว่า การหุงต้มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หลังจากการเก็บรักษาข้าวที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน นาน 6 เดือน มีการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกเพิ่มขึ้น

ผลการทดลองมีแนวโน้มเป็นเช่นนี้เนื่องจากโปรตีนในเมล็ดข้าวก็เกิดการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างสายของโปรตีน ส่งผลให้โครงสร้างของเมล็ดแข็งมีความแข็งแรง (Zhou และคณะ, 2002) ดังนั้นเมื่อทำการหุงต้มข้าวน้ำจึงซึมผ่านเข้าไปภายในเมล็ดข้าวได้ยากขึ้น เนื่องจากพันธะไดซัลไฟด์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้องเพิ่มระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้นเพื่อให้ข้าวสุก เนื่องจากข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาเก็บนานทำให้ความชื้นภายในเมล็ดข้าวลดลง เมื่อนำข้าวสารมาหุงสุกมีผลทำให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำได้ดีและขยายขนาดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ข้าวหุงขึ้นหม้อได้ดีมากกว่าการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิต่ำ (ปัทมา เล้าประเสริฐ, 2552) ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soponronnarit และคณะ (2008) พบว่า การหุงต้มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หลังจากการเก็บรักษาข้าวที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน เก็บนาน 6 เดือน มีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บข้าวานานขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มในการทดลองนี้เกิดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มที่เพิ่มมากขึ้นตามที่ได้รายงานในผลการทดลองก่อนหน้านี้ ทำให้ผลการทดลองไม่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ศึกษาในข้าวเจ้า เช่น งานวิจัยของ Soponronnarit และคณะ (2008) พบว่า การหุงต้มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หลังจากการเก็บรักษาข้าวที่ช่วงเวลาแตกต่างกัน เก็บนาน 6 เดือน มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มลดลงเมื่อเก็บรักษาข้าวานานขึ้น ซึ่งในการทดลองดังกล่าวมีการใช้เวลาในการหุงต้มที่คงที่ ข้าวไม่ได้ถูกทำให้สุกที่ระยะเวลาการหุงต้มที่น้อยที่สุดของข้าวที่ช่วงเวลาเก็บนั้นๆ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มจึงลดต่ำลง

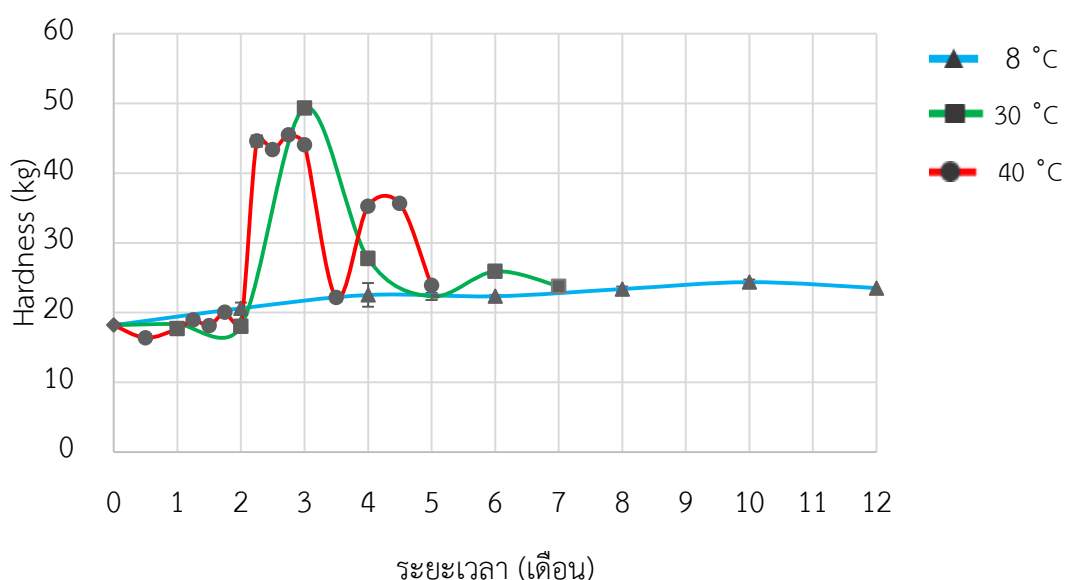
4.4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกในการทดลองนี้ทดสอบแบบ texture profile analyzer (TPA) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ ซึ่งมีค่าต่างๆที่ใช้

ติดตามผลลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความแข็งของข้าวหุงสุก (hardness) ความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุก (adhesiveness) ความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุก (cohesiveness) ดังนี้

- ความแข็งของข้าวหุงสุก

จากการทดลองความแข็งของข้าวหุงสุก พบว่า เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ ค่าความแข็งของข้าวหุงสุกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 18.2 เป็น 23.5 23.8 และ 23.9 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยข้าวเหนียวที่เก็บที่ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 2-5 เดือนมีความแข็งเพิ่มขึ้นมากที่สุด ก่อนที่จะลดลงในช่วงท้ายของการเก็บ ส่วนข้าวเหนียวที่เก็บที่ 8 องศาเซลเซียส ไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งดังกล่าว แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.3.1 – 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของข้าวหุงสุกในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.8 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของข้าวหุงสุก ดังรูปที่ 4.8

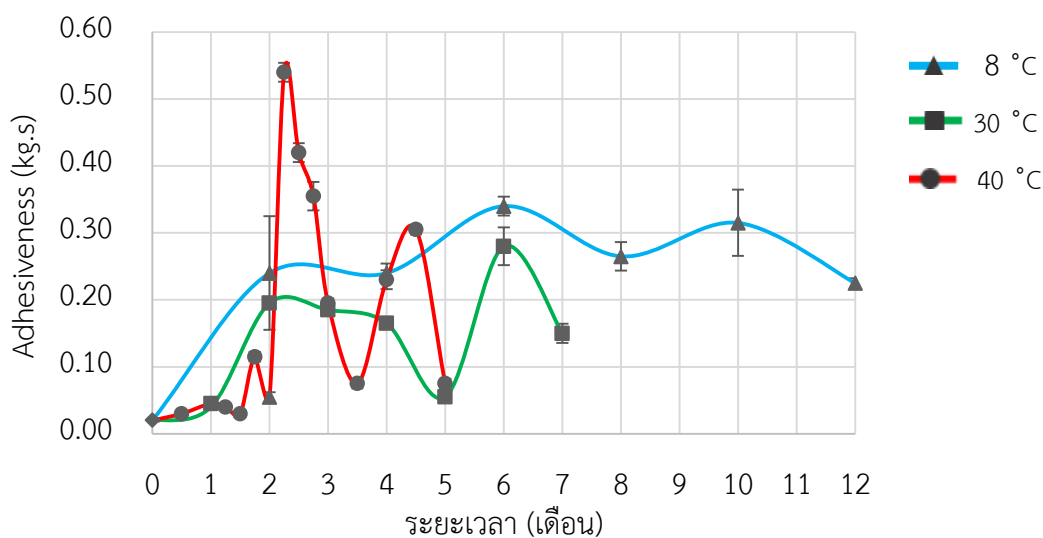


รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของข้าวหุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความแข็งของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อความแข็งของข้าวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.3.4

- ความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุก

จากการทดลองค่าความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุก พบว่า เมื่อเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ ค่าความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 0.02 เป็น 0.23 0.15 และ 0.08 kg.s ตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.3.1 – 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.9 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุก ดังรูปที่ 4.9

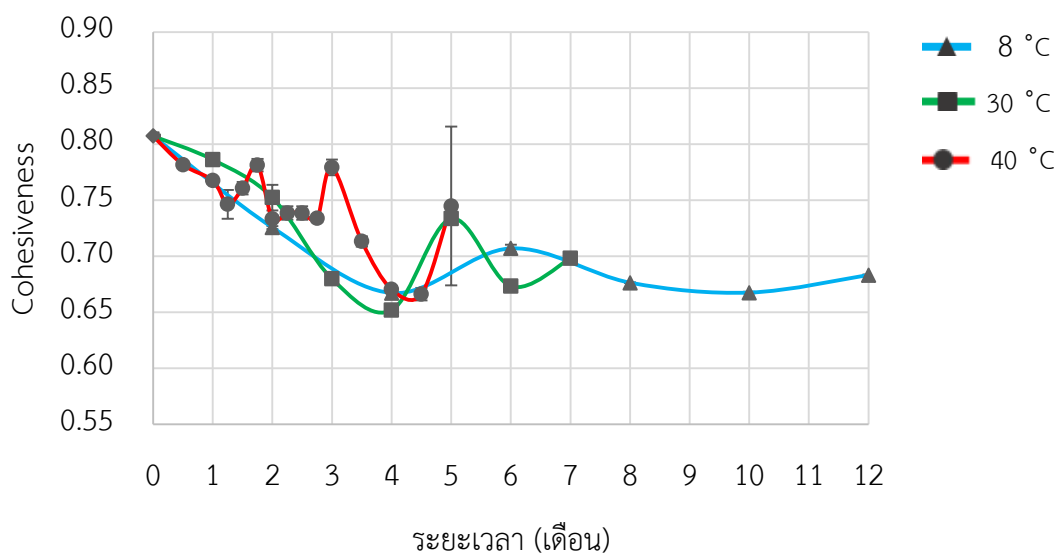


รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเหนียวติดกันของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.3.4

- ความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุก

จากการทดลองค่าความเหนียวที่ยึดเกาะกันของตัวอย่าง พบว่า เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ค่าความเกาะติดกันของข้าวหุงสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 0.81 เป็น 0.68 0.70 และ 0.74 ตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.3.1 – 3.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุกในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.10 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุกดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเหนียวที่ยึดเกาะกันของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีผลต่อความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุกอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อความเหนียวที่ยึดเกาะกันของข้าวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.3.4

จากผลการทดลองลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวหุงสุกในงานวิจัยนี้ พบว่า ค่าความแข็ง (hardness) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเก่าของข้าว การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวหุงสุกในงานวิจัยนี้มีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park และคณะ (2012) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสารจาปอนิกา ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน ที่บรรจุถุงพอลิเอทิลีน พบว่าการเก็บข้าวสารจาปอนิกาที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส) มีค่าความแข็งของข้าวหุงสุกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนโอริเซินที่เชื่อมกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์มากขึ้นเมื่อเก็บข้าวนานขึ้น และเมื่อนำข้าวเก่ามาทำการหุงต้ม ข้าวจะเกิดการพองตัวได้น้อยลงจึงเกิดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวที่มีความแข็ง การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ของข้าวเหนียวหุงสุกมีผลการทดลองแตกต่างจากที่พบในรายงานการศึกษาความเก่าของข้าวเจ้าโดยทั่วไปซึ่งมักจะพบว่า ความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกมีค่าลดลงเมื่อเก็บนานขึ้นหรือเมื่อข้าวมีความเก่ามากขึ้น จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่า ค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกันตามระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้ม (minimum cooking time) ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะให้ผลตรงกันข้ามกับงานวิจัยอื่นๆ ก่อนหน้านี้ที่ควบคุมระยะเวลาหุงสุกคงที่ การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวที่เกาะติดกัน (cohesiveness) ของข้าวเหนียวหุงสุก มีค่าลดลงตามความเก่าของข้าว เนื่องมาจากโปรตีนโอริเซินจับกับสตาร์ชลดลง ส่งผลให้ข้าวเหนียวมีความเหนียวที่เกาะติดกันน้อยลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ในระหว่างการเก็บรักษา เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีน (Juliano, 1985) พันธะไดซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะไปเพิ่มความแข็งแรงให้กับเม็ดแป้งในเมล็ดข้าว ทำให้ขัดขวางการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้ม ส่งผลให้ข้าวหุงสุกจึงมีความแข็งเพิ่มขึ้น มีความเหนียวนุ่มลดลง (Wiset และคณะ 2011) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของ RVA พบว่า อุณหภูมิสูงและระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ทำให้ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นระหว่างการทำให้เย็น (setback) เพิ่มขึ้น

4.6 สมบัติของแป้งข้าว

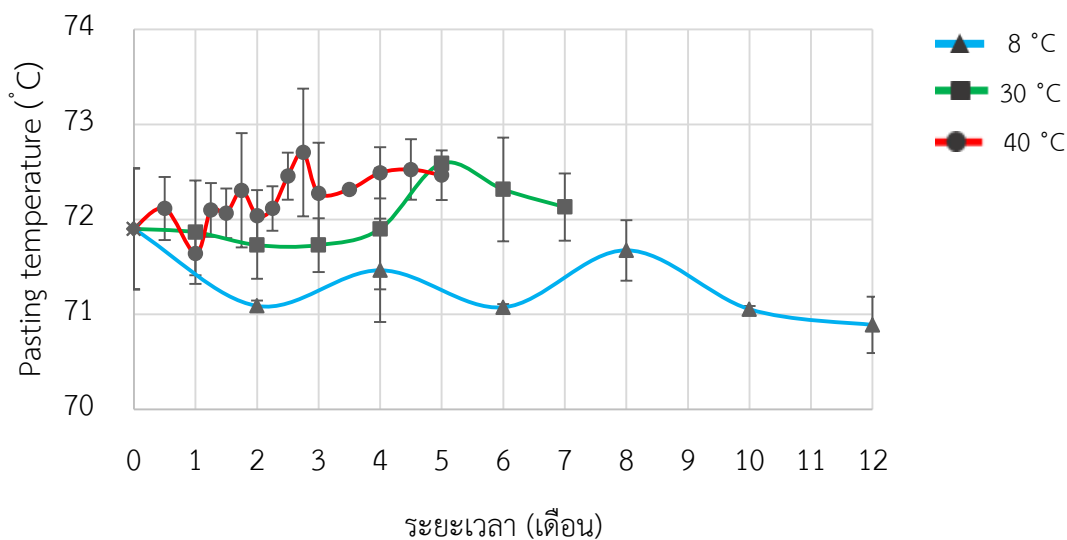
4.6.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว

สมบัติด้านการเกิดเพสต์เป็นสมบัติหนึ่งที่สำคัญของแป้งข้าวที่ใช้ติดตามผลการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางความหนืด เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของแป้งข้าวซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในระหว่างการเก็บรักษา การวิเคราะห์สมบัติด้านการเกิดเพสต์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินและติดตามสมบัติด้านการเกิดเพสต์ในขณะที่ยังได้รับความร้อน รวมถึงความคงตัวของสารละลายแป้งเมื่อเริ่มให้ความเย็น ซึ่งค่าที่ใช้ในการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวที่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาแตกต่างกัน ได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) และความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) ดังนี้

- อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด

จากการศึกษาอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 71.9 เป็น 72.1 และ 72.5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บรักษาข้าวที่ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน อุณหภูมิลดลงเป็น 70.9 องศาเซลเซียส อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4.1 – 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.11 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ดังรูปที่ 4.11

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีผลต่ออุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวต่ออุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4.4



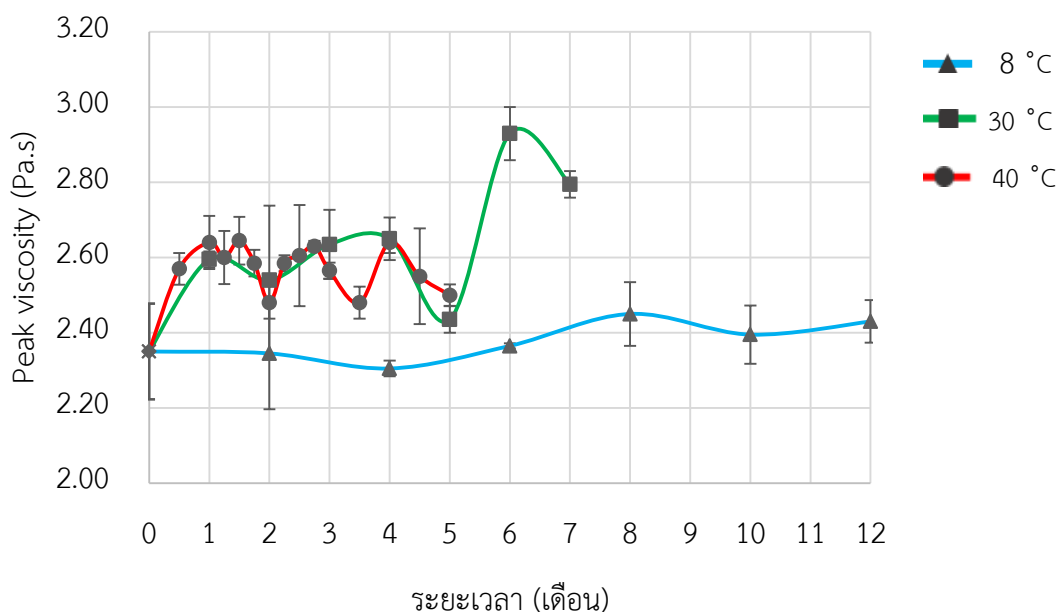
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

- ความหนืดสูงสุด

จากผลการทดลองค่าความหนืดสูงสุดของตัวอย่าง พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 2.35 เป็น 2.79 และ 2.50 Pa.s เมื่อเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ โดยค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนแปลงในช่วงที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จาก 2.35 เป็น 2.43 Pa.s แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4.1 – 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.12 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ดังรูปที่ 4.12

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดสูงสุดของตัวอย่าง (peak viscosity) พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีผลต่อความหนืดสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ผลของระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและ

ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวต่อความหนืดสูงสุดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4.4



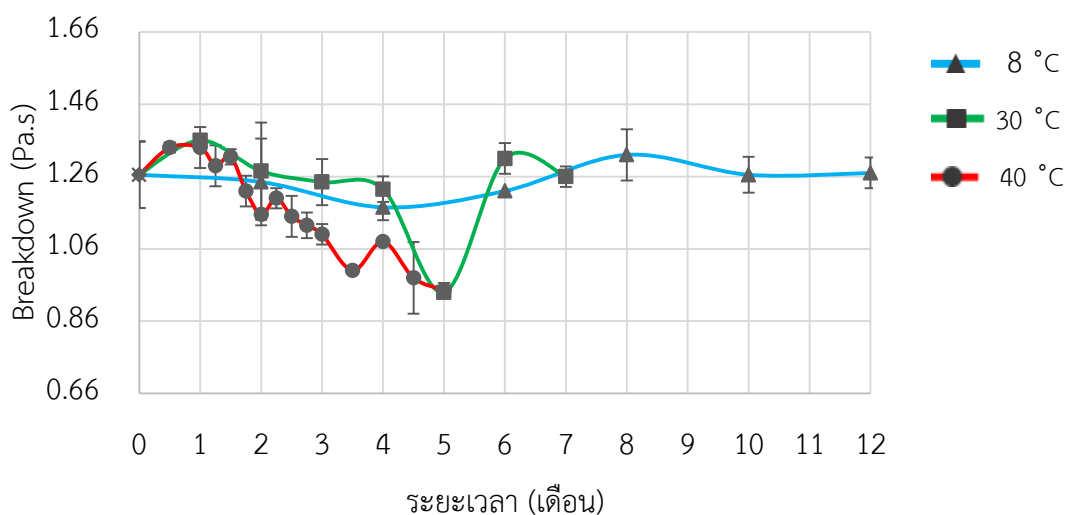
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงสุดของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

- ความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน

จากการทดลองค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) พบว่า ในการทดลองนี้ มีค่าลดลงจาก 1.27 เป็น 1.26 และ 0.94 Pa.s ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.27 Pa.s อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แต่ข้าวที่เก็บรักษาที่ 8 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4.1 – 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.13 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน ดังรูปที่ 4.13

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่าง

อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวมีผลต่อค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4.4

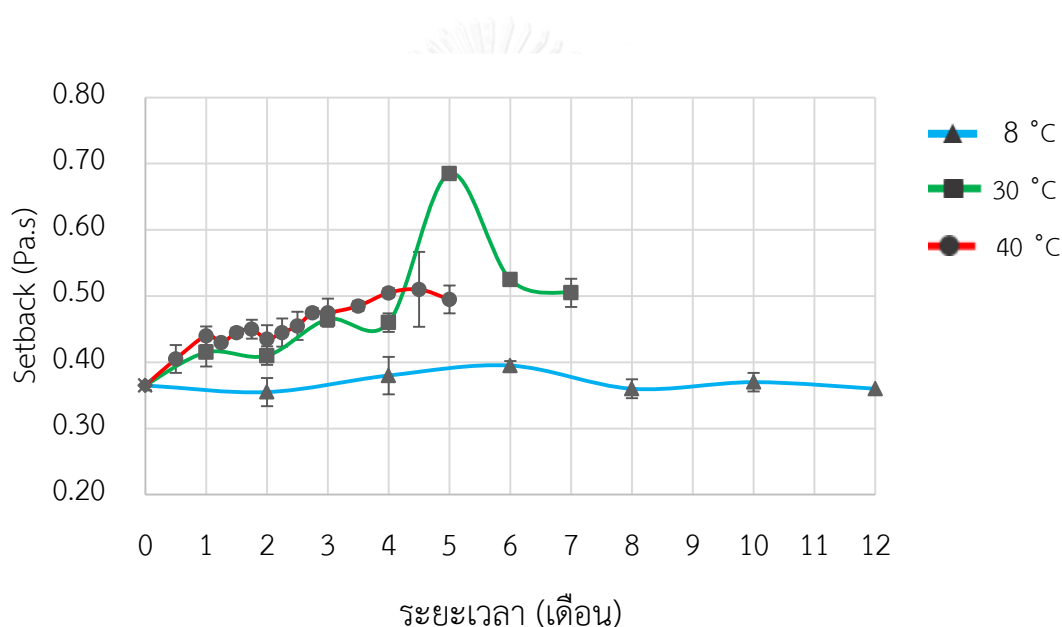


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

- ความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น

จากการทดลองค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จาก 0.363 เป็น 0.503 และ 0.499 Pa.s ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ แต่ที่เก็บรักษาข้าวอุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จาก 0.363 เป็น 0.372 Pa.s แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4.1 – 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.14 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น ดังรูปที่ 4.14

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นของ ตัวอย่าง พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเก็บรักษา (2 และ 4 เดือน) มีผลต่อความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.4.4 ในทำนองเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่า pasting properties อื่นๆ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ อลิษา ชมพูพล้อย และคณะ (2556) และ Park และคณะ (2012)



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ และระยะเวลาแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวในงานวิจัยนี้ พบว่า ผลการทดลอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Park และคณะ (2012) ที่พบว่า การเก็บข้าวสารจากปอนิกาที่อุณหภูมิสูง (20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) และเมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่าความหนืดสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บข้าวครบ 4

เดือน ค่าความหนืดสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาข้าวนานขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีน เม็ดแป้งในเมล็ดข้าวมีการเกาะตัวกันแข็งแรงขึ้น (Zhou และคณะ, 2002) ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวยังคงสภาพเม็ดแป้งอยู่ได้ไม่แตกออกเมื่อได้รับความร้อนและแรงเฉือน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 95 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวในงานวิจัยนี้ พบว่า ผลการทดลองไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ อลิษา ชมพูพล้อย และคณะ (2556) ที่พบว่า ข้าวเหนียว กข 10 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 60 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน โดยข้าวที่เก็บรักษาที่ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดสูงสุดลดลงมากกว่าที่ 4 องศาเซลเซียส และพบว่าเดือนที่ 2 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 60 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้การทดลองดังกล่าวทำภายใต้ภาวะควบคุมที่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ และการเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้นยังอาจส่งผลให้เม็ดแป้งมีการพองตัวลดลงมากจนไม่อาจทำให้เกิดความหนืดได้เท่าเดิม

เมื่อพิจารณาความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนของแป้งข้าวในงานวิจัยนี้ พบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ อลิษา ชมพูพล้อย และคณะ (2556) ที่พบว่า ข้าวเหนียว กข 10 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 60 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนมีแนวโน้มลดลงระหว่างเก็บรักษานาน 6 เดือน โดยข้าวที่เก็บรักษาที่ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดลดลงขณะให้ความร้อนต่ำกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส และพบว่าค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนลดลงเดือนที่ 2 และ 4 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 60 และ 4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park และคณะ (2012) พบว่า อุณหภูมิการเก็บรักษาข้าวสารจาปอนิกานาน 4 เดือน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน โดยการเก็บข้าวสารจาปอนิกาที่อุณหภูมิสูง (30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนมีค่าลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (4 และ 20 องศาเซลเซียส) และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า ค่าความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อนมีค่าลดลงในทุกๆอุณหภูมิการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษานาน 4 เดือน เนื่องจากข้าวสารที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงและทนต่อแรงเฉือนขณะให้ความร้อนได้ดี เพราะระหว่างการเก็บรักษาโครงสร้างของข้าวจะมีความแข็งแรงมากขึ้น

โดยที่ผิวของเม็ดแป้งจะเกิดโครงสร้างร่วมกันระหว่างสตาร์ชกับโปรตีนเกิดเป็นชั้นที่ผิวของเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น (Wiset และคณะ, 2011)

เมื่อพิจารณาความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะให้ความเย็นของแป้งข้าวในงานวิจัยนี้พบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ อลิษา ชมพูพล้อย และคณะ (2556) ที่พบว่า ข้าวเหนียว กข 10 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 60 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างเก็บรักษานาน 6 เดือน โดยข้าวที่เก็บรักษาที่ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะให้ความเย็นสูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park และคณะ (2012) พบว่า อุณหภูมิการเก็บรักษาข้าวสารจาปอนิกานาน 4 เดือน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็น (setback) มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา การเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) ในช่วง 2 เดือนแรก ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นมีค่าลดลง และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเดือนที่ 2 ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (20 30 และ 40 องศาเซลเซียส) มีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นมีค่าสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้เย็นนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีโทรเกรดชัน ซึ่งจะเกิดหลังจากแป้งเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้โมเลกุลของแอมิโลสที่หลุดออกจากแป้ง เมื่ออุณหภูมิลดลงแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะยึดเกาะกันเป็นโครงสร้างที่เป็นเจล (Perez และ Juliano, 1981)

4.6.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว

จากการวิเคราะห์การเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งข้าว ได้แก่ ช่วงอุณหภูมิและพลังงานความร้อนที่ใช้ทำให้แป้งข้าวเกิดเจลาติไนเซชันในภาวะที่มีน้ำมากเกินไป ติดตามการวิเคราะห์โดยเครื่อง DSC ค่าที่วิเคราะห์ได้จาก DSC thermogram คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (onset temperature; T_o) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนเซชัน (peak temperature; T_p) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนเซชัน (conclusion temperature; T_c) และเอนทัลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเกิดเจลาติไนเซชัน (enthalpy of gelatinization; ΔH_g) แสดงผลการทดลองในหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน

จากการทดลองค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (T_o) พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จาก 61.56 เป็น 65.62 และ 63.08 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 30

และ 40 องศาเซลเซียส นาน 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ แต่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน เพิ่มขึ้นจาก 61.56 เป็น 62.84 องศาเซลเซียส อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.5.1 – 5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีโนเซชัน (T_0) ในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.15 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีโนเซชัน (T_0) ดังรูปที่ 4.15

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีโนเซชัน ของตัวอย่าง (T_0) พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาซ้ำมีผลต่ออุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีโนเซชัน (T_0) ระหว่างการทำให้เย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แต่ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาที่มีผลต่ออุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิด เจลลิตีโนเซชัน (T_0) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงรายละเอียดใน ภาคผนวก ง ตารางที่ ง.5.5

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลลิตีโนเซชันของข้าวในระหว่างเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
T_0 (°C)	0	61.56 ± 0.47	0	61.56 ± 0.47 ^d	0	61.56 ± 0.47 ^c
	2	61.88 ± 0.21	1	64.27 ± 0.21 ^b	0.5	62.98 ± 0.07 ^b
	4	63.42 ± 0.28	2	65.41 ± 0.62 ^a	1	62.52 ± 0.13 ^b
	6	62.57 ± 0.95	3	64.09 ± 0.11 ^b	1.5	62.85 ± 0.01 ^b
	12	62.84 ± 1.07	4	61.97 ± 0.30 ^{cd}	2	63.30 ± 0.86 ^b
			5	62.66 ± 0.23 ^c	2.5	63.08 ± 0.07 ^b
			7	65.62 ± 0.76 ^a	3	62.93 ± 0.33 ^b
					4	64.51 ± 0.45 ^a
					5	63.08 ± 0.04 ^b

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

- อุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีโนเซชันสูงสุด

จากการทดลองค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตีโนเซชันสูงสุดของตัวอย่าง (T_p) พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จาก 70.04 เป็น 70.69 °C ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 5 เดือน ตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 8 และ 30 องศาเซลเซียส นาน 12 และ 7 เดือน อุณหภูมิที่

เกิดเจลาตินในเซชันสูงสุด (T_p) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 70.04 เป็น 70.60 และ 71.19 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.5.1 – 5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันสูงสุด (T_p) ในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.16 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันสูงสุด (T_p) ดังรูปที่ 4.16

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันสูงสุดของตัวอย่าง (T_p) พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ผลของระยะเวลาการเก็บรักษา และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาซ้ำมีผลต่อค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันสูงสุดของตัวอย่าง (T_p) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.5.5

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลาตินในเซชันของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย (°C)	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C ^{ns}		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
		ค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อน	ค่าคลาดเคลื่อน		ค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อน	ค่าคลาดเคลื่อน		ค่าเฉลี่ย ± ค่าคลาดเคลื่อน	ค่าคลาดเคลื่อน
T_p	0	70.04 ± 0.23	0.23	0	70.04 ± 0.23	0.23	0	70.04 ± 0.23 ^b	0.23
	2	70.42 ± 0.12	0.12	1	70.17 ± 0.23	0.23	0.5	70.53 ± 0.00 ^a	0.00
	4	70.68 ± 0.23	0.23	2	70.42 ± 0.11	0.11	1	70.52 ± 0.00 ^a	0.00
	6	70.42 ± 0.11	0.11	3	70.69 ± 0.21	0.21	1.5	70.60 ± 0.11 ^a	0.11
	12	70.60 ± 0.59	0.59	4	70.62 ± 0.12	0.12	2	70.78 ± 0.35 ^a	0.35
				5	70.79 ± 0.12	0.12	2.5	70.69 ± 0.02 ^a	0.02
				7	71.19 ± 0.71	0.71	3	70.86 ± 0.01 ^a	0.01
							4	70.68 ± 0.00 ^a	0.00
							5	70.69 ± 0.00 ^a	0.00

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

- อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาตินในเซชัน

จากการทดลองค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาตินในเซชันของตัวอย่าง (T_c) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 76.39 เป็น 75.43 และ 77.90 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C ตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 76.39 เป็น 76.81 องศาเซลเซียส แสดงความ

แปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.5.1 – 5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (T_c) ในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.17 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (T_c) ดังรูปที่ 4.17

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาคีโนเซชันของตัวอย่าง (T_c) พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาคีโนเซชันของตัวอย่าง (T_c) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาซ้ำมีผลต่อค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาคีโนเซชันของตัวอย่าง (T_c) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.5.5

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาคีโนเซชันของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
T_c (°C)	0	76.39 ± 0.76	0	76.39 ± 0.76 ^{ab}	0	76.39 ± 0.76 ^c
	2	77.43 ± 0.01	1	77.38 ± 0.44 ^a	0.5	77.14 ± 0.01 ^{abc}
	4	77.19 ± 0.01	2	76.49 ± 0.25 ^{ab}	1	77.32 ± 0.53 ^{abc}
	6	77.49 ± 0.35	3	76.35 ± 0.72 ^{ab}	1.5	77.11 ± 0.12 ^{abc}
	12	76.81 ± 0.31	4	77.52 ± 0.16 ^a	2	78.10 ± 0.07 ^a
			5	77.39 ± 0.09 ^a	2.5	77.57 ± 0.45 ^{abc}
			7	75.43 ± 0.66 ^b	3	78.00 ± 0.10 ^a
					4	76.90 ± 0.64 ^{bc}
					5	77.90 ± 0.25 ^{ab}

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

- เอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลลาคีโนเซชัน

จากการทดลองค่าเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลลาคีโนเซชัน (ΔH_g) พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จาก 10.74 เป็น 11.40 องศาเซลเซียสที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 7 เดือน ตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 8 และ 30 องศาเซลเซียส นาน 12 และ 5 เดือน พบว่า มีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จาก 10.74 เป็น 9.54 และ 7.45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง

ตารางที่ 5.1 – 5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลาติโนเซชัน (ΔH_g) ในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.18 และแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลาติโนเซชัน (ΔH_g) ดังรูปที่ 4.18

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลาติโนเซชัน (ΔH_g) พบว่า อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) และผลของระยะเวลาการเก็บรักษา มีผลต่อค่าเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลาติโนเซชัน (ΔH_g) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว มีผลต่อค่าเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลาติโนเซชัน (ΔH_g) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค ตารางที่ 5.5

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลาติโนเซชันของข้าว ในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C ^{ns}
ΔH_g (J/g dry flour)	0	10.74 ± 0.16	0	10.74 ± 0.16 ^a	0	10.74 ± 0.16
	2	10.14 ± 0.35	1	11.01 ± 0.39 ^a	0.5	11.06 ± 0.47
	4	9.35 ± 0.56	2	9.22 ± 2.27 ^{ab}	1	11.24 ± 0.21
	6	10.37 ± 0.92	3	9.75 ± 1.20 ^{ab}	1.5	11.03 ± 0.30
	12	9.54 ± 2.38	4	11.72 ± 0.49 ^a	2	11.98 ± 0.51
			5	11.30 ± 0.25 ^a	2.5	10.84 ± 0.49
			7	7.45 ± 0.90 ^b	3	11.04 ± 0.25
					4	10.66 ± 0.49
					5	11.40 ± 0.35

^A อักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

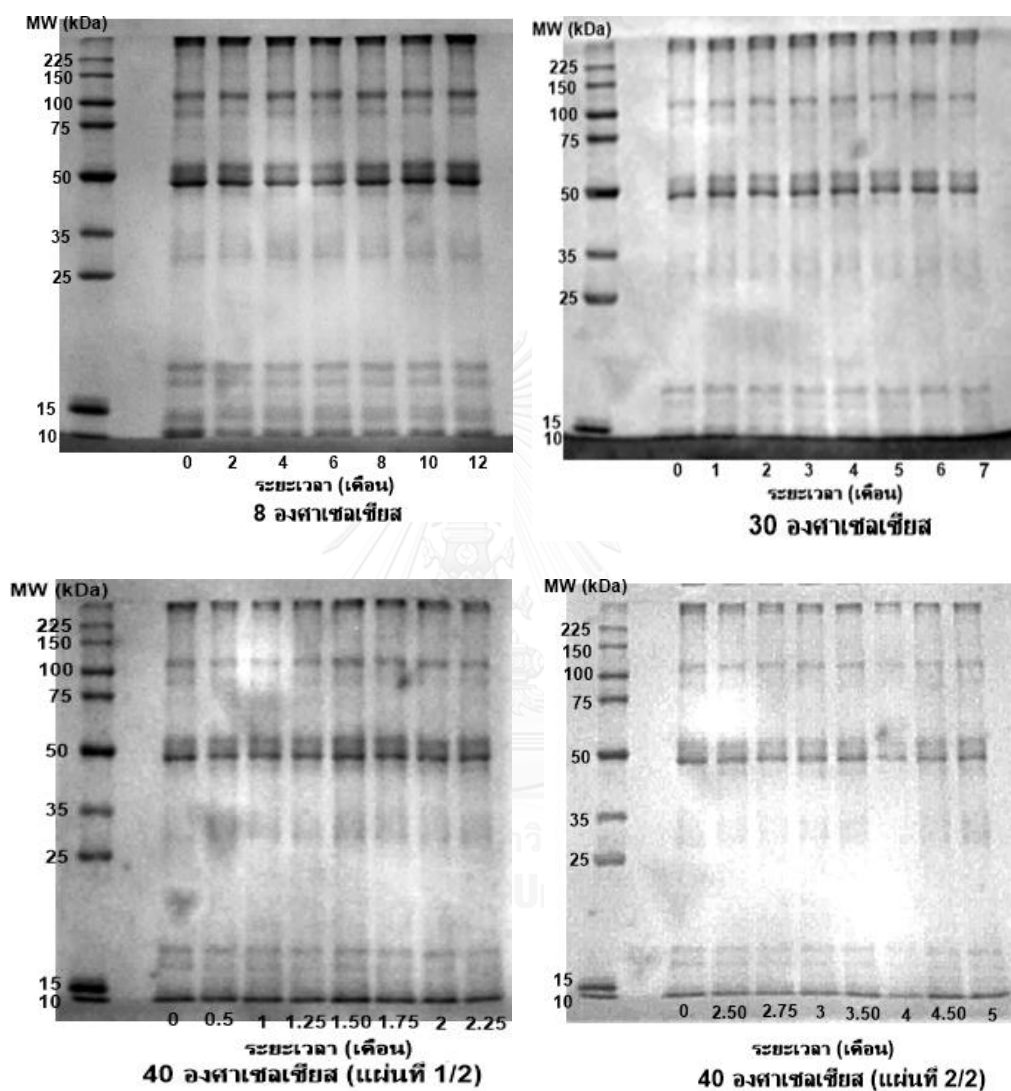
ผลการทดลองสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wiset และคณะ (2011) ที่ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกในถังแบบมีการเป่าอากาศของข้าวเหนียว กข 6 ซึ่งมีการเป่าอากาศเย็นที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส อากาศแวดล้อม และการเก็บในกระสอบที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH_g มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยในทุกภาวะการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน ค่า T_p และ T_c ของการเก็บรักษาใน

กระสอบ มีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อม เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า ค่า T_0 ในทุกภาวะการเก็บรักษา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า T_p มีค่าสูงสุดในเดือนที่ 6 ค่า T_c และค่า ΔH_g มีค่าสูงสุดในเดือนที่ 2 ในทุกภาวะการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าค่า T_0 , T_p , T_c และ ΔH_g มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกภาวะการเก็บรักษา และยังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิในการเก็บรักษามากขึ้น ผลของอุณหภูมิการและระยะเวลาการเก็บรักษาจากงานวิจัยของ Tananuwong และ Malila (2011) พบว่า ค่า T_0 และ T_p มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกภาวะการเก็บรักษา เมื่อเก็บนาน 12 เดือน ซึ่งค่า T_0 และ T_p ของการเก็บรักษาข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่อุณหภูมิแวดล้อม (28 – 35 องศาเซลเซียส) มีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (15 องศาเซลเซียส) ในขณะที่ ΔT_g ($T_c - T_0$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาในช่วง 2 เดือนแรก หรือ 4 เดือนแรก และมีแนวโน้มลดลงจากเดือนที่ 8 เมื่อพิจารณาภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดง พบว่า ระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการเก็บรักษาระยะสั้น (≤ 4 เดือน) หลังจากนั้นระดับการเกิดเจลลิตินในเซชันมีค่าลดลงในช่วงการเก็บรักษาระยะยาว (≥ 6 เดือน) การที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตินในเซชันและเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้งข้าวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ซึ่งมีสาเหตุมาจากอันตรกิริยาระหว่างองค์ประกอบของข้าว ได้แก่ แป้งโปรตีน ไขมัน และปฏิกิริยาเอนไซม์ทำให้เม็ดแป้งที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานานเพิ่มแรงยึดเกาะกันและเกิดพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลของโปรตีน ช่วยเสริมการยึดเกาะระหว่างโปรตีนและไปแทรกระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง เสริมให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรง ซึ่งจะไปยังยังหรือขัดขวางไม่ให้น้ำเข้าไปในเม็ดแป้ง ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้ส่วนของเม็ดแป้งเกิดการพองตัวและเกิดเจลลิตินในเซชันได้ (Iturriaga และคณะ 2004; Teo และคณะ 2000)

4.6.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในแป้งข้าว

รูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในแป้งข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.15 พบว่า ข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเก็บรักษา (12 7 และ 5 เดือน) มีรูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่คล้ายคลึงกันและพบแถบโปรตีนที่ตำแหน่งเดียวกันในข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่และข้าวที่เก็บรักษาตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน โปรตีนข้าวที่นำมาวิเคราะห์ทุกตัวของทุกตัวอย่างสามารถแบ่งกลุ่มโปรตีนได้

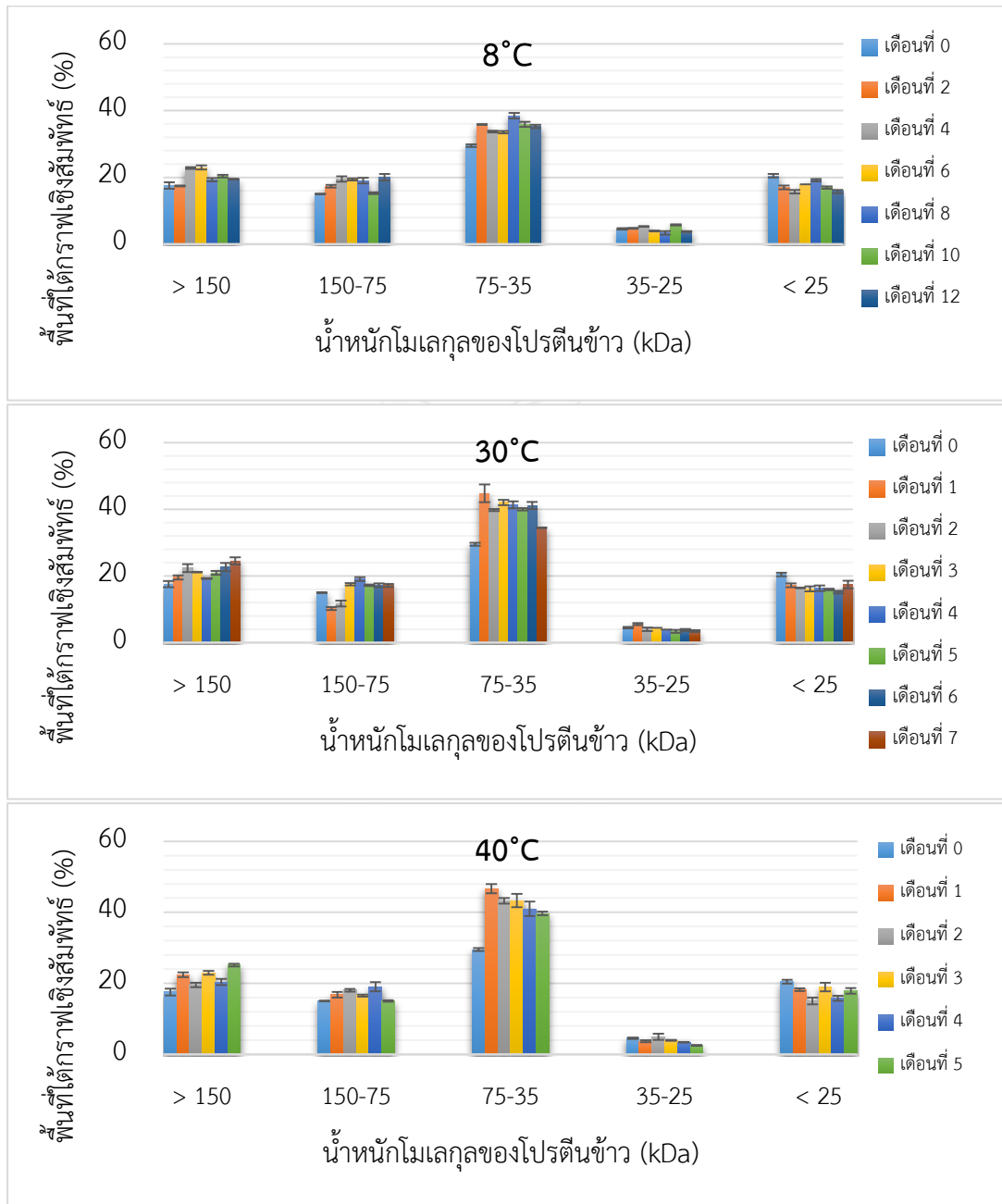
ทั้งหมด 5 กลุ่ม โดยแบ่งตามช่วงน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน ได้แก่ < 25, 25 – 35, 35 – 75, 75 - 150, >150 kDa



รูปที่ 4.15 เจลที่ผ่านการแยกโปรตีนตามช่วงน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ ด้วยวิธี SDS-PAGE

หมายเหตุ แถบของโปรตีนจากซ้ายไปขวา แถบแรก คือ Perfect Protein Markers (10-225 kDa) แถบถัดมา คือ โปรตีนจากตัวอย่างในข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่และข้าวที่เก็บรักษาตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (แผ่นที่ 1/2) แสดงตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ระยะเวลา 0 0.5 1 1.25 1.5 1.75 2 และ 2.25 เดือน ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (แผ่นที่ 2/2) แสดงตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ระยะเวลา 0 2.5 2.75 3 3.5 4 4.5 และ 5 เดือน ตามลำดับ

ข้อมูลในเชิงปริมาณของโปรตีนข้าวที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วงต่างๆกัน แสดงดังรูป 4.16 ข้อมูลดังกล่าวคำนวณจาก peak area ของความเข้มแต่ละแถบโปรตีนภายใน lane เดียวกัน โดยนำค่า peak area ของแต่ละแถบโปรตีนมาคำนวณหาค่า relative peak area (%) โดยเทียบจากปริมาณ peak area รวมภายใน lane เดียวกัน พบว่า ในข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่และข้าวที่เก็บรักษาตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ตัวอย่างข้าวทั้งหมดมีสัดส่วนของปริมาณโปรตีนที่ใกล้เคียงกัน โดยจำแนกตามช่วงน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนพบว่า โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 75 – 35 kDa มี relative peak area (%) สูงสุด และโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 35-25 kDa มี relative peak area (%) ต่ำสุด เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวพบว่า โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีสัดส่วนลดลง (<25 และ 35 – 25 kDa) โดยน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล <25 kDa ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 20.46 เป็น 15.75 17.46 และ 17.90 % เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ และน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 35 – 25 kDa ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 4.52 เป็น 3.73 3.50 และ 2.52 % เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ แต่โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น (>150 150-75 และ 75-35 kDa) โดยน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 150 kDa เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 17.58 เป็น 19.46 24.52 และ 25.14 % ตามลำดับ เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ น้ำหนักโมเลกุลโปรตีนของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 150 - 75 kDa เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 15.03 เป็น 20.07 17.21 และ 15.06 % ตามลำดับ เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ น้ำหนักโมเลกุลโปรตีนของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 75 – 35 kDa เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จาก 29.53 เป็น 35.28 34.49 และ 39.69 % ตามลำดับ เมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 8 30 และ 40 องศาเซลเซียส นาน 12 7 และ 5 เดือน ตามลำดับ แสดงความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.6.1 – 6.3 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงรูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในแป้งข้าวในระหว่างการเก็บรักษาในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.19.1 – 19.5 และแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงรูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในแป้งข้าว ดังรูปที่ 4.21 – 4.22



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนในช่วงต่างๆ ของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ และระยะเวลาแตกต่างกัน

4.7 ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ของข้าวเหนียว กข 10 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่ตรวจวัดได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มเป็นคู่ๆ ได้ 6 คู่ (กลุ่มที่ 1 และ 2, กลุ่มที่ 1 และ 3, กลุ่มที่ 1 และ 4, กลุ่มที่ 2 และ 3, กลุ่มที่ 2 และ 4, กลุ่มที่ 3 และ 4) ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ moisture content of paddy (MC), head rice yield (HRY), whiteness index (WI)

กลุ่มที่ 2 คุณภาพการหุงต้ม ได้แก่ minimum cooking time (MCT), water uptake (WU), solid loss (SL), volume expansion (VE)

กลุ่มที่ 3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ได้แก่ hardness (HN), adhesiveness (AN), cohesiveness (CN)

กลุ่มที่ 4 สมบัติทางการเกิดเพสต์ขณะร้อนและเย็นของแป้งข้าว ได้แก่ pasting temperature (PT), peak viscosity (PV), breakdown (BD), setback (SB)

ในตารางที่ 4.6 กำหนดให้กลุ่มที่ 1 คือ สมบัติทางกายภาพ (MC, HRY, WI) และกลุ่มที่ 2 คือ คุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) โดยต้องการทราบอิทธิพลของกลุ่มที่ 1 ที่มีผลต่อตัวกลุ่มที่ 2 พบว่า รากที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลล (R_c) เป็น 0.821 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปร กลุ่มที่ 1 (V.E.) ได้ 40.1% หมายความว่า สมบัติทางกายภาพทั้ง 3 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 40.1% และอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 2 (V.E.) ได้ 67.1% หมายความว่า คุณภาพการหุงต้มทั้ง 4 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 67.1%

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล ระหว่างกลุ่มที่ 1 สมบัติทางกายภาพและกลุ่มที่ 2 คุณภาพการหุงต้ม

Canonical correlation analysis					
Group 1				Group 2	
CV1-1 root1	Redundancy 27.1%			CV2-1 root1	Redundancy 45.3%
	V.E. 40.1%				V.E. 67.1%
SET1	Loading			SET2	Loading
MC	0.502*	R _c	0.821	MCT	-0.664*
HRY	-0.167	R _c ²	0.674	WU	-0.902*
WI	0.961*			SL	-0.824*
				VE	-0.865*
		Wilk's lambda	0.139		
		Chi-square	100.462		
		df	12		
		p<0.001	0.000		

* หมายถึง ค่า loading ที่มีค่าตั้งแต่ 0.30 ขึ้นไป (โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001

MC หมายถึง moisture content of paddy, HR Y หมายถึง head rice yield, WI หมายถึง whiteness index, MCT หมายถึง minimum cooking time, WU หมายถึง water uptake, SL หมายถึง solid loss , VE หมายถึง volume expansion, V.E. หมายถึง variance extracted

จากตารางที่ 4.6 ค่า Redundancy ในชุดของตัวแปรกลุ่มที่ 1 มีค่าอยู่ที่ 27.1% หมายความว่า ค่าคุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) สามารถอธิบายค่าสมบัติทางกายภาพ (MC, HR Y, WI) ได้ 27.1% และค่า Redundancy ในชุดของตัวแปรกลุ่มที่ 2 มีค่า 45.3% หมายความว่า ค่าสมบัติทางกายภาพ (MC, HR Y, WI) สามารถอธิบายค่าคุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) ได้ 45.3% จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล พบว่า ค่า MC, WI มีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่า MCT, WU, SL, VE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001 (p<0.001)

ในตารางที่ 4.7 กำหนดให้ตัวแปรกลุ่มที่ 1 คือ สมบัติทางกายภาพ (MC, HRY, WI) และตัวแปรกลุ่มที่ 3 คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) โดยต้องการทราบอิทธิพลของตัวแปรกลุ่มที่ 1 ที่มีผลต่อตัวแปรกลุ่มที่ 3 พบว่า รากที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (R_c) เป็น 0.753 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 1 (V.E.) ได้ 55.1% หมายความว่า สมบัติทางกายภาพทั้ง 3 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 55.1% และอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 3 (V.E.) ได้ 32.7% หมายความว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกทั้ง 3 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 32.7%

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลระหว่างกลุ่มที่ 1 สมบัติทางกายภาพและกลุ่มที่ 3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก

Canonical correlation analysis					
Group 1				Group 3	
CV1-1 root1	Redundancy 31.2%			CV2-1 root1	Redundancy 18.5%
	V.E. 55.1%				V.E. 32.7%
SET1	Loading			SET2	Loading
MC	-0.919*	R_c	0.753	HN	0.099
HRY	0.817*	R_c^2	0.567	AN	-0.468*
WI	-0.375*			CN	0.867*
		Wilk's lambda	0.320		
		Chi-square	58.606		
		df	9		
		p<0.001	0.000		

* หมายถึง ค่า loading ที่มีค่าตั้งแต่ 0.30 ขึ้นไป (โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001

MC หมายถึง moisture content of paddy, HRY หมายถึง head rice yield, WI หมายถึง whiteness index, HN หมายถึง hardness, AN หมายถึง adhesiveness, CN หมายถึง cohesiveness, V.E. หมายถึง variance extracted

จากตารางที่ 4.7 ค่า Redundancy ในชุดของสมบัติทางกายภาพมีค่า 31.2% หมายความว่าค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) สามารถอธิบายค่าสมบัติทางกายภาพ (MC, HRY, WI) ได้ 31.2% และค่า Redundancy ในชุดของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกมีค่า 18.5% หมายความว่าสมบัติทางกายภาพ (MC, HRY, WI) สามารถอธิบายค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) ได้ 18.5% จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิกอล พบว่า ค่า AN แปรตาม MC, WI แต่แปรผกผันกับค่า HRY ส่วน CN แปรผกผันกับค่า MC, WI แต่แปรตามค่า HRY อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.001$)

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิกอลระหว่างกลุ่มที่ 1 สมบัติทางกายภาพและกลุ่มที่ 4 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว

Canonical correlation analysis					
Group 1				Group 4	
CV1-1 root1	Redundancy			CV2-1 root1	Redundancy
	39.1%				26.9%
	V.E.				V.E.
	57.0%				39.2%
SET1	Loading			SET2	Loading
MC	-0.732*	R_c	0.828	PT	0.787*
HRY	0.422*	R_c^2	0.686	PV	0.372*
WI	-0.998*			BD	-0.702*
				SB	0.566*
		Wilk's lambda	0.211		
		Chi-square	79.253		
		df	12		
		$p < 0.001$	0.000		

* หมายถึง ค่า loading ที่มีค่าตั้งแต่ 0.30 ขึ้นไป (โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001

MC หมายถึง moisture content of paddy, HRY หมายถึง head rice yield, WI หมายถึง whiteness index, PT หมายถึง pasting temperature, PV หมายถึง peak viscosity, BD หมายถึง breakdown, SB หมายถึง setback, V.E. หมายถึง variance extracted

จากตารางที่ 4.8 กำหนดให้ตัวแปรกลุ่มที่ 1 คือ สมบัติทางกายภาพ (MC, HRY, WI) และตัวแปรกลุ่มที่ 4 คือ สมบัติทางการเกิดเพสต์ขณะร้อนและเย็นของแป้งข้าว (PT, PV, BD, SB) โดย

ต้องการทราบอิทธิพลของตัวแปรกลุ่มที่ 1 ที่มีผลต่อตัวแปรกลุ่มที่ 4 พบว่า รากที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (R_c) เป็น 0.828 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 1 (V.E.) ได้ 57.0% หมายความว่า สมบัติทางกายภาพทั้ง 3 ค่าที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 57.0% และอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 4 (V.E.) ได้ 39.2% หมายความว่า สมบัติด้านการเกิดเพศของแป้งข้าวทั้ง 4 ค่าที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 39.2% ค่า Redundancy ในชุดของสมบัติทางกายภาพมีค่า 39.1% หมายความว่าสมบัติด้านการเกิดเพศของแป้งข้าวอธิบายค่าสมบัติทางกายภาพ (MC, HRY, WI) ได้ 39.1% และในชุดของสมบัติด้านการเกิดเพศของแป้งข้าวมีค่า 26.9% หมายความว่าสมบัติทางกายภาพ (MC, HRY, WI) สามารถอธิบายค่าสมบัติด้านการเกิดเพศของแป้งข้าว (PT, PV, BD, SB) ได้ 26.9% จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล พบว่า ค่า BD แปรตาม MC, WI แต่แปรผกผันกับค่า HRY ส่วนค่า PT, PV, SB แปรตามค่า HRY แต่แปรผกผันกับกับค่า MC, WI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ในตารางที่ 4.9 กำหนดให้ตัวแปรกลุ่มที่ 2 คือ คุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) และตัวแปรกลุ่มที่ 3 คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) โดยต้องการทราบอิทธิพลของตัวแปรกลุ่มที่ 2 ที่มีผลต่อตัวแปรกลุ่มที่ 3 พบว่า รากที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (R_c) เป็น 0.755 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 2 (V.E.) ได้ 37.2% หมายความว่า คุณภาพการหุงต้มทั้ง 4 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 37.2% และอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 3 (V.E.) ได้ 36.5% หมายความว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกทั้ง 3 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 36.5% ค่า Redundancy ในชุดของคุณภาพการหุงต้มมีค่า 21.2% หมายความว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) สามารถอธิบายค่าคุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) ได้ 21.2% และค่า Redundancy ในชุดของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกมีค่า 20.8% หมายความว่า ค่าคุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) สามารถอธิบายค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) ได้ 20.8% จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล พบว่า ค่า MCT, WU, VE มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่า HN AN อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคระหว่างกลุ่มที่ 2 คุณภาพการหุงต้มและกลุ่มที่ 3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก

Canonical correlation analysis					
Group 2			Group 3		
CV1-1 root1	Redundancy			CV2-1 root1	Redundancy
	21.2%			20.8%	
	V.E.			V.E.	
	37.2%			36.5%	
SET1	Loading			SET2	Loading
MCT	-0.447*	R_c	0.755	HN	-0.943*
WU	-0.788*	R_c^2	0.570	AN	-0.383*
SL	-0.241			CN	0.245
VE	-0.780*				
		Wilk's lambda	0.288		
		Chi-square	63.484		
		df	12		
		p<0.001	0.000		

* หมายถึง ค่า loading ที่มีค่าตั้งแต่ 0.30 ขึ้นไป (โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001

MCT หมายถึง minimum cooking time, WU หมายถึง water uptake, SL หมายถึง solid loss, VE หมายถึง volume expansion, HN หมายถึง hardness, AN หมายถึง adhesiveness, CN หมายถึง cohesiveness, V.E. หมายถึง variance extracted

ในตารางที่ 4.10 กำหนดให้ตัวแปรกลุ่มที่ 2 คือ คุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) และตัวแปรกลุ่มที่ 4 คือ สมบัติของการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว (PT, PV, BD, SB) โดยต้องการทราบอิทธิพลของตัวแปรกลุ่มที่ 2 ที่มีผลต่อตัวแปรกลุ่มที่ 4 พบว่า รากที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (R_c) เป็น 0.872 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรตาม (V.E.) ได้ 64.3% หมายความว่า คุณภาพการหุงต้มทั้ง 4 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 64.3% และอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรอิสระ (V.E.) ได้ 33.3% หมายความว่า สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวทั้ง 4 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 33.3% ค่า Redundancy ในชุดของคุณภาพการหุงต้มมีค่า 48.9% หมายความว่าสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวสามารถอธิบายค่าคุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) ได้ 48.9% ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด ในสมบัติกลุ่มต่างๆ ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้และในชุดของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวมีค่า 25.3% หมายความว่า คุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) สามารถอธิบายค่าสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว (PT, PV, BD,

SB) ได้ 25.3% จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอล พบว่า ค่า MCT, WU, SL, VE มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่า PT, PV, SB แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่า BD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลระหว่างกลุ่มที่ 2 คุณภาพการหุงต้มและกลุ่มที่ 4 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว

Canonical correlation analysis					
Group 2				Group 4	
CV1-1 root1	Redundancy 48.9%			CV2-1 root1	Redundancy 25.3%
	V.E. 64.3%				V.E. 33.3%
SET1	Loading			SET2	Loading
MCT	-0.664*	R_c	0.872	PT	-0.579*
WU	-0.914*	R_c^2	0.760	PV	-0.352*
SL	-0.656*			BD	0.729*
VE	-0.932*			SB	-0.585*
		Wilk's lambda	0.205		
		Chi-square	80.106		
		df	16		
		$p < 0.001$	0.000		

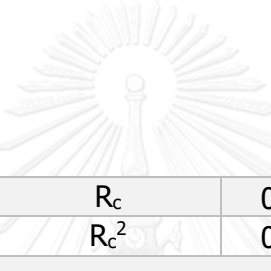
* หมายถึง ค่า loading ที่มีค่าตั้งแต่ 0.30 ขึ้นไป (โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001

MCT หมายถึง minimum cooking time, WU หมายถึง water uptake, SL หมายถึง solid loss, VE หมายถึง volume expansion, PT หมายถึง pasting temperature, PV หมายถึง peak viscosity, BD หมายถึง breakdown, SB หมายถึง setback, V.E. หมายถึง variance extracted

ในตารางที่ 4.11 กำหนดให้ตัวแปรกลุ่มที่ 3 คือ ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) และตัวแปรกลุ่มที่ 4 คือ สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว (PT, PV, BD, SB) โดยต้องการทราบอิทธิพลของตัวแปรกลุ่มที่ 3 ที่มีผลต่อตัวแปรกลุ่มที่ 4 พบว่า รากที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (R_c) เป็น 0.606 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 3 (V.E.) ได้ 39.8% หมายความว่า ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกทั้ง 3 ค่า ที่นำมาวิเคราะห์มี

ความสัมพันธ์กัน 39.8% และอธิบายความแปรปรวนในระหว่างตัวแปรกลุ่มที่ 4 (V.E.) ได้ 29.2% หมายความว่า สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวทั้ง 4 ค่าที่นำมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กัน 29.2%

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคัลระหว่างกลุ่มที่ 3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกและกลุ่มที่ 4 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว

Canonical correlation analysis					
Group 3				Group 4	
CV1-1 root1	Redundancy			CV2-1 root1	Redundancy
	14.6%				10.8%
	V.E.				V.E.
	39.8%				29.2%
SET1	Loading			SET2	Loading
HN	-0.872*	R _c	0.606	PT	-0.472*
AN	-0.398*	R _c ²	0.367	PV	-0.445*
CN	0.524*			BD	0.634*
				SB	-0.589*
		Wilk's lambda	0.475		
		Chi-square	37.978		
		df	12		
		p<0.001	0.000		

* หมายถึง ค่า loading ที่มีค่าตั้งแต่ 0.30 ขึ้นไป (โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001

HN หมายถึง hardness, AN หมายถึง adhesiveness, CN หมายถึง cohesiveness, PT หมายถึง pasting temperature, PV หมายถึง peak viscosity, BD หมายถึง breakdown, SB หมายถึง setback, V.E. หมายถึง variance extracted

จากตารางที่ 4.11 ค่า Redundancy ในชุดของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกมีค่า 14.6% หมายความว่า ค่าสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว (PT, PV, BD, SB) สามารถอธิบายค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) ได้ 14.6% และค่า Redundancy ในชุดของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวมีค่า 10.8% หมายความว่า ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (HN, AN, CN) สามารถอธิบายค่า สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว (PT, PV, BD, SB) ได้ 10.8% จากผลการ

วิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล พบว่า ค่า HN, AN มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่า PT, PV, SB แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่า BD และค่า CN มีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่า PT, PV, SB แต่มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่า BD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

4.8 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ตามอุณหภูมิ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (12 7 และ 5 เดือน) พบว่า มีเพียงสมบัติบางประการที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา โดยพบการเปลี่ยนแปลงที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาในลักษณะที่มีอัตราคงที่ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ zeroth และ first order fractional conversion model และการเปลี่ยนแปลงมีรูปแบบเฉพาะตัว คือช่วงแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง มีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก จากนั้นจึงเปลี่ยนแปลงช้าลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเวลาการเก็บยาวนาน ($t \rightarrow \infty$) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าตามแนวโน้มดังกล่าวคือ first order fractional conversion model ส่วนการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ สามารถอธิบายได้โดยใช้ Arrhenius relationship จากการทดลองใช้ทั้ง zeroth order model และ first order fractional conversion model พบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาว (whiteness index) ค่าการดูดซับน้ำ (water uptake) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม (solid loss) และค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก (volume expansion) ตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาได้ โดยแสดงค่า k และค่า R² ในสมการแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 และรูปข้อมูลจริงเทียบกับข้อมูลจากการทำนายในภาคผนวกที่ จ รูปที่ จ.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการ first order fractional conversion model สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า

ค่า k ที่แตกต่างกันในข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน แสดงถึงผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อสมบัติด้านต่างๆของข้าว ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีอัตราการเปลี่ยนแปลงในด้านดัชนีความขาว (WI) ค่าการดูดซับน้ำ(WU) ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม (SL) และค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก (VE) สูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาและอุณหภูมิโดยใช้

Arrhenius relationship ได้ค่า E_a (activation energy) $\log k_0$ และ R^2 ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และแสดงกราฟในภาคผนวกที่ จ รูปที่ จ.7 และ จ.8 และแสดงตารางการคำนวณในตารางที่ จ. 2 โดยอัตราการเปลี่ยนแปลง WU มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ SL VE และ WI ตามลำดับ และจากการพิจารณาค่า E_a สามารถสรุปได้ว่า WU SL และ VE มีความไวต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิใกล้เคียงกันซึ่งจัดว่ามีความไวน้อยกว่า WI

ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ (A_0 และ k) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของการใช้ zeroth order model ในการทำนายค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

Parameters	zero th order model parameters						
	A_0	8°C		30°C		40°C	
		k (month ⁻¹)	R^2	k (month ⁻¹)	R^2	k (month ⁻¹)	R^2
Whiteness index (WI)	61.94	0.03	0.03	0.24	0.87	0.67	0.67
Water uptake (WU)	144.04	3.27	0.86	5.33	0.76	10.19	0.71
Solid loss (SL)	0.92	0.03	0.50	0.05	0.87	0.13	0.47
Volume expansion (VE)	96.14	1.92	0.66	3.59	0.81	8.84	0.79

ตารางที่ 4.13 ค่าพารามิเตอร์ (A_0 , A_∞ และ k) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของการใช้ first order fractional conversion model ในการทำนายค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

Parameters	first order fractional conversion model parameters							
	A_0	A_∞	8°C		30°C		40°C	
			k (month ⁻¹)	R^2	k (month ⁻¹)	R^2	k (month ⁻¹)	R^2
Whiteness index (WI)	61.61	48.58	0.00	0.03	0.02	0.87	0.08	0.71
Water uptake (WU)	144.0	200.00	0.12	0.96	0.28	0.91	0.65	0.82
Solid loss (SL)	0.84	1.63	0.09	0.60	0.12	0.85	0.55	0.56
Volume expansion (VE)	96.58	151.07	0.03	0.64	0.07	0.80	0.24	0.77

ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์ (E_a , $\log k_0$ และ R^2) ของการใช้ Arrhenius relationship ในการทำนายค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

Parameters	Arrhenius relationship					
	0 th order kinetics			1 st order kinetics		
	E_a (kJ/mol)	$\log k_0$	R^2	E_a (kJ/mol)	$\log k_0$	R^2
Whiteness index (WI)	74.6	12.25	0.85	78.0	11.83	0.99
Water uptake (WU)	24.1	4.96	0.90	36.3	5.80	0.95
Solid loss (SL)	31.0	4.19	1.00	34.9	5.37	0.66
Volume expansion (VE)	31.0	6.21	0.89	42.0	6.27	0.87

4.9 การจัดกลุ่มตัวอย่างจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

เมื่อนำข้อมูลจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ด้านคุณภาพของข้าว (ยกเว้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกและสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว) มาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis; PCA) พบว่า สามารถอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 54% แบ่งเป็น PC 1 เป็น 38% และ PC 2 เป็น 16%

เมื่อพิจารณาน้ำหนักของค่าสหสัมพันธ์ (factor loading) ในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.3 ในแต่ละอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวได้ตามแนวแกน PC 1 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้สูงที่สุดเป็น 38% แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม แสดงดังรูปที่ 4.17 ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ข้าวใหม่ (0 เดือน) และข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8°C นาน 2 เดือน,

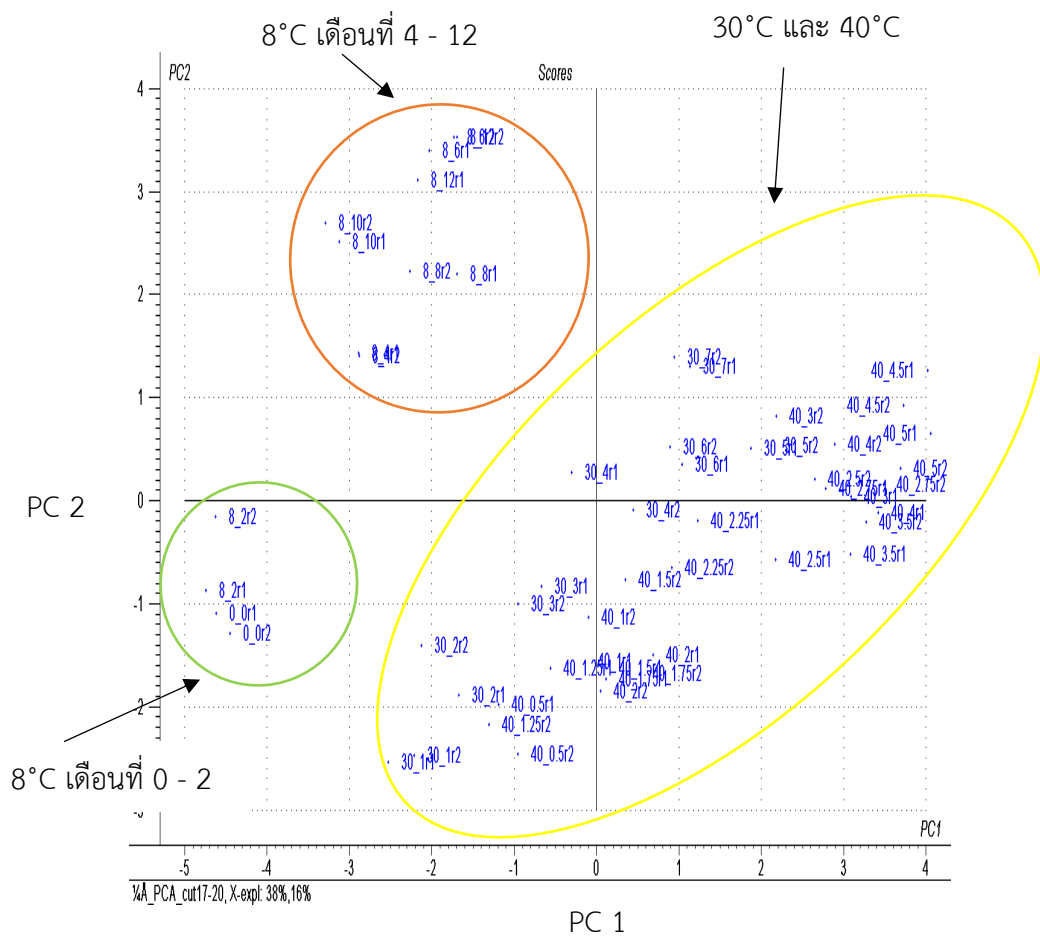
กลุ่มที่ 2 ข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 8°C เดือนที่ 4 – 12

กลุ่มที่ 3 ข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °C ทั้งหมด

เมื่อพิจารณาตามแนวแกน PC 2 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้เป็น 16% พบว่าสามารถแบ่งข้าวตามระยะเวลาการเก็บรักษาได้เป็น 2 กลุ่ม แสดงดังรูปที่ 4.17 ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 4 เดือน

กลุ่มที่ 2 ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือนขึ้นไป



รูปที่ 4.17 การวิเคราะห์องค์ประกอบจากข้อมูลค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกข้าวเหนียว กข 10 เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นสูงสุด รองลงคือ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกไม่เกิน 14% โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานข้าว เมื่อวิเคราะห์คุณภาพการสี พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณข้าวตันสูงสุด มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ 30 และ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้ม พบว่า ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับน้ำของข้าวสารสูงสุด มีปริมาณของของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มสูงสุด และมีค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกสูงสุด รองลงมาคือ 30 และ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก พบว่า ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็ง (hardness) สูงสุด มีค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ต่ำสุด และมีค่าความเหนียวที่ยึดเกาะกัน (cohesiveness) สูงสุด รองลงมาคือ 30 และ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว พบว่า ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อน (pasting temperature) สูงสุด ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีค่าสูงสุด ความหนืดที่ลดลงขณะให้ความร้อน (breakdown) ต่ำสุด และความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะทำให้ความเย็น (setback) สูงสุด รองลงมาคือ 30 และ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาติโนเซชัน (T_0) มีค่าสูงสุด อุณหภูมิที่เกิดเจลลาติโนเซชันสูงสุด (T_p) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ 40 และ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาติโนเซชัน (T_c) มีค่าสูงสุด เอนทัลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเจลลาติโนเซชัน (ΔH_g) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ 30 และ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่า โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 75–35 kDa มี relative peak area (%) สูงสุด และในช่วง 35–25 kDa มี relative peak area (%) ต่ำสุด เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาข้าว พบว่า โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีสัดส่วนลดลง (<25 และ 35–25 kDa) แต่โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น (>150 150–75 และ 75–35 kDa) และได้สรุปผลความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงในภาคผนวก ง รูปที่ ง.8

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล (canonical correlation analysis) จากงานวิจัยนี้พบว่า คุณภาพด้านการหุงต้มมีความสัมพันธ์กับสมบัติด้านการเกิดเพสต์มากที่สุด โดยสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวสามารถอธิบายค่าคุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) ได้ 48.9% และคุณภาพการหุงต้ม (MCT, WU, SL, VE) สามารถอธิบายค่าสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าว (PT, PV, BD, SB) ได้ 25.3% จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบคาโนนิคอลล พบว่า ค่า MCT, WU, SL, VE มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่า PT, PV, SB แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่า BD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

เมื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน พบว่า สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความขาว ค่าการดูดซับน้ำ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม และค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาได้ดีโดยใช้สมการ first order fractional conversion model และ Arrhenius relationship โดยข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส) มีอัตราการเปลี่ยนแปลง (k) ในด้านดัชนีความขาว ค่าการดูดซับน้ำ ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม และค่าการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกสูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (30 และ 8 องศาเซลเซียส)

จากการจัดกลุ่มตัวอย่างข้าวโดยใช้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis; PCA) จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ยกเว้นลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกและสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวพบว่า สามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวตามอุณหภูมิเก็บรักษาได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ข้าวใหม่ (เดือนที่ 0) และที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน (เดือนที่ 2) กลุ่มที่ 2 ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เดือนที่ 4 – 12 และกลุ่มที่ 3 ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส และสามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวตามระยะเวลาการเก็บรักษาได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 - 4 เดือน กลุ่มที่ 2 ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือนขึ้นไป

จากผลการวิจัยดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเหนียว กข 10 โดยการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพ ส่วนการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงสามารถเร่งการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพที่เกิดขึ้นได้ และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการทำนายอายุการเก็บรักษาข้าวเหนียว กข 10 ได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาและหาข้อมูลเพิ่มเติมในข่าวเหี่ยวหรือข่าวเจ้าพันธุอื่นๆร่วมด้วย เพื่อจะได้นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันและเห็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติเคมีกายภาพเนื่องจากอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น และควรเพิ่มเติมเรื่องการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม



รายการอ้างอิง

- AACC. (2000). Method 61-02.01. Determination of the pasting properties of rice with the Rapid Visco Analyzer AACC International Approved Methods of Analysis. AACC international: Saint Paul, MN, US.
- AOAC. (2012). Official Method of Analysis. 19th ed Washington D.C.: The Association of the Official Analytical Chemists.
- Chang, R. (2002). Chemistry. 7th ed McGraw-Hill.
- Chen, J., Lu, S., & Lii, C. (1999). Effects of Milling on the Physicochemical Characteristics of Waxy Rice in Taiwan 1. *Cereal chemistry*, 76(5), 796-799.
- Cochran, W. G., & Cox, G. M. (1957). Experimental designs.
- Dhaliwal, Y., Sekhon, K., & Nagi, H. (1991). Enzymatic activities and rheological properties of stored rice. *Cereal chemistry*, 68(1), 18-21.
- Gibson, T., Solah, V., & McCleary, B. (1997). A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with concanavalin A. *Journal of Cereal Science*, 25(2), 111-119.
- Goss, D. J., & Petrucci, R. H. (2007). General Chemistry Principles & Modern Applications, Petrucci, Harwood, Herring, Madura: Study Guide: Pearson/Prentice Hall.
- Iida, S., Amano, E., & Nishio, T. (1993). A rice (*Oryza sativa* L.) mutant having a low content of glutelin and a high content of prolamine. *Theoretical and Applied Genetics*, 87(3), 374-378.
- Iturriaga, L., Lopez, B., & Añon, M. a. (2004). Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. *Food Research International*, 37(5), 439-447.
- Jaiboon, P., Prachayawarakorn, S., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2009). Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. *Journal of Food Engineering*, 95(3), 517-524. .
- Jane, J., Chen, Y., Lee, L., McPherson, A., Wong, K., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on

- the gelatinization and pasting properties of starch 1. *Cereal chemistry*, 76(5), 629-637.
- Juliano, B. O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today*, 16(10), 334-340,360.
- Juliano, B. O. (1985). Rice: chemistry and technology. 2d ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- Kaminski, T. A., Brackmann, A., da Silva, L. P., Nicoletti, A. M., & Roberto, B. S. (2013). Changes in culinary, viscoamylographic and sensory characteristics during rice storage at different temperatures. *Journal of stored products research*, 53, 37-42.
- Kim, K. M., Jang, I. S., Ha, S. D., & Bae, D. H. (2004). Improved storage stability of brown rice by coating with rice bran protein. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 36(3), 490-500.
- Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *nature*, 227, 680-685.
- Likitwattanasade, T., & Hongsprabhas, P. (2010). Effect of storage proteins on pasting properties and microstructure of Thai rice. *Food Research International*, 43(5), 1402-1409. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.011>
- Marshall, W., & Wadsworth, J. (1994). Chapter 1: Introduction. *Rice Science and Technology*, 1-15.
- Noomhorm, A., Kongseree, N., & Apintanapong, M. (1997). Effect of aging on the quality of glutinous rice crackers. *Cereal chemistry*, 74(1), 12-15.
- Park, C. E., Kim, Y. S., Park, K. J., & Kim, B. K. (2012). Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. *Journal of stored products research*, 48, 25-29.
- Park, J. K., Kim, S. S., & Kim, K. O. (2001). Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. *Cereal chemistry*, 78(2), 151-156.
- Perez, C. M., & Juliano, B. O. (1981). Texture changes and storage of rice. *Journal of Texture Studies*, 12(3), 321-333.

- Singh, N., Kaur, L., Sodhi, N. S., & Sekhon, K. S. (2005). Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chemistry*, *89*(2), 253-259.
- Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P., & Taechapiroj, C. (2008). Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. *Journal of Food Engineering*, *85*(2), 268-276.
- Takeda, Y., & Hizukuri, S. (1987). Structures of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. *Carbohydrate research*, *168*, 79-88.
- Tananuwong, K., & Malila, Y. (2011). Changes in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions. *Food Chemistry*, *125*(1), 179-185.
- Teo, C. H., Karim, A. A., Cheah, P. B., Norziah, M. H., & Seow, C. C. (2000). On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. *Food Chemistry*, *69*(3), 229-236.
- Tiwari, B., O'donnell, C., Patras, A., Brunton, N., & Cullen, P. (2009). Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. *Food Chemistry*, *113*(4), 1119-1126.
- Unnevehr, L., Duff, B., & Juliano, B. O. (1992). Consumer Demand for Rice Grain Quality: Terminal Report of IDRC Projects, National Grain Quality (Asia), and International Grain Quality Economics (Asia): International Rice Research Institute.
- Wimberly, J. E. (1983). Technical handbook for the paddy rice postharvest industry in developing countries: International Rice Research Institute.
- Wiset, L., Laoprasert, P., Borompichaichartkul, C., Poomsa-ad, N., & Tulyathan, V. (2011). Effects of in-bin aeration storage on physicochemical properties and quality of glutinous rice cultivar RD 6. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(6), 635.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2002). Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. *Journal of Cereal Science*, *35*(1), 65-78.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2007). Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. *Food Chemistry*, *105*(2), 491-497.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด, & เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2550). เทคโนโลยีของแป้ง พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- กองพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว. (2558). คุณภาพทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://brpd.ricethailand.go.th> [24 กุมภาพันธ์ 2558].
- กองพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว. (2559). รายงานราคาข้าวเปลือกความชื้น 15%. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.kkn-4sc.ricethailand.go.th/home/images/Price_of_Rice/5-8-59.pdf [5 สิงหาคม 2559].
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2546). การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ธรรมสาร.
- เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข. (2531). คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและมาตรฐานข้าว การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยข้าว, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จันวิภา ภูรินทร์. (2551). ผลของวิธีการอบแห้ง อุณหภูมิ และปริมาณแอมโมเนียต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและความคงทนของเมล็ดข้าวสาร. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิรารัตน์ ทัดติยกุล. (2554). วิทยากระแสนของอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ใจทิพย์ อุไรชื่น. (2550). การใช้ความเย็นในการเก็บรักษาข้าวเพื่อการส่งออก. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปผลิตผลเกษตร.
- ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. (2559). การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.watpon.com> [8 กันยายน 2549].
- ดลฤดี ใจสุทธิ, สมเกียรติ ปรัชญาวารากร, สมชาติ โสภณธณฤทธิ, วารุณี วารัญญานนท์, & พัชรี ตั้งตระกูล. (2550). การเร่งความแก่ข้าวกล้องหอมมะลิด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซนซ์ร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. (ฉบับพิเศษ), 30(4), 659-668.
- ทวีผลเกษตรธรรมชาติ. (2559). การเก็บรักษาข้าวเปลือกหลังเก็บเกี่ยว. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.ktkrating.com/เกี่ยวกับข้าว/การเก็บรักษาข้าวเปลือก.html> [3 เมษายน 2559].
- เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ. (2559). กราฟแสดงความของปฏิกิริยาอันดับศูนย์และปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.chem.rmutk.ac.th/pdf/usarat/KemEng/Final/ch5_8/Chapter7_Chemical%20Kinetic.pdf [3 กันยายน 2559].
- นิธยา รัตนาปนนท์. (2557). เคมีอาหาร (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.
- บุญหงษ์ จงคิด. (2557). ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- ปฏิพัทธ์ ทิพย์กาญจนรัตน์, & ธนัญญา วสุศรี. (2558). การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้สารเคมีกับปัจจัยคุณภาพน้ำดิบ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอลลกรณีสึกษา การประปานครหลวง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 25(3), 405-414.
- ปัทมา เล้าประเสริฐ. (2552). ผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พัสกร เจียรตระกูล, เมธินี เทวซึ่งเจริญ, & ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ. (2546). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 34(4-6), 149-152.
- เพลงพิน ศิวาพรรักษ์. (2541). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมิโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล. (2540). ผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวสาร (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, นาโอยาชิ อิโนอุชิ, กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาวัฒน์, รุ่งทิภา วันสุขศรี, & บุญทิภา นิลจันทร์. (2546). การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. กรุงเทพมหานคร: สิ่งพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณิณี เกตุคง. (2556). ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและการคืนรูปจากเยือกแข็งต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์วิจัยข้าวแพร่. (2556). รายงานลักษณะเมล็ดทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://pre.brrd.in.th/web/images/stories/pdf/breeding.pdf> [2 เมษายน 2556].
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. (2559). วิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือก. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice_cultivate_postharvest/rice_cultivate_postharvest_4.html [12 กันยายน 2559].

- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2555). มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ.4004-2555 ข้าว. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.acfs.go.th/standard/download/RICE-1.pdf> [23 กันยายน 2558].
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559a). ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร ข้าวนาปี. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/amphoe/secondrice-amphoe57.pdf> [16 สิงหาคม 2558].
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559b). ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร ข้าวนาปรัง. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/amphoe/secondrice-amphoe57.pdf> [16 สิงหาคม 2558].
- สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ข้าว. (2558). อุตสาหกรรมข้าวของประเทศไทย ปี 2558-2559. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.dft.go.th/LinkClick.aspx?fileticket=p6iLTgSSD_4%3D&tabid=40.pdf [20 พฤษภาคม 2558].
- อภิชาติ ศรีสะอาด, & พชรี สำโรงเย็น. (2557). สูดยอดนวัตกรรมข้าวพันธุ์ใหม่ ลดต้นทุน เพิ่มผลผลิต ต้านทานโรค ระบาด AEC (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์นาคาอินเตอร์มีเดีย.
- อภิญา เจริญกุล. (2558). บทที่ 1 ัญชาติและพืชหัว. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://pre.brrd.in.th/web/images/stories/pdf/breeding.pdf> [21 กรกฎาคม 2558].
- อรรรรณ ศรีโสมพันธ์, & ทตพิชา เจริญรัตน์. (2557). ข้าวเหนียวในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โอกาสหรือข้อจำกัดของไทย. *แก่นเกษตร*, 42(1), 119-128.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2550). ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พิมพ์ครั้งที่ 2). : กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อลิษา ชมพูปลัย, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม, ศันสนีย์ จำจด, & ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย. (2556). ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวพันธุ์ต่างๆ. *วารสารแก่นเกษตร*, 41(4), 411-418
- อิศรัฎฐ์ รินไธสง. (2559). บทที่ 17 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.edu.tsu.ac.th/major/administration/data/FE511/บทที่_17_การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์.pdf [25 กันยายน 2559].



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว กข 10

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแป้งข้าว (AOAC, 2012)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. เดซิเคเตอร์
4. ถ้วยอลูมิเนียมใส่ตัวอย่างแป้งพร้อมฝาปิด
5. คีมคีบ
6. ซิลิกาเจล
7. ช้อนสำหรับตัก

วิธีการวิเคราะห์

1. ทำการอบถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบลมร้อน ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที ชั่งน้ำหนักถ้วยและฝาปิดให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมและฝาปิด
2. ชั่งตัวอย่างแป้งประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม บันทึกน้ำหนักตัวอย่างแป้ง เกลี่ยตัวอย่างแป้งให้กระจายทั่ว พร้อมเปิดฝาแง้มไว้เล็กน้อย
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 8 ชั่วโมง
4. เมื่อครบกำหนดเวลานำตัวอย่างแป้งออกจากตู้อบลมร้อน ปิดฝาและนำไปพักไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
5. นำตัวอย่างแป้งที่เย็นแล้วไปชั่งและบันทึก เพื่อหาน้ำหนักที่แน่นอน
6. ทำการอบตัวอย่างแป้งอีกครั้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที พักให้ตัวอย่างแป้งเย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนอีกครั้ง
7. ถ้าน้ำหนักตัวอย่างแป้งยังไม่คงที่ ให้ทำการอบซ้ำในข้อที่ 6 อีกรอบ จนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ (ทำซ้ำ 3 รอบ)

8. แล้วทำการคำนวณดังสมการ ก.1

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% wet basis)} = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_1 - W)} \times 100 \dots\dots\dots \text{ก.1}$$

- เมื่อ W คือ น้ำหนักของถั่วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (กรัม)
 W₁ คือ น้ำหนักของถั่วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างแบ่งก่อนอบ (กรัม)
 W₂ คือ น้ำหนักของถั่วยอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างแบ่งหลังอบ (กรัม)

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (In-house method T058 based on AOAC, 2012)**อุปกรณ์และเครื่องมือ**

1. Digestion unit (Buchi รุ่น K-424, Switzerland)
2. Distillation unit (Buchi รุ่น B-324, Switzerland)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N ที่ standardized ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมพาทาเลท 0.1 N
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
5. สารเร่งปฏิกิริยา (selenium reagent mixture)
6. อินดิเคเตอร์ (เตรียมโดยสารละลายเมธิลเรดปริมาณ 0.125 กรัม และเมธิลลีนบลู 0.0825 กรัม ในเอซิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 90 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแบ่งที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ลงในหลอดย่อยโปรตีน เติมสารเร่งปฏิกิริยา ประมาณ 5 กรัม และสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร

2. ย่อยตัวอย่างแบ่งใน digestion unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอน้ำกรด ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส หรือย่อยเป็นเวลาประมาณ 45 นาที และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ต่อกวอดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด เข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
4. ต่อกวอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรมดังนี้

การตั้งโปรแกรม

สารเคมี	ปริมาตร
NaOH	70 มิลลิลิตร
Boric acid	45 มิลลิลิตร
H ₂ O	50 มิลลิลิตร
Time	4 นาที

5. รongรับสารที่กลั่นตามระยะเวลาที่กำหนด
6. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
7. ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้ในขวดรูปชมพู่ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกมาตรฐานเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสารละลายสีชมพู
8. ทำ blank โดยใส่น้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยโปรตีน จากนั้นวิเคราะห์ blank ตามวิธีการทดลองข้อที่ 2 แล้วทำการคำนวณดังสมการ ก.2

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\% dry basis)} = \frac{(V_a - V_b) \times 1.4 \times \text{Factor}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \dots\dots\dots \text{ก.2}$$

เมื่อ V_a คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต (Normal)

factor มีค่าเท่ากับ 5.95 ใช้สำหรับตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2012)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Soxlet (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)
2. Evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Tokyo Aikakikai, Japan)

วิธีวิเคราะห์

1. อบขวดก้นกลมที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างใส่ในกระดาษกรองเบอร์ 1 ประมาณ 3 กรัม ใส่ใน thimble
3. ใส่ปิโตรเลียมอีเธอร์ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมที่ผ่านการอบ และชั่งน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
4. ประกอบขวดก้นกลมเข้ากับชุดสกัดไขมัน ใช้เวลาในการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ระเหยปิโตรเลียมอีเธอร์จนหมด แล้วนำขวดก้นกลมไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วคำนวณหาปริมาณไขมันดังสมการ ก.3

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\% dry basis)} = \frac{(\text{น้ำหนักขวดก้นกลมหลังสกัดไขมัน} - \text{น้ำหนักขวดก้นกลมก่อนสกัดไขมัน}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \dots\dots\dots \text{ก.3}$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2012)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เตาเผา (รุ่น CWF 1200, Cabolite, USA)
2. เตาไฟฟ้า (hot plate)
3. เดซิเคเตอร์ (desiccator)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้งที่อบแห้งแล้วให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วย crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. เผาตัวอย่างแป้งโดยใช้เตาไฟฟ้าในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. เผาตัวอย่างแป้งต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เป็นเถ้าสีขาว
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้แล้วคำนวณดังสมการ ก. 4

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\% dry basis)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแป้งแห้ง}} \dots\dots\dots \text{ก.4}$$

ก.5 ปริมาณเส้นใยหยาบ (AOAC, 2012)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลอง
2. Buchner Funnel
3. กระดาษกรอง เบอร์ 1
4. ตู้อบลมร้อน hot air oven
5. Water bath

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 1.25%
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1.25%
3. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1%
4. เอทานอลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95%

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้งประมาณ 3 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
2. อบไล่ความชื้น ถ้าตัวอย่างมีไขมันสูงสกัดออกด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์

3. เอาตัวอย่างแบ่งแห้งใส่ในหลอดสำหรับย่อยหรือบีกเกอร์ เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และนำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
4. กรองสารละลายออกโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 และล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนปริมาตร 200 มิลลิลิตร 2-3 รอบ
5. นำตะกอนที่ผ่านการล้างใส่ลงในหลอดย่อยหรือบีกเกอร์เติม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และนำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
6. กรองสารละลายออกโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 และล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนปริมาตร 200 มิลลิลิตร 2-3 รอบ
7. ล้างตะกอนด้วยเอทานอลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร 2-3 รอบ
8. นำตะกอนที่เหลือนบนกระดาษกรองใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน อบตะกอนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือจนกว่าตะกอนจะแห้ง เมื่อครบกำหนดเวลา ทิ้งให้ตัวอย่างเย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
9. นำ crucible เข้าอบในเตาเผา muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ทิ้งให้ตัวอย่างเย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 10.แล้วคำนวณหาปริมาณเส้นใยหยาบดังสมการ ก.5

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ (\% dry basis)} = \frac{[(W_2 - W_1) - (W_3 - W_1)] \times 100}{W_0} \dots\dots\dots \text{ก.5}$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างแบ่ง (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักของ crucible (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างแบ่งและ crucible หลังผ่านการอบด้วยตู้อบลมร้อน (กรัม)

W_3 คือ น้ำหนักของตัวอย่างแบ่งและ crucible หลังผ่านการเผาด้วย muffle furnace (กรัม)

ก.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (compendium of methods for food analysis, 2003)

การคำนวณ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (% dry basis)

$$= 100 - [\% \text{ปริมาณความชื้น} + \% \text{ปริมาณโปรตีน} + \% \text{ปริมาณเถ้า} + \% \text{ปริมาณไขมัน} + \% \text{ปริมาณเส้นใยหยาบ}] \dots\dots \text{ก.6}$$

ก.7 ปริมาณแอมิโลส (ดัดแปลงจาก Gibson และคณะ 1997; Takeda และ Hizukuri, 1987)

วิธีวิเคราะห์

วิเคราะห์ด้วยวิธี amperometric titration with potassium iodate solution

1. Sample ตัวอย่างแป้งข้าว ร่อนด้วยตะแกรง (sieve) ขนาด 100 mesh
2. Defatted sample (carbohydrate content by phenol-H₂SO₄)
3. เมื่อได้ค่า IAs ในตัวอย่างแล้วคำนวณหาปริมาณแอมิโลสดังสมการ ก.6

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแอมิโลส (\% carbohydrate in defatted sample)} = \frac{IAs \times 100}{0.20} \dots\dots\dots \text{ก.6}$$

เมื่อ IAs คือ iodine affinity of carbohydrate in defatted sample

ภาคผนวก ข

วิธีการทดลอง

ข.1 การวิเคราะห์สมบัติของข้าวเปลือก

ข.1.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณข้าวตัน ตามวิธีของ มกษ.2004-2555 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2555)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องกะเทาะเปลือกแบบ 3 ลูกกลิ้ง (อุสินทวิ ลพบุรี ประเทศไทย)
2. เครื่องขัดข้าวขาว (อุสินทวิ ลพบุรี ประเทศไทย)
3. เครื่องคัดแยกข้าวหัก (อุสินทวิ ลพบุรี ประเทศไทย)
4. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, MS1602S, Switzerland)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งข้าวเปลือก 125 กรัม และบันทึกน้ำหนักข้าวเปลือกไว้
2. กะเทาะข้าวเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือก และบันทึกน้ำหนักข้าวกลิ้งที่ได้
3. ขัดข้าวขาวกลิ้งด้วยเครื่องขัดข้าวขาว นาน 20 วินาที และบันทึกน้ำหนักข้าวสารที่ได้
4. นำข้าวสารที่ได้ไปคัดแยกข้าวหักและข้าวตันออกจากกันด้วยเครื่องคัดแยกข้าวหัก และตรวจสอบซ้ำอีกครั้งภายหลังตัวอย่างผ่านเครื่องคัดแยกข้าวหักแล้ว บันทึกน้ำหนักข้าวตันที่ได้
ข้าวตัน คือเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 8 ใน 10 ส่วนของเมล็ดขึ้นไป

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ข้าวตัน} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวตัน}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100 \dots\dots\dots \text{ข. 1}$$

ข.2 การวิเคราะห์สมบัติของข้าวสาร

ข.2.1 วิธีการวิเคราะห์ดัชนีความขาวของข้าวสาร

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Chroma meter (Konica Minolta, CR-400, Japan)
2. แผ่น White calibration plate (Konica Minolta, CR-A43, Japan)
3. อุปกรณ์สำหรับวัดตัวอย่าง Granular attachment (Konica Minolta, CR-A50, Japan)
4. หัววัดแบบไม่มีกระจกกัน (Konica Minolta, CR-A33c, Japan)

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดปุ่ม ON ที่ตัวเครื่องแสดงผลและที่ตัวหัววัด ใช้หัววัดแบบไม่มีกระจกกัน และเลือกแหล่งกำเนิดแสงชนิด D65
2. กดปุ่ม CAL แล้วใส่ค่า Y, x, y ($Y = 93.2, x = 0.3157, y = 0.3321$)
3. วางหัววัดลงบนกึ่งกลางแผ่น White calibration plate แล้วกดปุ่มวัดที่หัววัด 1 ครั้ง โดยเครื่องจะปรากฏ lamp flashes 3 ครั้ง และปรากฏไฟ ready lamp สีเหลือง แสดงว่าพร้อมสำหรับวัดตัวอย่างแล้ว และหน้าจอของเครื่องจะกลับไปแสดงหน้าเตรียมวัดตัวอย่าง
4. ทำการชั่งเมล็ดข้าวสารจำนวน 1 กรัม ใส่ลงในอุปกรณ์สำหรับวัดตัวอย่าง Granular attachment เกลี่ยให้เสมอกัน และปิดฝา
5. วางหัววัดลงบนอุปกรณ์สำหรับวัดตัวอย่าง Granular attachment แล้วกดปุ่มที่หัววัด 1 ครั้ง
6. เครื่องจะแสดงค่า L^* a^* และ b^* ที่วัดได้จากตัวอย่าง

เมื่อ ค่า L^* หมายถึง แสดงความเข้มสว่างของสี โดยที่ระดับค่า L^* เท่ากับ 0 แสดงสีดำ หรือสีเข้ม และระดับค่า L^* เท่ากับ 100 แสดงสีขาวหรือสีสว่าง

ค่า a^* หมายถึง แสดงระดับสีแดง โดยที่ระดับค่า a^* เท่ากับ + แสดงสีแดง และระดับค่า a^* เท่ากับ - แสดงสีเขียว

ค่า b^* หมายถึง แสดงระดับสีเหลือง โดยที่ระดับค่า b^* เท่ากับ + แสดงสีเหลือง และระดับค่า b^* เท่ากับ - แสดงสีน้ำเงิน

7. เมื่อวัดตัวอย่างเสร็จสิ้น ให้เปิดปุ่ม OFF ที่ตัวเครื่องแสดงผลและที่ตัวหัววัด พร้อมดึงปลั๊กไฟออกให้เรียบร้อย

8. นำค่า L^* a^* และ b^* ที่วัดได้จากตัวอย่าง ไปคำนวณหาค่าดัชนีความขาวของข้าวสารดังสมการที่ ก.2

การคำนวณ

$$\text{Whiteness index (WI)} = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \dots\dots \text{ข. 2}$$

ข.3 การวิเคราะห์สมบัติของข้าวหุงสุก

ข.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้ม ดัดแปลงจากวิธีของ Singh และคณะ (2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, AB204, Switzerland)
2. หลอดทดลอง
3. อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ
4. ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหา solid loss
5. Desiccator
6. ตู้อบลมร้อน (WTB Binder, E53, Germany)
7. absolute digimatic caliper (Mitutoyo, model CD-6" CSX, Japan)
8. กระจกสไลด์
9. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการวิเคราะห์

-ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้ม (minimum cooking time)

1. ชั่งน้ำหนักข้าวต้น 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 10 มิลลิลิตร
2. นำตัวอย่างไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C
3. สุ่มตัวอย่างข้าวออกมาทุกๆ 1 นาที แล้วกดด้วยกระจกสไลด์

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม หมายถึง ระยะเวลาหุงต้มที่ทำให้เมล็ดข้าวหุงสุกที่ไม่มีส่วนขาวขุ่นตรงกลางเมล็ด เมื่อกดข้าวด้วยกระจก

-ปริมาณน้ำที่ดูดซับขณะหุงต้ม (water uptake) และปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม (solid loss)

1. ชั่งน้ำหนักข้าวต้น 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 10 มิลลิลิตร

2. นำตัวอย่างไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C โดยใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับระยะเวลาที่เหมาะสมในการหุงต้ม

2.1 ตัวอย่างน้ำส่วนเกินที่เหลือจากการหุงต้ม

2.1.1. รินน้ำส่วนเกินออกใส่ถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก

ที่แน่นอนแล้วนำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง

2.1.2. นำตัวอย่างออกจากตู้อบ แล้วใส่ใน Desiccator ที่งัไว้ให้เย็น

ซึ่งน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง

2.1.3. คำนวณปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มตามสมการที่ ข. 3

ปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้ม (%) = $\frac{\text{น้ำหนักของแข็ง} - \text{น้ำหนักข้าวสาร}}{\text{น้ำหนักข้าวสาร}} \times 100$ ข. 3

2.2 ตัวอย่างข้าวสุก

2.2.1 ชั่งน้ำส่วนเกินที่ติดอยู่ที่ผิวข้าวออก ซึ่งน้ำหนักข้าวสุก และคำนวณตามสมการที่ ข. 4

ปริมาณน้ำที่ดูดซับขณะหุงต้ม (%) = $\frac{\text{น้ำหนักข้าวหุงสุก} - \text{น้ำหนักข้าวสาร}}{\text{น้ำหนักข้าวสาร}} \times 100$ ข. 4

-การขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก (volume expansion)

1. ชั่งน้ำหนักข้าวต้น 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่นอยู่ 10 มิลลิลิตร
2. วัดความสูงของข้าวสารในหลอดทดลอง
3. นำตัวอย่างไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C โดยใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหุงต้ม
4. วัดความสูงของข้าวหุงสุกในหลอดทดลอง และคำนวณการขยายปริมาตรของข้าวหุงสุกตามสมการที่ ข. 5

การขยายปริมาตรของข้าวหุงสุก (%) = $\frac{\text{ความสูงของข้าวหุงสุก} - \text{ความสูงของข้าวสาร}}{\text{ความสูงของข้าวสาร}} \times 100$ ข. 5

ข.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก

ข.3.2.1 วิธีการเตรียมข้าวเหนียวหุงสุก

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องนึ่งไฟฟ้า (Groupeseb, Tefal-VC1016, France)
2. ผ้าขาวบาง ขนาด 10 × 10 เซนติเมตร
3. น้ำกลั่น

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งข้าวสารเหนียว 1 กรัม แช่ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. เทน้ำกลั่นออก นำข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่แล้วใส่ลงไปในผ้าขาวบางที่เตรียมไว้ และห่อให้เรียบร้อย
3. ทำการนึ่งตามระยะเวลา (ระยะเวลานึ่งหาได้จาก minimum cooking time)
4. เมื่อครบกำหนดเวลา นำข้าวเหนียวหุงสุกแล้วออกมาพักจนหมดไอน้ำ พักประมาณ 1 นาที
5. จากนั้นนำไปวิเคราะห์ texture profile analysis (TPA) ต่อไป

ข.3.2.2 การวิเคราะห์ texture profile analysis (TPA)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Technologis Crop, TA-XT plus, UK)
2. หัววัด P/100

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส และเข้าโปรแกรม Exponent ก่อนการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสทุกครั้ง calibrate force โดยใช้ลูกตุ้มหนัก 1 กิโลกรัม และ calibrate height ที่ 30 มิลลิเมตร ประกอบหัววัดเข้ากับเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส
2. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้ texture profile analysis (TPA) ตั้งค่าการวิเคราะห์ดังนี้
 - Mode: measure force in compression
 - Test speed: 1.0 mm/sec
 - Post test speed: 5.0 mm/sec

- Distance: 29.5 mm
- Holding time between cycle: 3 sec

3. เรียงตัวอย่างข้าวเหนียวสุก 1 กรัม เป็นชั้นเดียวบนแท่นวางตัวอย่าง

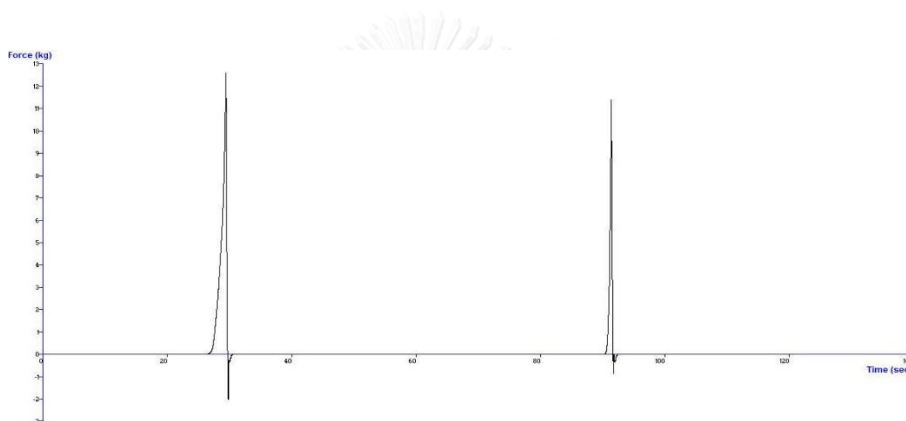
4. เริ่มการวิเคราะห์ค่าทางเนื้อสัมผัส (ตัวอย่างกราฟที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์

เนื้อสัมผัสดัง

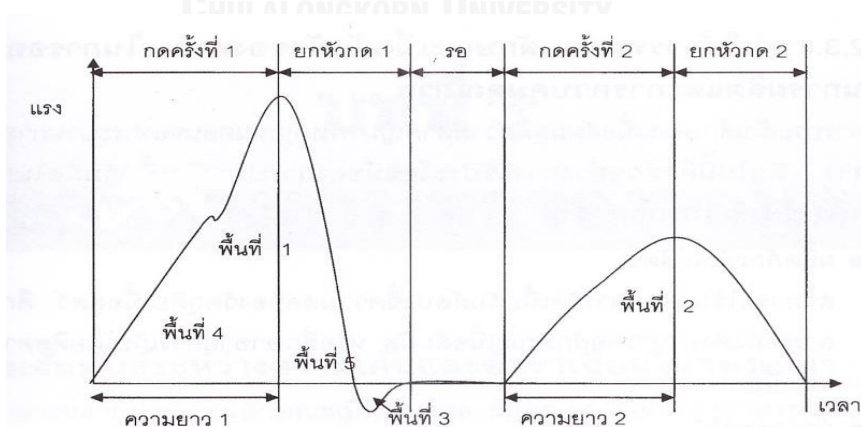
แสดงในรูปที่ ข.1) บันทึกค่าความแข็งและความสามารถในการยัดติด ดังนี้

- ค่าความแข็งคือค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการกดตัวอย่างครั้งแรก
- ค่าความสามารถในการยัดติดคืองานที่ใช้ในการถอนหัววัดออกจาก

ตัวอย่างของการกดครั้งแรก (พื้นที่ 3 รูปที่ ข.2)



รูปที่ ข. 1 กราฟที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก



รูปที่ ข.2 ค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัดเนื้อสัมผัสแบบ texture profile analysis (TPA)

(ที่มา: จิรรัตน์ ทัดติยกุล, 2554)

ข.4 การวิเคราะห์สมบัติของแป้งข้าว

ข.4.1 วิธีการวิเคราะห์สมบัติความหนืดของแป้งข้าว ตามวิธีของ AACC (2000)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์สมบัติด้านการเกิดเพสต์ (New port Scientific Instrument & Engineer, RVA-4, Australia)

2. ถ้วยทรงกระบอกอลูมิเนียมและใบพัด

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวให้ได้น้ำหนักแห้ง 3 กรัม ลงบนกระดาษชั่งสาร และชั่งน้ำกลั่นในถ้วยทรงกระบอกอลูมิเนียมให้ได้ 25 กรัม
 2. เมื่อพร้อมวิเคราะห์ เทตัวอย่างแป้งลงน้ำและใช้ใบพัดค่อยๆ ตีหรือกวนผสมตัวอย่าง
 3. นำถ้วยทรงกระบอกพร้อมใบพัดใส่เข้ากับเครื่องและเริ่มวิเคราะห์โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ ข. 1 โดยโปรแกรมสามารถบันทึกค่าต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้โดยอัตโนมัติ
- ได้แก่ pasting temperature, peak viscosity, breakdown และ setback

ตารางที่ ข.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเพสต์ขณะร้อนและเย็น

ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)	อัตราเร็ว (RPM)	ระยะเวลา (นาที : วินาที)
1	50	-	0 : 00
2	50	960	0 : 00
3	50	160	0 : 00
4	50	160	1 : 00
5	95	160	4 : 42
6	95	160	7 : 12
7	50	160	11 : 00
สิ้นสุดการทดสอบ			13 : 00

ข.4.3 วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว ตามวิธีของ Tananuwong และ Malila (2011)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Perkin-Elmer, Diamond-DSC, USA)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, AB204, Switzerland)
3. Aluminium Volatile sample pan (Perkin-Elmer, kit number 0219-0062, USA)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวผสมน้ำกลั่น อัตราส่วนแป้ง 1:3 ลงใน Aluminium Volatile sample pan น้ำหนักแป้งและน้ำมีน้ำหนักรวมกัน 15 มิลลิกรัม

2. ปิดผนึก pan ด้วยเครื่องปิดผนึกให้สนิท แล้วเก็บ pan ที่ปิดผนึกแล้วไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นภายใน pan เข้าสู่ภาวะสมดุล

3. ใส่ pan ในช่อง sample ทางด้านขวา และใส่ pan เปล่าในช่อง reference ทางด้านซ้ายของเครื่อง DSC จากนั้นวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยกำหนดภาวะในการวิเคราะห์ตัวอย่างดังนี้

- คงไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที
- เพิ่มอุณหภูมิจาก 30 เป็น 85 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที
- คงไว้ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

4. คำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาติโนเซชัน โดยใช้ระบบ Autocalculation ของ Pyris™ operation software และบันทึกค่าต่างๆ ได้แก่

- อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลาติโนเซชัน (T_o , หน่วย องศาเซลเซียส)
- อุณหภูมิที่เกิดเจลลาติโนเซชันสูงสุด ($T_{p,c}$, หน่วย องศาเซลเซียส)
- อุณหภูมิที่สุดท้ายของเกิดเจลลาติโนเซชัน (T_c , หน่วย องศาเซลเซียส)
- เอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเจลลาติโนเซชัน

(ΔH_g , หน่วย J/g dry flour)

ข.4.4 การศึกษารูปแบบโปรตีนจากข้าวโดยวิธีการแยกด้วยกระแสไฟฟ้าบนเจลพอลิอคริลลาไมด์ที่มี sodium dodecyl sulfate เป็นส่วนประกอบ (sodium dodecyl sulfate poly acrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE) แบบ 1 มิติ ดัดแปลงวิธีของ Laemmli (1970) เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ OmniPAGE Electrophoresis (Cleaver Science Ltd, CVS10DSYS, UK)
2. Power supply (Major Science, MS300V, USA)
3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Eppendorf, MiniSpin plus, Germany)
4. Gel documentatation (Syngene, InGeniusL, UK)

สารเคมี

1. Perfect Protein™ Markers, 10-225 kDa (Navogen®, Merck Millipore, USA)
2. Acrylamide (Fluka, Sigma-Aldrich Co.LLC., Switzerland)
3. N,N'-Methylenebisacrylamide (Fluka, Sigma-Aldrich Co.LLC., Switzerland)
4. Tris (Hydroxylmethyl) aminomethane (Tris-base) (CARLO ERBA Reagents, France)
5. Sodium dodecyl sulfate (SDS) (APS, Ajax Finechem, Australia)
6. Ammonium persulfate (APS) (OmniPur®, Merck Millipore, USA)
7. N,N,N',N'-Tetramethyl ethylenediamine (TEMED) (OmniPur®, Merck Millipore, USA)
8. Hydrochloric acid 37% (QRëc, New Zealand)
9. Urea (Unilab, Ajax Finechem, Australia)
10. Glycerol (Univar, Ajax Finechem, Australia)
11. Glycine (Research Organics, USA)
12. Glacial Acetic Acid (QRëc, New Zealand)
13. 95% Ethanol

14. Coomassie brilliant blue R-250 (imperial Chemical industries PLC, Merck Millipore, Germany)

15. Bromophenol Blue sodium salt (OmniPur®, Merck Millipore, USA)

วิธีการวิเคราะห์

- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียม SDS-urea solution และ sample buffer โดยผสมสารตามตารางที่ ข. และปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ด้วย 50 mM Tris-base, pH 6.8
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 40 มิลลิกรัม ใส่ลงในหลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร และเติม SDS-urea solution 700 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันโดยเครื่อง vortex นาน 1 นาที และทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้อง เพื่อละลายโปรตีนในตัวอย่าง
3. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ 7000 × g นาน 5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อแยกระหว่างส่วนของเหลวใสและส่วนของแข็งในตัวอย่าง
4. ปิเปิดส่วนของเหลวใสจากตัวอย่าง 200 ไมโครลิตรผสมกับ sample buffer 200 ไมโครลิตรที่อยู่ในหลอด eppendorf หลอดใหม่ จากนั้นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex

- ขั้นตอนการเตรียมเจล

1. ประกอบชุดเครื่องมือสำหรับเตรียมเจลเข้าด้วยกัน
2. เตรียมสารละลาย separating gel (แสดงในตารางที่ ข.2) โดยผสมสารเคมีทุกอย่างเข้าด้วยกัน ยกเว้น APS และ TEMED ที่จะต้องเติมก่อนขึ้นรูปเจล
3. เมื่อขึ้นรูปเจลจะต้องเติม APS และ TEMED ลงในสารละลายจากข้อ 2. ผสมให้เข้ากันโดยคนเบาๆ เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ และหยดสารละลาย separating gel ลงไประหว่างแผ่นกระจกทั้ง 2 แผ่น ที่ความสูง 3/4 ของแผ่นกระจก และปิดทับผิวหน้าเจลด้วย 1-butanol เพื่อไล่ฟองอากาศ รอให้เจลเกิดพอลิเมอร์เซชันนาน 30 นาที หรือจนกว่าเจลจะแข็งตัว
4. เท 1-butanol ออกไป และล้างผิวหน้าของเจลด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ ซับน้ำกลั่นด้วยกระดาษทิชชู
5. เตรียมสารละลาย stacking gel (ดังแสดงในตารางที่ ข.2) โดยผสมสารเคมีทุกอย่างเข้าด้วยกัน ยกเว้น APS และ TEMED ที่จะต้องเติมก่อนขึ้นรูปเจล

6. เติม APS และ TEMED ลงในสารละลายจากข้อ 5. ผสมให้เข้ากันโดยคนเบาๆ เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ และหยดสารละลาย stacking gel ลงไประหว่างแผ่นกระจกทั้ง 2 แผ่น ที่ความสูง 1/4 ของแผ่นกระจก ประกอบส่วน comb รอให้เจลเกิดพอลิเมอไรเซชันนาน 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าเจลจะแข็งตัว

7. เมื่อครบกำหนดเวลาถอดส่วน comb และส่วนฐานของชุดเครื่องมือออก จากนั้นนำเจลไปใส่ลงใน tank และเติมสารละลาย electrode running gel buffer gel (แสดงในตารางที่ ข.3) ให้ท่วมด้านล่างและด้านบนของเจล

- ขั้นตอนการแยกด้วยกระแสไฟฟ้า

1. ฉีด protein marker 5 ไมโครลิตร ลงใน well แรกของแผ่นเจล และฉีดสารละลายโปรตีนตัวอย่าง 5 ไมโครลิตร ลงใน well อื่นๆ

2. เริ่มแยกด้วยกระแสไฟฟ้าโดยใช้ความต่างศักย์ 300 V และกระแสไฟฟ้า 20 mA/เจล 1 แผ่น

3. หยุดการแยกเมื่อสีของ bromophenol blue เคลื่อนที่ลงมาเกือบสุดแผ่นเจลประมาณ 1 เซนติเมตร

4. ลอกแผ่นเจลออกจากกระจก ล้างด้วยน้ำกลั่นและนำไปย้อมสีในขั้นตอนถัดไป

- ขั้นตอนการย้อมสีเจล

1. ย้อมสีเจลด้วย staining solution (แสดงในตารางที่ ข.4) นาน 1 ชั่วโมง

2. เท staining solution ออก และล้างเจลด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ

3. ล้างสีย้อมออกด้วย destaining solution (แสดงในตารางที่ ข.4) 2 รอบๆละ 30 นาที

4. เท destaining solution ออก และล้างเจลด้วยน้ำกลั่น 2 รอบ

5. แخذเจลในน้ำกลั่นข้ามคืนก่อนนำไปบันทึกภาพเจลและคำนวณน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนด้วย gel documentation systems (Syngene, InGeniusL, UK)

- ขั้นตอนการบันทึกภาพเจลและคำนวณน้ำหนักโมเลกุลโปรตีน

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง gel documentation systems เปิดโปรแกรม GeneSnap

2. นำแผ่นเจลที่ผ่านการย้อมสีแล้ววางบนแผ่น conversion screen (เปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นแสงขาว) ที่วางอยู่บนแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต
3. กดปุ่ม automatic exposure
4. ปรับแต่งความชัดของรูปภาพเพิ่มเติมและบันทึกรูปภาพ
5. วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลโปรตีนโดยใช้โปรแกรม Genetools
6. เปิดภาพเจลที่ต้องการวิเคราะห์ เลือกชนิดของการวิเคราะห์เป็นแบบ “gel” และกำหนดทิศทางของการแยกเจลด้วยกระแสไฟฟ้า
7. ระบุคอลัมน์ที่เป็น protein marker เลือกแถบที่เป็นแถบของโปรตีนทั้งหมด กด Assign from standard โปรแกรมจะจับคู่กับแถบ protein marker และน้ำหนักโมเลกุลพร้อมกับแสดง calibration curve
8. เลือกคอลัมน์ที่เป็นตัวอย่างโปรตีนที่ต้องการทราบน้ำหนักโมเลกุล และเลือกแถบโปรตีนที่ปรากฏอยู่ทั้งหมด เพื่อคำนวณน้ำหนักโมเลกุล
9. บันทึกผลโดยการส่งออกข้อมูลไปยังโปรแกรม Microsoft word ข้อมูลที่ได้ของแถบโปรตีนแต่ละแถบประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุล ความสูงของ peak และพื้นที่ใต้ peak (รูปที่ ข.3) ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มของแถบโปรตีนแต่ละแถบ
10. นำข้อมูลพื้นที่ใต้ peak ภายใน lane เดียวกันมาคำนวณสัดส่วนของโปรตีนในแต่ละแถบของตัวอย่างนั้นๆ ตามสมการที่ ข.8

$$Relative\ peak\ area\ (\%) = \frac{peak\ area\ ของ\ แถบ\ โปรตีน}{peak\ area\ รวม\ ภายใน\ lane} \times 100 \dots\dots\dots ข.8$$

ตารางที่ ข.2 ส่วนประกอบของ SDS-urea solution และ Sample buffer

ส่วนประกอบ	SDS-urea solution	Sample buffer
Urea	48.05 กรัม	48.05 กรัม
SDS	4.00 กรัม	4.00 กรัม
Glycerol	20.00 กรัม	20.00 กรัม
1% Bromophenol blue	-	2.00 มิลลิลิตร
ปริมาตรสุดท้าย	100 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร

หมายเหตุ SDS-urea solution ประกอบด้วย 8 M Urea 4% SDS 20% Glycerol และ 50mM Tris-base, pH 6.8 และ Sample buffer ประกอบด้วย 8 M Urea 4% SDS 20% Glycerol และ 50mM Tris-base, pH 6.8

ตารางที่ ข.3 ส่วนประกอบของ separating gel และ stacking gel

ส่วนประกอบ	separating gel	stacking gel
น้ำกลั่น	8.02 มิลลิลิตร	6.1 มิลลิลิตร
1.5 M Tris-base pH 8.8	5.00 มิลลิลิตร	-
0.5 M Tris-base pH 6.8	-	2.50 มิลลิลิตร
10% SDS	200 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร
Acrylamide solution (30% T, 2.67% C)	6.67 มิลลิลิตร	1.33 มิลลิลิตร
10% APS	100 มิลลิลิตร	50 มิลลิลิตร
TEMED	10 มิลลิลิตร	5 มิลลิลิตร
ปริมาตรรวม	20 มิลลิลิตร	10 มิลลิลิตร

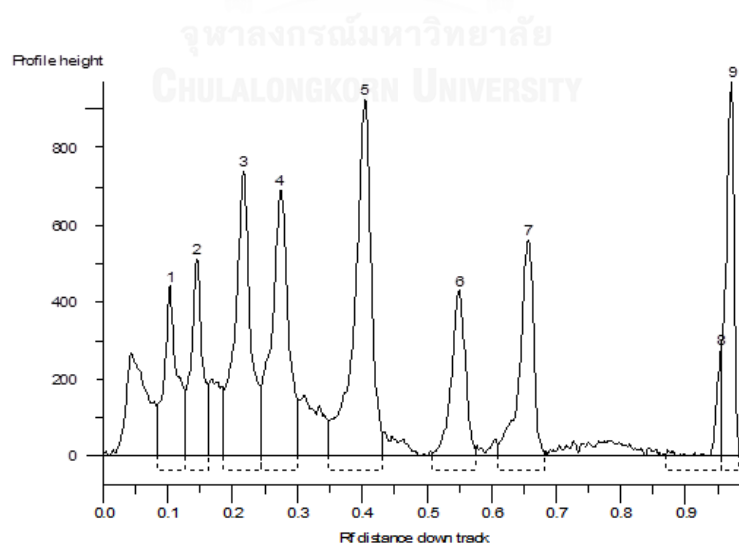
หมายเหตุ %T หมายถึง total solid content, %C หมายถึง cross-linker acrylamide monomer

ตารางที่ ข.4 ส่วนประกอบของ electrode running gel buffer

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
น้ำกลั่น	1 ลิตร
Tris-base	3.02 กรัม
SDS	1 กรัม
Glycine	14.40 กรัม

ตารางที่ ข.5 ส่วนประกอบของ staining solution และ destaining solution

ส่วนประกอบ	Staining solution	Destaining solution
น้ำกลั่น	400 มิลลิลิตร	650 มิลลิลิตร
Coomassie Brilliant Blue R-250	1.0 กรัม	-
95% Ethanol	500 มิลลิลิตร	250 มิลลิลิตร
Glacial acetic acid	100 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร
ปริมาตรรวม	1000 มิลลิลิตร	1000 มิลลิลิตร



รูปที่ ข.3 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Genetools



ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก (w.b.)	0	9.58 ± 0.04 ^c	0	9.58 ± 0.04 ^f	0	9.58 ± 0.04 ^{ab}
	2	12.65 ± 0.49 ^b	1	10.80 ± 0.00 ^e	0.50	9.53 ± 0.18 ^{abc}
	4	14.08 ± 0.18 ^a	2	10.75 ± 0.07 ^e	1	9.80 ± 0.14 ^a
	6	14.30 ± 0.00 ^a	3	11.35 ± 0.07 ^d	1.25	9.40 ± 0.14 ^{abc}
	8	13.85 ± 0.07 ^a	4	11.50 ± 0.00 ^c	1.50	9.40 ± 0.00 ^{abc}
	10	14.00 ± 0.00 ^a	5	12.00 ± 0.00 ^a	1.75	9.00 ± 0.28 ^{cde}
	12	13.85 ± 0.07 ^a	6	11.75 ± 0.07 ^b	2	8.78 ± 0.11 ^{de}
			7	11.43 ± 0.04 ^{cd}	2.25	9.03 ± 0.32 ^{cde}
					2.50	8.60 ± 0.42 ^e
					2.75	8.85 ± 0.00 ^{de}
					3	9.03 ± 0.46 ^{cde}
					3.50	9.18 ± 0.04 ^{bcd}
				4	9.10 ± 0.21 ^{bcde}	
				4.50	9.30 ± 0.00 ^{abcd}	
				5	9.10 ± 0.21 ^{bcde}	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณข้าวตันในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
ปริมาณข้าวตัน (%)	0	45.46 ± 0.59 ^a	0	45.46 ± 0.59 ^c	0	45.46 ± 0.59 ^f
	2	45.18 ± 0.54 ^a	1	47.26 ± 0.16 ^{ab}	0.50	46.65 ± 0.37 ^{ef}
	4	43.53 ± 0.59 ^b	2	47.35 ± 0.00 ^b	1	48.07 ± 0.70 ^{abcde}
	6	37.33 ± 0.32 ^d	3	48.07 ± 0.02 ^a	1.25	47.40 ± 1.63 ^{cde}
	8	39.25 ± 0.10 ^c	4	48.14 ± 0.23 ^a	1.50	47.45 ± 1.24 ^{bcde}
	10	36.39 ± 0.40 ^d	5	46.80 ± 0.07 ^b	1.75	48.47 ± 1.22 ^{abcde}
	12	36.70 ± 0.72 ^d	6	39.73 ± 1.04 ^e	2	49.13 ± 0.39 ^{abc}
			7	41.03 ± 0.44 ^d	2.25	48.56 ± 0.76 ^{abcd}
					2.50	49.66 ± 0.12 ^a
					2.75	49.31 ± 0.21 ^{ab}
					3	43.63 ± 0.15 ^g
					3.50	49.92 ± 0.33 ^a
				4	47.01 ± 1.14 ^{def}	
				4.50	40.84 ± 0.29 ^h	
				5	49.18 ± 0.21 ^{abc}	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.3 การเปลี่ยนแปลงดัชนีความขาวของข้าวสารในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
ดัชนี ความ ขาว (หน่วย)	0	61.94 ± 0.23 ^b	0	61.94 ± 0.23 ^b	0	61.94 ± 0.23 ^b
	2	61.67 ± 0.23 ^{bc}	1	61.01 ± 0.09 ^{de}	0.50	60.89 ± 0.52 ^{de}
	4	61.16 ± 0.31 ^{cd}	2	60.93 ± 0.04 ^{de}	1	60.45 ± 0.04 ^{efg}
	6	60.67 ± 0.69 ^{def}	3	60.91 ± 0.06 ^{de}	1.25	60.14 ± 0.28 ^{gh}
	8	60.96 ± 0.04 ^{de}	4	60.65 ± 0.37 ^{def}	1.50	59.90 ± 0.08 ^{gh}
	10	62.58 ± 0.10 ^a	5	60.39 ± 0.11 ^{efg}	1.75	59.80 ± 0.02 ^h
	12	60.93 ± 0.04 ^{de}	6	60.40 ± 0.08 ^{efg}	2	58.20 ± 0.12 ⁱ
			7	59.76 ± 0.10 ^h	2.25	58.68 ± 0.59 ⁱ
					2.50	58.78 ± 0.04 ⁱ
					2.75	58.49 ± 0.22 ^{ij}
					3	57.91 ± 0.35 ⁱ
					3.50	58.28 ± 0.07 ^{ij}
				4	58.21 ± 0.00 ^{ij}	
				4.50	58.61 ± 0.32 ⁱ	
				5	58.55 ± 0.00 ⁱ	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.4 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการหุงต้มที่น้อยที่สุดของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C ^{ns}
Minimum cooking time (min.)	0	6	0	6	0	6
	2	6	1	7	0.50	7
	4	7	2	7	1	7
	6	8	3	7	1.25	7
	8	8	4	8	1.50	7
	10	8	5	8	1.75	7
	12	8	6	8	2	7
			7	8	2.25	7
					2.50	8
					2.75	8
					3	8
					3.50	8
					4	8
					4.50	8
					5	8

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.5 การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับน้ำของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
Water uptake (%)	0	144.04 ± 0.37 ^c		0	144.04 ± 0.37 ^d		0	144.04 ± 0.37 ^f	
	2	152.99 ± 0.72 ^c		1	166.67 ± 2.11 ^c		0.50	164.78 ± 6.89 ^e	
	4	168.17 ± 7.04 ^b		2	165.00 ± 2.83 ^c		1	176.00 ± 6.65 ^d	
	6	176.00 ± 2.12 ^{ab}		3	178.75 ± 4.60 ^b		1.25	165.34 ± 1.90 ^e	
	8	181.40 ± 1.82 ^a		4	185.61 ± 0.06 ^{ab}		1.50	174.38 ± 2.45 ^d	
	10	181.10 ± 0.01 ^a		5	185.29 ± 1.00 ^{ab}		1.75	176.13 ± 0.71 ^d	
	12	181.94 ± 7.35 ^a		6	186.30 ± 3.83 ^a		2	173.81 ± 1.85 ^d	
				7	184.35 ± 3.75 ^{ab}		2.25	181.40 ± 0.98 ^d	
							2.50	202.97 ± 4.20 ^{ab}	
							2.75	203.74 ± 0.37 ^a	
							3	190.04 ± 7.12 ^c	
							3.50	196.27 ± 0.33 ^{abc}	
							4	203.48 ± 0.01 ^a	
							4.50	198.78 ± 1.76 ^{ab}	
							5	195.28 ± 2.42 ^{bc}	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่สูญเสียขณะหุงต้มของข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C ^{ns}		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
Solid loss (%)	0	0.92 ± 0.09 ^c		0	0.92 ± 0.09		0	0.92 ± 0.09 ^c	
	2	0.97 ± 0.01 ^c		1	1.03 ± 0.29		0.50	0.90 ± 0.06 ^c	
	4	1.05 ± 0.05 ^{bc}		2	1.01 ± 0.14		1	1.31 ± 0.03 ^b	
	6	1.42 ± 0.02 ^a		3	0.99 ± 0.00		1.25	0.74 ± 0.41 ^c	
	8	1.27 ± 0.15 ^a		4	1.17 ± 0.01		1.50	1.51 ± 0.16 ^{ab}	
	10	1.26 ± 0.13 ^a		5	1.24 ± 0.06		1.75	1.47 ± 0.01 ^{ab}	
	12	1.21 ± 0.06 ^{ab}		6	1.22 ± 0.11		2	1.58 ± 0.11 ^{ab}	
				7	1.27 ± 0.02		2.25	1.47 ± 0.06 ^{ab}	
							2.50	1.38 ± 0.06 ^{ab}	
							2.75	1.33 ± 0.06 ^b	
							3	1.38 ± 0.15 ^{ab}	
							3.50	1.61 ± 0.02 ^{ab}	
							4	1.38 ± 0.16 ^{ab}	
							4.50	1.69 ± 0.16 ^a	
							5	1.56 ± 0.06 ^{ab}	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.7 การเปลี่ยนแปลงอัตราการขยายปริมาตรของของหุงสุกในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)		เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)		เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)		เก็บรักษาที่ 40 °C	
	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Volume expansion (%)	0	96.14 ± 2.18 ^c	0	96.14 ± 2.18 ^c	0	96.14 ± 2.18 ^c	0	96.14 ± 2.18 ^f	0	96.14 ± 2.18 ^f	0	96.14 ± 2.18 ^f
	2	93.78 ± 2.22 ^c	1	98.75 ± 4.12 ^c	1	98.75 ± 4.12 ^c	0.50	107.48 ± 13.89 ^{def}	0.50	107.48 ± 13.89 ^{def}	0.50	107.48 ± 13.89 ^{def}
	4	106.68 ± 4.50 ^b	2	93.96 ± 2.72 ^c	2	93.96 ± 2.72 ^c	1	111.45 ± 4.65 ^{cde}	1	111.45 ± 4.65 ^{cde}	1	111.45 ± 4.65 ^{cde}
	6	105.95 ± 3.71 ^b	3	112.53 ± 3.69 ^{ab}	3	112.53 ± 3.69 ^{ab}	1.25	104.70 ± 7.81 ^{def}	1.25	104.70 ± 7.81 ^{def}	1.25	104.70 ± 7.81 ^{def}
	8	98.10 ± 1.17 ^c	4	110.66 ± 7.11 ^b	4	110.66 ± 7.11 ^b	1.50	107.16 ± 2.96 ^{def}	1.50	107.16 ± 2.96 ^{def}	1.50	107.16 ± 2.96 ^{def}
	10	111.42 ± 2.42 ^b	5	110.39 ± 0.41 ^b	5	110.39 ± 0.41 ^b	1.75	106.59 ± 2.79 ^{def}	1.75	106.59 ± 2.79 ^{def}	1.75	106.59 ± 2.79 ^{def}
	12	123.16 ± 1.49 ^a	6	114.14 ± 0.69 ^{ab}	6	114.14 ± 0.69 ^{ab}	2	100.47 ± 0.86 ^{ef}	2	100.47 ± 0.86 ^{ef}	2	100.47 ± 0.86 ^{ef}
					7	121.41 ± 5.33 ^a	2.25	114.48 ± 1.67 ^{cd}	2.25	114.48 ± 1.67 ^{cd}	2.25	114.48 ± 1.67 ^{cd}
							2.50	121.05 ± 4.76 ^{bc}	2.50	121.05 ± 4.76 ^{bc}	2.50	121.05 ± 4.76 ^{bc}
							2.75	129.66 ± 5.01 ^{ab}	2.75	129.66 ± 5.01 ^{ab}	2.75	129.66 ± 5.01 ^{ab}
							3	135.73 ± 0.00 ^a	3	135.73 ± 0.00 ^a	3	135.73 ± 0.00 ^a
							3.50	130.58 ± 4.02 ^{ab}	3.50	130.58 ± 4.02 ^{ab}	3.50	130.58 ± 4.02 ^{ab}
							4	129.17 ± 0.40 ^{ab}	4	129.17 ± 0.40 ^{ab}	4	129.17 ± 0.40 ^{ab}
						4.50	139.37 ± 6.53 ^a	4.50	139.37 ± 6.53 ^a	4.50	139.37 ± 6.53 ^a	
						5	136.25 ± 6.08 ^a	5	136.25 ± 6.08 ^a	5	136.25 ± 6.08 ^a	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของข้าวหุงสุกในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)		เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)		เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)		เก็บรักษาที่ 40 °C	
	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเวลา (เดือน)	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
Hardness (kg)	0	18.20 ± 0.16 ^d	0	18.20 ± 0.16 ^d	0	18.20 ± 0.16 ^f	0	18.20 ± 0.16 ^j	0	18.20 ± 0.16 ^j	0	18.20 ± 0.16 ^j
	2	20.61 ± 0.85 ^c	1	18.37 ± 0.06 ^f	1	18.37 ± 0.06 ^f	0.50	16.38 ± 0.05 ^k	0.50	16.38 ± 0.05 ^k	0.50	16.38 ± 0.05 ^k
	4	22.53 ± 1.70 ^{ab}	2	18.04 ± 0.59 ^f	2	18.04 ± 0.59 ^f	1	17.68 ± 0.06 ^j	1	17.68 ± 0.06 ^j	1	17.68 ± 0.06 ^j
	6	22.34 ± 0.20 ^{bc}	3	49.34 ± 0.01 ^a	3	49.34 ± 0.01 ^a	1.25	18.95 ± 0.02 ^h	1.25	18.95 ± 0.02 ^h	1.25	18.95 ± 0.02 ^h
	8	23.38 ± 0.35 ^{ab}	4	27.77 ± 0.97 ^b	4	27.77 ± 0.97 ^b	1.50	18.13 ± 0.05 ^{ij}	1.50	18.13 ± 0.05 ^{ij}	1.50	18.13 ± 0.05 ^{ij}
	10	24.37 ± 0.37 ^a	5	22.32 ± 0.51 ^e	5	22.32 ± 0.51 ^e	1.75	20.02 ± 0.04 ^g	1.75	20.02 ± 0.04 ^g	1.75	20.02 ± 0.04 ^g
	12	23.51 ± 0.04 ^{ab}	6	25.91 ± 0.23 ^c	6	25.91 ± 0.23 ^c	2	18.43 ± 0.02 ^{hi}	2	18.43 ± 0.02 ^{hi}	2	18.43 ± 0.02 ^{hi}
					7	23.78 ± 0.09 ^d	2.25	44.62 ± 0.81 ^b	2.25	44.62 ± 0.81 ^b	2.25	44.62 ± 0.81 ^b
							2.50	43.36 ± 0.01 ^c	2.50	43.36 ± 0.01 ^c	2.50	43.36 ± 0.01 ^c
							2.75	45.48 ± 0.17 ^a	2.75	45.48 ± 0.17 ^a	2.75	45.48 ± 0.17 ^a
							3	44.08 ± 0.21 ^b	3	44.08 ± 0.21 ^b	3	44.08 ± 0.21 ^b
							3.50	22.15 ± 0.59 ^f	3.50	22.15 ± 0.59 ^f	3.50	22.15 ± 0.59 ^f
							4	35.25 ± 0.52 ^d	4	35.25 ± 0.52 ^d	4	35.25 ± 0.52 ^d
						4.50	35.64 ± 0.19 ^d	4.50	35.64 ± 0.19 ^d	4.50	35.64 ± 0.19 ^d	
						5	23.88 ± 0.16 ^e	5	23.88 ± 0.16 ^e	5	23.88 ± 0.16 ^e	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 10 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.9 การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
Adhesive (kg.s)	0	0.02	± 0.00 ^c	0	0.02	± 0.00 ^f	0	0.02	± 0.00 ^k
	2	0.24	± 0.08 ^b	1	0.04	± 0.00 ^{ef}	0.50	0.03	± 0.00 ^{jk}
	4	0.24	± 0.01 ^b	2	0.20	± 0.01 ^b	1	0.05	± 0.01 ^{ij}
	6	0.34	± 0.01 ^a	3	0.19	± 0.01 ^{bc}	1.25	0.04	± 0.00 ^{jk}
	8	0.26	± 0.02 ^{ab}	4	0.17	± 0.01 ^{cd}	1.50	0.03	± 0.00 ^{jk}
	10	0.31	± 0.05 ^{ab}	5	0.06	± 0.01 ^e	1.75	0.12	± 0.01 ^g
	12	0.23	± 0.01 ^b	6	0.28	± 0.03 ^a	2	0.06	± 0.01 ^{hi}
				7	0.15	± 0.01 ^d	2.25	0.54	± 0.01 ^a
							2.50	0.42	± 0.01 ^b
							2.75	0.36	± 0.02 ^c
							3	0.20	± 0.01 ^f
							3.50	0.08	± 0.01 ^h
							4	0.23	± 0.01 ^e
						4.50	0.31	± 0.01 ^d	
						5	0.08	± 0.01 ^h	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 10 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค. 10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวที่เกาะติดกันของข้าวหุงสุกในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
Cohesive (หน่วย)	0	0.81	± 0.00 ^a	0	0.81	± 0.00 ^a	0	0.81	± 0.00 ^a
	2	0.73	± 0.00 ^b	1	0.79	± 0.00 ^b	0.50	0.78	± 0.00 ^{ab}
	4	0.67	± 0.01 ^f	2	0.75	± 0.01 ^c	1	0.77	± 0.00 ^{abc}
	6	0.71	± 0.00 ^c	3	0.68	± 0.00 ^f	1.25	0.75	± 0.01 ^{bcd}
	8	0.68	± 0.00 ^e	4	0.65	± 0.00 ^g	1.50	0.76	± 0.01 ^{bc}
	10	0.67	± 0.00 ^f	5	0.73	± 0.00 ^d	1.75	0.78	± 0.01 ^{ab}
	12	0.68	± 0.00 ^d	6	0.67	± 0.00 ^f	2	0.73	± 0.00 ^{cd}
				7	0.70	± 0.00 ^e	2.25	0.74	± 0.01 ^{bcd}
							2.50	0.74	± 0.01 ^{bcd}
							2.75	0.73	± 0.00 ^{cd}
							3	0.78	± 0.01 ^{abc}
							3.50	0.71	± 0.00 ^d
							4	0.67	± 0.00 ^e
						4.50	0.67	± 0.01 ^e	
						5	0.74	± 0.07 ^{bcd}	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 10 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเพสตีในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C ^{ns}
Peak temperature (°C)	0	71.90 ± 0.64	0	71.90 ± 0.64	0	71.90 ± 0.64
	2	71.09 ± 0.06	1	71.87 ± 0.54	0.50	72.12 ± 0.33
	4	71.47 ± 0.54	2	71.73 ± 0.35	1	71.64 ± 0.23
	6	71.08 ± 0.04	3	71.73 ± 0.28	1.25	72.10 ± 0.28
	8	71.68 ± 0.32	4	71.90 ± 0.64	1.50	72.07 ± 0.26
	10	71.06 ± 0.04	5	72.59 ± 0.01	1.75	72.31 ± 0.60
	12	70.89 ± 0.30	6	72.32 ± 0.54	2	72.04 ± 0.27
			7	72.13 ± 0.35	2.25	72.12 ± 0.23
					2.50	72.46 ± 0.25
					2.75	72.71 ± 0.67
					3	72.28 ± 0.53
					3.50	72.32 ± 0.02
					4	72.49 ± 0.27
					4.50	72.53 ± 0.32
					5	72.47 ± 0.26

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.12 การเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงสุดของการเกิดเพสตีในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
Peak viscosity (Pa.s)	0	2.35 ± 0.13	0	2.35 ± 0.13 ^d	0	2.35 ± 0.13 ^b
	2	2.35 ± 0.15	1	2.60 ± 0.02 ^{bc}	0.50	2.57 ± 0.04 ^a
	4	2.31 ± 0.02	2	2.54 ± 0.20 ^{cd}	1	2.64 ± 0.07 ^a
	6	2.37 ± 0.01	3	2.64 ± 0.09 ^{bc}	1.25	2.60 ± 0.07 ^a
	8	2.45 ± 0.08	4	2.65 ± 0.06 ^{bc}	1.50	2.65 ± 0.06 ^a
	10	2.40 ± 0.08	5	2.44 ± 0.04 ^{cd}	1.75	2.59 ± 0.04 ^a
	12	2.43 ± 0.06	6	2.93 ± 0.07 ^a	2	2.48 ± 0.04 ^{ab}
			7	2.80 ± 0.04 ^{ab}	2.25	2.59 ± 0.02 ^a
					2.50	2.61 ± 0.13 ^a
					2.75	2.63 ± 0.01 ^a
					3	2.57 ± 0.02 ^a
					3.50	2.48 ± 0.04 ^{ab}
					4	2.64 ± 0.03 ^a
					4.50	2.55 ± 0.13 ^a
					5	2.50 ± 0.03 ^{ab}

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.13 การเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ลดลงในระหว่างทำให้ร้อนของเพสต์ข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
Break down (Pa.s)	0	1.27 ± 0.09	0	1.27 ± 0.09 ^a	0	1.27 ± 0.09 ^{abc}
	2	1.25 ± 0.12	1	1.36 ± 0.01 ^a	0.50	1.34 ± 0.01 ^a
	4	1.18 ± 0.04	2	1.28 ± 0.13 ^a	1	1.34 ± 0.06 ^a
	6	1.22 ± 0.00	3	1.25 ± 0.06 ^a	1.25	1.29 ± 0.06 ^{abc}
	8	1.32 ± 0.07	4	1.23 ± 0.04 ^a	1.50	1.32 ± 0.02 ^{ab}
	10	1.27 ± 0.05	5	0.94 ± 0.00 ^b	1.75	1.22 ± 0.04 ^{bcd}
	12	1.27 ± 0.04	6	1.31 ± 0.04 ^a	2	1.16 ± 0.01 ^{def}
			7	1.26 ± 0.03 ^a	2.25	1.20 ± 0.03 ^{cde}
					2.50	1.15 ± 0.06 ^{def}
					2.75	1.13 ± 0.04 ^{def}
					3	1.10 ± 0.03 ^{efg}
					3.50	1.00 ± 0.00 ^{ghi}
					4	1.08 ± 0.00 ^{ghi}
				4.50	0.98 ± 0.10 ^h	
				5	0.95 ± 0.02 ⁱ	

^A อักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.14 การเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เพิ่มขึ้นในระหว่างทำให้เย็นของเพสต์ข้าวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
Setback (Pa.s)	0	0.37 ± 0.01	0	0.37 ± 0.01 ^e	0	0.37 ± 0.01 ^f
	2	0.36 ± 0.02	1	0.42 ± 0.02 ^d	0.50	0.41 ± 0.02 ^{ef}
	4	0.38 ± 0.03	2	0.41 ± 0.01 ^d	1	0.44 ± 0.01 ^{cde}
	6	0.40 ± 0.01	3	0.47 ± 0.01 ^c	1.25	0.43 ± 0.00 ^{de}
	8	0.36 ± 0.01	4	0.46 ± 0.01 ^c	1.50	0.45 ± 0.01 ^{bcd}
	10	0.37 ± 0.01	5	0.69 ± 0.01 ^a	1.75	0.45 ± 0.01 ^{bcd}
	12	0.36 ± 0.00	6	0.53 ± 0.01 ^b	2	0.44 ± 0.02 ^{cde}
			7	0.51 ± 0.02 ^b	2.25	0.45 ± 0.02 ^{bcd}
					2.50	0.46 ± 0.02 ^{bcd}
					2.75	0.48 ± 0.01 ^{abcd}
					3	0.48 ± 0.02 ^{abcd}
					3.50	0.49 ± 0.01 ^{abc}
					4	0.51 ± 0.01 ^a
				4.50	0.51 ± 0.06 ^a	
				5	0.50 ± 0.02 ^{ab}	

^A อักษรที่ต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.15 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนมากกว่า 150 kDa ของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
พื้นที่ใต้กราฟเชิงสัมพันธ์ของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 150 kDa (%)	0	17.58 ± 0.95 ^c	0	17.58 ± 0.95 ^d	0	17.58 ± 0.95 ^f
	2	17.43 ± 0.16 ^c	1	19.59 ± 0.59 ^{cd}	0.50	23.63 ± 0.01 ^{bcd}
	4	22.83 ± 0.26 ^a	2	22.38 ± 1.17 ^b	1	22.43 ± 0.64 ^d
	6	22.96 ± 0.62 ^a	3	21.18 ± 0.13 ^{bc}	1.25	20.39 ± 0.67 ^e
	8	19.29 ± 0.48 ^b	4	19.29 ± 0.13 ^{cd}	1.50	23.91 ± 0.16 ^{abc}
	10	20.35 ± 0.42 ^b	5	20.95 ± 0.60 ^{bc}	1.75	19.98 ± 0.57 ^e
	12	19.46 ± 0.11 ^b	6	22.68 ± 1.24 ^{ab}	2	19.57 ± 0.60 ^e
			7	24.53 ± 1.07 ^a	2.25	22.65 ± 0.60 ^{cd}
					2.50	24.65 ± 0.42 ^{ab}
					2.75	22.33 ± 0.74 ^d
					3	22.96 ± 0.52 ^{cd}
					3.50	19.54 ± 0.25 ^e
					4	20.36 ± 0.87 ^e
				4.50	23.62 ± 0.71 ^{bcd}	
				5	25.14 ± 0.38 ^a	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.16 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนระหว่าง 150 - 75 kDa ของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C
พื้นที่ใต้กราฟเชิงสัมพันธ์ของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 150 - 75 kDa (%)	0	15.03 ± 0.06 ^c	0	15.03 ± 0.06 ^c	0	15.03 ± 0.06 ^f
	2	17.31 ± 0.41 ^b	1	10.22 ± 0.44 ^e	0.50	10.49 ± 0.59 ^g
	4	19.49 ± 0.81 ^a	2	11.73 ± 0.88 ^d	1	16.81 ± 0.81 ^{def}
	6	19.36 ± 0.30 ^a	3	17.53 ± 0.39 ^b	1.25	16.96 ± 0.49 ^{cdef}
	8	19.03 ± 0.81 ^a	4	19.12 ± 0.58 ^a	1.50	17.29 ± 0.88 ^{bcde}
	10	15.23 ± 0.27 ^c	5	17.23 ± 0.19 ^b	1.75	19.44 ± 1.94 ^{ab}
	12	20.07 ± 0.98 ^a	6	17.24 ± 0.58 ^b	2	18.09 ± 0.37 ^{abcde}
			7	17.21 ± 0.45 ^b	2.25	19.17 ± 0.97 ^{abc}
					2.50	14.86 ± 1.48 ^f
					2.75	20.10 ± 1.08 ^a
					3	16.55 ± 0.29 ^{ef}
					3.50	17.85 ± 0.79 ^{bcde}
					4	19.04 ± 1.27 ^{abcd}
				4.50	14.73 ± 0.83 ^f	
				5	15.06 ± 0.19 ^f	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.17 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนระหว่าง 75 - 35 kDa ของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
พื้นที่ใต้กราฟเชิงสัมพันธ์ของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 75 - 35 kDa (%)	0	29.53	± 0.41 ^d	0	29.53	± 0.41 ^d	0	29.53	± 0.41 ^f
	2	35.85	± 0.11 ^b	1	44.82	± 2.67 ^a	0.50	40.94	± 1.44 ^{cd}
	4	33.72	± 0.28 ^c	2	39.76	± 0.33 ^b	1	46.70	± 1.29 ^a
	6	33.58	± 0.37 ^c	3	42.09	± 0.81 ^b	1.25	42.61	± 1.07 ^{bcd}
	8	38.50	± 0.85 ^a	4	41.36	± 1.05 ^b	1.50	41.13	± 1.97 ^{cd}
	10	35.91	± 0.73 ^b	5	40.02	± 0.39 ^b	1.75	42.06	± 1.84 ^{bcd}
	12	35.28	± 0.48 ^b	6	41.17	± 1.06 ^b	2	43.26	± 0.78 ^{abc}
				7	34.49	± 0.06 ^c	2.25	38.93	± 1.14 ^{de}
							2.50	36.66	± 0.80 ^e
							2.75	38.98	± 2.24 ^{de}
							3	43.33	± 1.91 ^{abc}
							3.50	45.55	± 1.21 ^{ab}
							4	41.00	± 2.06 ^{cd}
							4.50	41.99	± 2.38 ^{bcd}
							5	39.69	± 0.51 ^{cde}

^A อักขระที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.18 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนระหว่าง 35 - 25 kDa ของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
พื้นที่ใต้กราฟเชิงสัมพันธ์ของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 35 - 25 kDa (%)	0	4.52	± 0.22 ^c	0	4.52	± 0.22 ^b	0	4.52	± 0.22 ^{ab}
	2	4.73	± 0.16 ^{bc}	1	5.59	± 0.28 ^a	0.50	3.46	± 0.18 ^{cde}
	4	5.31	± 0.07 ^a	2	4.04	± 0.50 ^{bc}	1	3.68	± 0.27 ^{abcd}
	6	3.93	± 0.16 ^d	3	4.47	± 0.01 ^b	1.25	3.33	± 0.69 ^{def}
	8	3.35	± 0.52 ^d	4	3.93	± 0.01 ^{bc}	1.50	4.31	± 0.20 ^{abc}
	10	5.72	± 0.18 ^a	5	3.40	± 0.42 ^c	1.75	4.99	± 0.10 ^a
	12	3.73	± 0.13 ^d	6	3.83	± 0.30 ^{bc}	2	4.93	± 0.88 ^a
				7	3.50	± 0.24 ^c	2.25	3.44	± 0.68 ^{cde}
							2.50	3.94	± 0.04 ^{abc}
							2.75	3.41	± 0.28 ^{cdef}
							3	3.91	± 0.13 ^{abc}
							3.50	3.83	± 0.27 ^{abc}
							4	3.39	± 0.07 ^{cdef}
							4.50	2.82	± 0.29 ^{ef}
							5	2.52	± 0.13 ^f

^A อักขระที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.19 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนน้อยกว่า 25 kDa ของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
พื้นที่ใต้กราฟเชิงสัมพันธ์ของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 25 kDa (%)	0	20.46	± 0.52 ^a	0	20.46	± 0.52 ^a	0	20.46	± 0.52 ^a
	2	17.01	± 0.56 ^c	1	17.23	± 0.58 ^b	0.50	14.35	± 0.15 ^f
	4	15.68	± 0.55 ^d	2	16.38	± 0.04 ^{bc}	1	18.22	± 0.37 ^{bc}
	6	17.90	± 0.01 ^c	3	16.17	± 0.74 ^{bc}	1.25	16.21	± 1.16 ^{cdef}
	8	19.18	± 0.35 ^b	4	16.32	± 0.86 ^{bc}	1.50	15.94	± 0.95 ^{def}
	10	16.95	± 0.35 ^c	5	15.98	± 0.26 ^{bc}	1.75	11.36	± 0.15 ^g
	12	15.75	± 0.48 ^d	6	15.15	± 0.41 ^c	2	15.06	± 0.98 ^f
				7	17.46	± 1.17 ^d	2.25	19.83	± 0.03 ^{ab}
							2.50	17.74	± 1.27 ^{bcde}
							2.75	15.91	± 0.31 ^f
							3	18.93	± 1.22 ^{ab}
							3.50	14.03	± 0.98 ^f
							4	15.80	± 0.74 ^{def}
							4.50	15.64	± 1.84 ^{ef}
							5	17.90	± 0.81 ^{bcd}

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณรำที่ถูกขัดสีออกของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C		ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
ปริมาณรำ (%)	0	8.47	± 0.01 ^d	0	8.47	± 0.01 ^c	0	8.47	± 0.01 ^a
	2	9.47	± 0.01 ^b	1	9.13	± 0.09 ^{ab}	0.50	8.67	± 0.33 ^a
	4	10.18	± 0.35 ^a	2	8.92	± 0.04 ^b	1	8.22	± 0.06 ^a
	6	10.14	± 0.18 ^a	3	9.46	± 0.01 ^a	1.25	7.66	± 0.49 ^b
	8	9.03	± 0.06 ^c	4	9.53	± 0.01 ^a	1.50	7.69	± 0.21 ^b
	10	10.32	± 0.21 ^a	5	9.38	± 0.23 ^a	1.75	7.62	± 0.04 ^b
	12	10.42	± 0.19 ^a	6	9.52	± 0.44 ^a	2	7.58	± 0.08 ^b
				7	9.31	± 0.08 ^{ab}	2.25	7.49	± 0.11 ^b
							2.50	7.31	± 0.16 ^b
							2.75	7.38	± 0.04 ^b
							3	7.73	± 0.23 ^b
							3.50	7.66	± 0.13 ^b
							4	7.62	± 0.30 ^b
							4.50	7.74	± 0.18 ^b
							5	7.62	± 0.21 ^b

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.21 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องเก็บระหว่างเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
อุณหภูมิภายในห้องเก็บ (°C)	2	10.88 ± 0.05 ^a	1	31.12 ± 0.04 ^b	0.50	40.74 ± 0.27 ⁱ	
	4	11.09 ± 0.28 ^a	2	31.06 ± 0.05 ^b	1	41.96 ± 0.62 ^{fg}	
	6	10.50 ± 0.72 ^b	3	30.32 ± 0.04 ^c	1.25	42.72 ± 0.06 ^{de}	
	8	7.48 ± 0.44 ^d	4	30.34 ± 0.05 ^c	1.50	42.85 ± 0.05 ^d	
	10	8.06 ± 0.31 ^b	5	30.03 ± 0.05 ^d	1.75	42.21 ± 0.03 ^{fg}	
	12	7.72 ± 0.27 ^d	6	29.94 ± 0.05 ^e	2	43.50 ± 0.07 ^{bc}	
				7	31.21 ± 0.26 ^a	2.25	43.88 ± 0.05 ^b
						2.50	44.30 ± 0.04 ^a
						2.75	42.39 ± 0.65 ^e
						3	43.43 ± 0.09 ^c
						3.50	41.12 ± 0.04 ^{hi}
						4	41.92 ± 1.69 ^g
					4.50	40.78 ± 0.04 ⁱ	
					5	41.31 ± 0.18 ^h	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 12 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.22 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเก็บระหว่างเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 3 ระดับ และที่ระยะเวลาแตกต่างกัน^(A,B)

ปัจจัย	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 8 °C ^{ns}	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 30 °C	ระยะเวลา (เดือน)	เก็บรักษาที่ 40 °C	
ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องเก็บ (%RH)	2	73.37 ± 7.00	1	58.59 ± 0.08 ^f	0.50	46.06 ± 1.24 ^a	
	4	72.45 ± 7.14	2	55.63 ± 0.06 ^g	1	37.77 ± 0.49 ^e	
	6	76.28 ± 16.89	3	61.83 ± 0.07 ^c	1.25	38.46 ± 0.14 ^{de}	
	8	82.10 ± 16.24	4	61.68 ± 0.08 ^d	1.50	35.52 ± 0.29 ^{gh}	
	10	78.12 ± 17.28	5	67.48 ± 0.06 ^a	1.75	38.80 ± 0.24 ^d	
	12	78.19 ± 18.43	6	65.03 ± 0.06 ^b	2	33.91 ± 0.14 ^{jk}	
				7	58.92 ± 0.18 ^e	2.25	34.53 ± 0.50 ^{ij}
						2.50	33.54 ± 0.12 ^k
						2.75	35.61 ± 0.61 ^{gh}
						3	35.01 ± 0.17 ^{hi}
						3.50	40.15 ± 0.05 ^c
						4	36.13 ± 2.97 ^{fg}
					4.50	41.36 ± 0.09 ^b	
					5	36.67 ± 0.66 ^f	

^A อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^B ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 12 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ผลความแปรปรวน (ANOVA)

ตารางที่ ง.1.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Moisture content of paddy	Between Groups	33.805	6	5.634	137.178	0.000
	Within Groups	0.287	7	0.041		
	Total	34.092	13			
Head rice yield	Between Groups	197.371	6	32.895	128.777	0.000
	Within Groups	1.788	7	0.255		
	Total	199.159	13			
Whiteness index	Between Groups	5.554	6	0.926	9.502	0.004
	Within Groups	0.682	7	0.097		
	Total	6.236	13			

ตารางที่ ง.1.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Moisture content of paddy	Between Groups	8.167	7	1.167	533.347	0.000
	Within Groups	0.018	8	0.002		
	Total	8.184	15			
Head rice yield	Between Groups	150.141	7	21.449	100.430	0.000
	Within Groups	1.709	8	0.214		
	Total	151.850	15			
Whiteness index	Between Groups	5.568	7	0.795	27.126	0.000
	Within Groups	0.235	8	0.029		
	Total	5.803	15			

ตารางที่ ง.1.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Moisture content of paddy	Between Groups	2.946	14	0.210	4.223	0.004
	Within Groups	0.748	15	0.050		
	Total	3.694	29			
Head rice yield	Between Groups	171.889	14	12.278	20.464	0.000
	Within Groups	9.000	15	0.600		
	Total	180.889	29			
Whiteness index	Between Groups	39.687	14	2.835	40.691	0.000
	Within Groups	1.045	15	0.070		
	Total	40.732	29			

ตารางที่ ง.1.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางกายภาพของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Moisture content of paddy	Corrected Model	46.069	6	7.678	158.664	0.000
	Intercept	1479.200	1	1479.200	30566.494	0.000
	Storage temperature (T)	39.163	2	19.581	404.635	0.000
	Storage time (t)	2.083	1	2.083	43.050	0.000
	T * t	0.615	2	0.308	6.359	0.027
	Error	0.339	7	0.048		
	Total	1715.203	14			
	Corrected Total	46.408	13			
Head rice yield	Corrected Model	44.381	6	7.397	20.770	0.000
	Intercept	27565.313	1	27565.313	77402.699	0.000
	Storage temperature (T)	33.811	2	16.906	47.471	0.000
	Storage time (t)	2.960	1	2.960	8.312	0.024
	T * t	4.881	2	2.440	6.853	0.022
	Error	2.493	7	0.356		
	Total	30372.338	14			
	Corrected Total	46.874	13			
Whiteness index	Corrected Model	29.122	6	4.854	95.463	0.000
	Intercept	46984.879	1	46984.879	924119.569	0.000
	Storage temperature (T)	23.195	2	11.597	228.103	0.000
	Storage time (t)	0.203	1	0.203	3.989	0.086
	T * t	0.139	2	0.069	1.364	0.316
	Error	0.356	7	0.051		
	Total	51091.638	14			
	Corrected Total	29.477	13			

ตารางที่ ง.2.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Minimum cooking time	Between Groups	10.857	6	1.810	-	-
	Within Groups	0.000	7	0.000		
	Total	10.857	13			
Water uptake	Between Groups	2790.531	6	465.089	29.059	0.000
	Within Groups	112.035	7	16.005		
	Total	2902.566	13			
Solid loss	Between Groups	0.399	6	0.067	8.810	0.006
	Within Groups	0.053	7	0.008		
	Total	0.452	13			
Volume expansion	Between Groups	1253.054	6	208.842	27.515	0.000
	Within Groups	53.131	7	7.590		
	Total	1306.185	13			

ตารางที่ ง.2.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Minimum cooking time	Between Groups	7.750	7	1.107	-	-
	Within Groups	0.000	8	0.000		
	Total	7.750	15			
Water uptake	Between Groups	3146.605	7	449.515	56.654	0.000
	Within Groups	63.475	8	7.934		
	Total	3210.080	15			
Solid loss	Between Groups	0.249	7	0.036	2.192	0.147
	Within Groups	0.130	8	0.016		
	Total	0.379	15			
Volume expansion	Between Groups	1339.232	7	191.319	12.520	0.001
	Within Groups	122.252	8	15.281		
	Total	1461.484	15			

ตารางที่ ง.2.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างเก็บรักษานาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Minimum cooking time	Between Groups	11.200	14	0.800	-	-
	Within Groups	0.000	15	0.000		
	Total	11.200	29			
Water uptake	Between Groups	8585.514	14	613.251	50.020	0.000
	Within Groups	183.902	15	12.260		
	Total	8769.416	29			
Solid loss	Between Groups	2.185	14	0.156	7.553	0.000
	Within Groups	0.310	15	0.021		
	Total	2.495	29			
Volume expansion	Between Groups	5816.685	14	415.477	14.027	0.000
	Within Groups	444.304	15	29.620		
	Total	6260.988	29			

ตารางที่ ง.2.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	8.000	6	1.333	-	-
Minimum cooking time					
Intercept	605.000	1	605.000		
Storage temperature (T)	2.667	2	1.333		
Storage time (t)	3.000	1	3.000		
T * t	0.000	2	0.000		
Error	0.000	7	0.000		
Total	694.000	14			
Corrected Total	8.000	13			
Corrected Model	4738.369	6	789.728	89.607	0.000
Water uptake					
Intercept	357586.002	1	357586.002	40573.748	0.000
Storage temperature (T)	1576.558	2	788.279	89.443	0.000
Storage time (t)	1428.119	1	1428.119	162.043	0.000
T * t	107.188	2	53.594	6.081	0.029
Error	61.693	7	8.813		
Total	411507.399	14			
Corrected Total	4800.062	13			
Corrected Model	0.703	6	0.117	11.920	0.002
Solid loss					
Intercept	16.092	1	16.092	1636.097	0.000
Storage temperature (T)	0.502	2	0.251	25.509	0.001
Storage time (t)	0.001	1	0.001	0.054	0.823
T * t	0.071	2	0.036	3.633	0.083
Error	0.069	7	0.010		
Total	19.310	14			
Corrected Total	0.772	13			
Corrected Model	1926.236	6	321.039	25.345	0.000
Volume expansion					
Intercept	136780.838	1	136780.838	10798.526	0.000
Storage temperature (T)	497.968	2	248.984	19.657	0.001
Storage time (t)	1132.769	1	1132.769	89.429	0.000
T * t	136.054	2	68.027	5.371	0.039
Error	88.666	7	12.667		
Total	154624.735	14			
Corrected Total	2014.903	13			

ตารางที่ ง.3.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ระหว่างเก็บรักษา นาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Hardness	Between Groups	52.986	6	8.831	15.645	0.001
	Within Groups	3.951	7	0.564		
	Total	56.937	13			
Adhesiveness	Between Groups	0.129	6	0.022	14.310	0.001
	Within Groups	0.011	7	0.002		
	Total	0.140	13			
Cohesiveness	Between Groups	0.030	6	0.005	661.221	0.000
	Within Groups	0.000	7	0.000		
	Total	0.030	13			

ตารางที่ ง.3.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ระหว่างเก็บรักษา นาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Hardness	Between Groups	1492.818	7	213.260	1045.743	0.000
	Within Groups	1.631	8	0.204		
	Total	1494.449	15			
Adhesiveness	Between Groups	0.114	7	0.016	108.357	0.000
	Within Groups	0.001	8	0.000		
	Total	0.115	15			
Cohesiveness	Between Groups	0.044	7	0.006	232.833	0.000
	Within Groups	0.000	8	0.000		
	Total	0.044	15			

ตารางที่ ง.3.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ระหว่างเก็บรักษา นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Hardness	Between Groups	3821.058	14	272.933	2828.123	0.000
	Within Groups	1.448	15	0.097		
	Total	3822.506	29			
Adhesiveness	Between Groups	0.769	14	0.055	588.633	0.000
	Within Groups	0.001	15	0.000		
	Total	0.771	29			
Cohesiveness	Between Groups	0.043	14	0.003	8.500	0.000
	Within Groups	0.005	15	0.000		
	Total	0.049	29			

ตารางที่ ง.3.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Hardness	Corrected Model	494.740	6	82.457	110.836	0.000
	Intercept	6408.200	1	6408.200	8613.751	0.000
	Storage temperature (T)	60.070	2	30.035	40.372	0.000
	Storage time (t)	270.180	1	270.180	363.170	0.000
	T * t	111.240	2	55.620	74.763	0.000
	Error	5.208	7	0.744		
	Total	7888.018	14			
	Corrected Total	499.947	13			
Adhesiveness	Corrected Model	0.099	6	0.016	14.899	0.001
	Intercept	0.271	1	0.271	245.176	0.000
	Storage temperature (T)	0.019	2	0.010	8.739	0.013
	Storage time (t)	0.007	1	0.007	6.330	0.040
	T * t	0.025	2	0.012	11.072	0.007
	Error	0.008	7	0.001		
	Total	0.481	14			
	Corrected Total	0.107	13			
Cohesiveness	Corrected Model	0.037	6	0.006	122.571	0.000
	Intercept	6.728	1	6.728	134560.000	0.000
	Storage temperature (T)	6.667E-5	2	3.333E-5	0.667	0.543
	Storage time (t)	0.016	1	0.016	322.667	0.000
	T * t	0.001	2	0.001	10.667	0.007
	Error	0.000	7	5.000E-5		
	Total	7.166	14			
	Corrected Total	0.037	13			

ตารางที่ ง.4.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านการเกิดเฟสค์ของแป้งข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Pasting temperature	Between Groups	1.701	6	0.283	2.213	0.161
	Within Groups	0.897	7	0.128		
	Total	2.597	13			
Peak viscosity	Between Groups	0.031	6	0.005	0.657	0.688
	Within Groups	0.055	7	0.008		
	Total	0.086	13			
Breakdown	Between Groups	0.025	6	0.004	0.858	0.566
	Within Groups	0.033	7	0.005		
	Total	0.058	13			
Setback	Between Groups	0.002	6	0.000	1.562	0.285
	Within Groups	0.002	7	0.000		
	Total	0.004	13			

ตารางที่ ง.4.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านการเกิดเฟสค์ของแป้งข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Pasting temperature	Between Groups	1.290	7	0.184	0.851	0.578
	Within Groups	1.733	8	0.217		
	Total	3.023	15			
Peak viscosity	Between Groups	0.484	7	.069	7.372	0.006
	Within Groups	0.075	8	.009		
	Total	0.559	15			
Breakdown	Between Groups	0.223	7	.032	7.372	0.006
	Within Groups	0.035	8	.004		
	Total	0.258	15			
Setback	Between Groups	0.135	7	.019	103.067	0.000
	Within Groups	0.001	8	.000		
	Total	0.137	15			

ตารางที่ ง.4.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านการเกิดเฟสค์ของแป้งข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Pasting temperature	Between Groups	2.129	14	0.152	1.019	0.484
	Within Groups	2.239	15	0.149		
	Total	4.368	29			
Peak viscosity	Between Groups	0.181	14	0.013	2.625	0.037
	Within Groups	0.074	15	0.005		
	Total	0.255	29			
Breakdown	Between Groups	0.474	14	0.034	15.079	0.000
	Within Groups	0.034	15	0.002		
	Total	0.507	29			
Setback	Between Groups	0.042	14	0.003	6.835	0.000
	Within Groups	0.007	15	0.000		
	Total	0.048	29			

ตารางที่ ง.4.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	2.350	6	0.392	1.988	0.195
Pasting temperature					
Intercept	66013.497	1	66013.497	335081.744	0.000
Storage temperature (T)	1.955	2	0.978	4.963	0.045
Storage time (t)	0.330	1	0.330	1.675	0.237
T * t	0.042	2	0.021	0.107	0.900
Error	1.379	7	0.197		
Total	72181.397	14			
Corrected Total	3.729	13			
Corrected Model	0.247	6	0.041	3.443	0.065
Peak viscosity					
Intercept	77.303	1	77.303	6465.016	0.000
Storage temperature (T)	0.172	2	0.086	7.212	0.020
Storage time (t)	0.018	1	0.018	1.475	0.264
T * t	0.022	2	0.011	0.906	0.447
Error	0.084	7	0.012		
Total	85.941	14			
Corrected Total	0.331	13			
Corrected Model	0.059	6	0.010	1.582	0.280
Break down					
Intercept	18.760	1	18.760	3018.826	0.000
Storage temperature (T)	0.037	2	0.018	2.973	0.116
Storage time (t)	0.013	1	0.013	2.040	0.196
T * t	0.000	2	0.000	0.028	0.972
Error	0.044	7	0.006		
Total	20.359	14			
Corrected Total	0.102	13			
Corrected Model	0.036	6	0.006	18.955	0.001
Setback					
Intercept	2.145	1	2.145	6825.398	0.000
Storage temperature (T)	0.022	2	0.011	34.549	0.000
Storage time (t)	0.007	1	0.007	22.299	0.002
T * t	0.001	2	0.001	1.617	0.265
Error	0.002	7	0.000		
Total	2.457	14			
Corrected Total	0.038	13			

ตารางที่ ง.5.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว
ระหว่างเก็บรักษา นาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
T _o	Between Groups	4.457	4	1.114	2.320	0.190
	Within Groups	2.401	5	0.480		
	Total	6.857	9			
T _p	Between Groups	0.487	4	0.122	1.267	0.393
	Within Groups	0.481	5	0.096		
	Total	0.968	9			
T _c	Between Groups	1.690	4	0.423	2.624	0.159
	Within Groups	0.805	5	0.161		
	Total	2.495	9			
ΔH _g	Between Groups	2.682	4	0.671	0.482	0.750
	Within Groups	6.951	5	1.390		
	Total	9.633	9			

ตารางที่ ง.5.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว
ระหว่างเก็บรักษา นาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
T _o	Between Groups	31.509	6	5.251	26.412	0.000
	Within Groups	1.392	7	0.199		
	Total	32.900	13			
T _p	Between Groups	1.817	6	0.303	3.018	0.087
	Within Groups	0.702	7	0.100		
	Total	2.519	13			
T _c	Between Groups	6.972	6	1.162	4.459	0.035
	Within Groups	1.824	7	0.261		
	Total	8.797	13			
ΔH _g	Between Groups	26.408	6	4.401	3.907	0.049
	Within Groups	7.885	7	1.126		
	Total	34.294	13			

ตารางที่ ง.5.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว
ระหว่างเก็บรักษา นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
T _o	Between Groups	9.420	8	1.177	8.214	0.002
	Within Groups	1.290	9	0.143		
	Total	10.710	17			
T _p	Between Groups	0.896	8	0.112	5.365	0.011
	Within Groups	0.188	9	0.021		
	Total	1.083	17			
T _c	Between Groups	5.110	8	0.639	3.667	0.035
	Within Groups	1.568	9	0.174		
	Total	6.678	17			
ΔH _g	Between Groups	2.571	8	0.321	2.217	0.129
	Within Groups	1.304	9	0.145		
	Total	3.875	17			

ตารางที่ ง.5.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของของสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

	Parameters	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
T _o	Corrected Model	25.197	6	4.200	16.707	0.001
	Intercept	50719.570	1	50719.570	201771.421	0.000
	Storage temperature (T)	3.579	2	1.789	7.118	0.021
	Storage time (t)	0.161	1	0.161	0.641	0.450
	T * t	15.543	2	7.771	30.916	0.000
	Error	1.760	7	0.251		
	Total	55852.820	14			
	Corrected Total	26.957	13			
T _p	Corrected Model	0.760	6	0.127	3.275	.073
	Intercept	63540.264	1	63540.264	1643383.896	0.000
	Storage temperature (T)	0.104	2	0.052	1.348	0.320
	Storage time (t)	0.043	1	0.043	1.117	0.326
	T * t	0.071	2	0.036	0.924	0.440
	Error	0.271	7	0.039		
	Total	69616.964	14			
	Corrected Total	1.030	13			
T _c	Corrected Model	4.394	6	.732	4.703	0.031
	Intercept	75986.094	1	75986.094	487961.704	0.000
	Storage temperature (T)	0.503	2	0.252	1.617	0.265
	Storage time (t)	0.057	1	0.057	0.369	0.563
	T * t	2.513	2	1.257	8.069	0.015
	Error	1.090	7	0.156		
	Total	83318.227	14			
	Corrected Total	5.484	13			
ΔH _g	Corrected Model	13.728	6	2.288	2.517	0.126
	Intercept	1429.402	1	1429.402	1572.623	0.000
	Storage temperature (T)	4.988	2	2.494	2.744	0.132
	Storage time (t)	0.051	1	0.051	0.056	0.820
	T * t	8.599	2	4.299	4.730	0.050
	Error	6.363	7	0.909		
	Total	1576.216	14			
	Corrected Total	20.090	13			

ตารางที่ ง.6.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของพื้นที่ใต้กราฟเชิงสัมพัทธ์ของโปรตีนข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
MW of protein > 150 kDa	Between Groups	60.288	6	10.048	38.751	0.000
	Within Groups	1.815	7	0.259		
	Total	62.104	13			
of protein 150-75 kDa	Between Groups	52.655	6	8.776	23.633	0.000
	Within Groups	2.599	7	0.371		
	Total	55.254	13			
MW of protein 75-35 kDa	Between Groups	92.907	6	15.485	57.721	0.000
	Within Groups	1.878	7	0.268		
	Total	94.785	13			
MW of protein 35-25 kDa	Between Groups	8.868	6	1.478	24.075	0.000
	Within Groups	0.430	7	0.061		
	Total	9.298	13			
MW of protein < 25 kDa	Between Groups	37.275	6	6.212	31.712	0.000
	Within Groups	1.371	7	0.196		
	Total	38.646	13			

ตารางที่ ง.6.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของพื้นที่ใต้กราฟเชิงสัมพัทธ์ของโปรตีนข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
MW of protein > 150 kDa	Between Groups	67.629	7	9.661	13.578	0.001
	Within Groups	5.692	8	0.712		
	Total	73.321	15			
MW of protein 150-75 kDa	Between Groups	136.545	7	19.506	76.438	0.000
	Within Groups	2.042	8	0.255		
	Total	138.587	15			
MW of protein 75-35 kDa	Between Groups	330.161	7	47.166	36.264	0.000
	Within Groups	10.405	8	1.301		
	Total	340.566	15			
MW of protein 35-25 kDa	Between Groups	6.885	7	0.984	11.205	0.001
	Within Groups	0.702	8	0.088		
	Total	7.587	15			
MW of protein < 25 kDa	Between Groups	36.333	7	5.190	11.832	0.001
	Within Groups	3.510	8	0.439		
	Total	39.843	15			

ตารางที่ ง.6.3 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของพื้นที่ใต้กราฟเชิงสัมพัทธ์ของโปรตีนข้าวระหว่างเก็บรักษา นาน 5 เดือน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
MW of protein > 150 kDa	Between Groups	136.441	14	9.746	27.569	0.000
	Within Groups	5.303	15	0.354		
	Total	141.743	29			
MW of protein 150-75 kDa	Between Groups	171.193	14	12.228	13.822	0.000
	Within Groups	13.271	15	0.885		
	Total	184.464	29			
MW of protein 75-35 kDa	Between Groups	456.795	14	32.628	13.913	0.000
	Within Groups	35.178	15	2.345		
	Total	491.973	29			
MW of protein 35-25 kDa	Between Groups	13.768	14	0.983	6.745	0.000
	Within Groups	2.187	15	0.146		
	Total	15.955	29			
MW of protein < 25 kDa	Between Groups	160.815	14	11.487	13.908	0.000
	Within Groups	12.389	15	0.826		
	Total	173.204	29			

ตารางที่ ง.6.4 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของของพื้นที่ได้กราฟเชิงสัมพัทธ์ของโปรตีนข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
MW of protein > 150 kDa	Corrected Model	53.767	6	8.961	17.918	0.001
	Intercept	4928.858	1	4928.858	9855.182	0.000
	Storage temperature (T)	1.705	2	0.852	1.704	0.249
	Storage time (t)	3.193	1	3.193	6.384	0.039
	T * t	36.085	2	18.043	36.076	0.000
	Error	3.501	7	0.500		
	Total	5610.167	14			
	Corrected Total	57.268	13			
MW of protein 150-75 kDa	Corrected Model	95.451	6	15.908	30.251	0.000
	Intercept	3635.556	1	3635.556	6913.300	0.000
	Storage temperature (T)	24.980	2	12.490	23.751	0.001
	Storage time (t)	36.925	1	36.925	70.216	0.000
	T * t	23.416	2	11.708	22.263	0.001
	Error	3.681	7	0.526		
	Total	4199.372	14			
	Corrected Total	99.132	13			
MW of protein 75-35 kDa	Corrected Model	290.749	6	48.458	53.833	0.000
	Intercept	17287.788	1	17287.788	19205.452	0.000
	Storage temperature (T)	119.627	2	59.813	66.448	0.000
	Storage time (t)	2.604	1	2.604	2.893	0.133
	T * t	9.623	2	4.812	5.345	0.039
	Error	6.301	7	0.900		
	Total	20281.914	14			
	Corrected Total	297.050	13			
MW of protein 35-25 kDa	Corrected Model	5.203	6	0.867	5.430	0.021
	Intercept	249.783	1	249.783	1564.147	0.000
	Storage temperature (T)	2.463	2	1.232	7.713	0.017
	Storage time (t)	0.375	1	0.375	2.345	0.170
	T * t	2.336	2	1.168	7.314	0.019
	Error	1.118	7	0.160		
	Total	277.801	14			
	Corrected Total	6.321	13			
MW of protein < 25 kDa	Corrected Model	38.063	6	6.344	14.184	0.001
	Intercept	3762.299	1	3762.299	8412.071	0.000
	Storage temperature (T)	2.245	2	1.122	2.510	0.151
	Storage time (t)	0.139	1	0.139	0.310	0.595
	T * t	2.176	2	1.088	2.433	0.158
	Error	3.131	7	0.447		
	Total	3931.972	14			
	Corrected Total	41.194	13			

ตารางที่ ง.7.1 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณรำที่ถูกขัดสีออกของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Treatment		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
8 °C นาน 12 เดือน	Between Groups	6.678	6	1.113	33.303	0.000
	Within Groups	0.234	7	0.033		
	Total	6.912	13			
30 °C นาน 7 เดือน	Between Groups	1.890	7	0.270	8.305	0.004
	Within Groups	0.260	8	0.033		
	Total	2.151	15			
40 °C นาน 5 เดือน	Between Groups	4.163	14	0.297	6.585	0.000
	Within Groups	0.677	15	0.045		
	Total	4.840	29			

ตารางที่ ง.7.2 ความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณรำที่ถูกขัดสีออกของข้าวระหว่างเก็บรักษาที่ 0 2 และ 4 เดือน ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 3 ระดับ (8 30 และ 40 องศาเซลเซียส) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Parameters		Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
ปริมาณรำ ที่ถูกขัดสีออก	Corrected Model	11.764	6	1.961	61.876	0.000
	Intercept	986.029	1	986.029	31119.047	0.000
	Storage temperature (T)	10.590	2	5.295	167.106	0.000
	Storage time (t)	0.612	1	0.612	19.315	0.003
	T * t	0.265	2	0.133	4.188	0.064
	Error	0.222	7	0.032		
	Total	1101.432	14			
	Corrected Total	11.985	13			

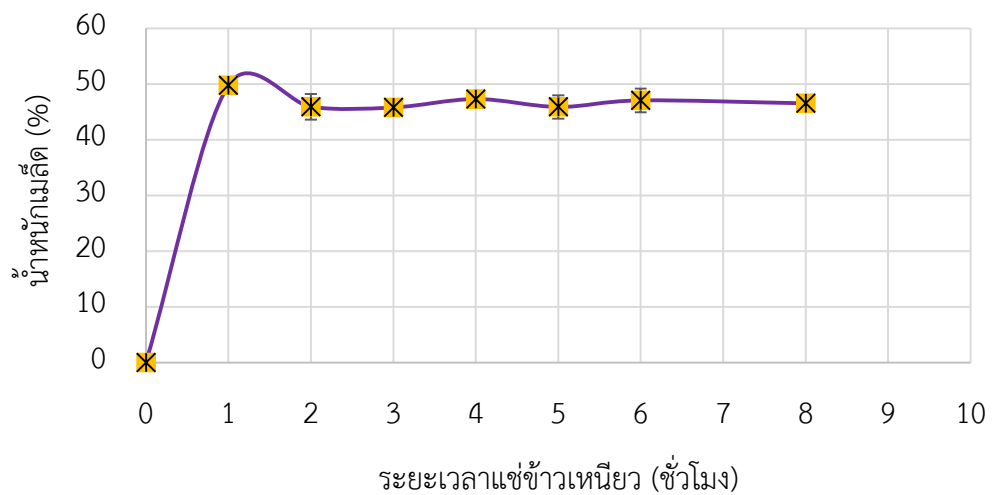
ตารางที่ ๘.8 ตารางสรุปผลความแปรปรวนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

No.	Parameters	One way ANOVA						Factorial in CRD 3x2							
		8°C		30 °C		40 °C		8 °C * 30 °C * 40 °C		T		t		T*t	
		Sig.	Non Sig.	Sig.	Non Sig.	Sig.	Non Sig.	Sig.	Non Sig.	Sig.	Non Sig.	Sig.	Non Sig.	Sig.	Non Sig.
1	Moisture content of paddy	✓		✓		✓				✓				✓	
2	Head rice yield	✓		✓		✓				✓				✓	
3	Whiteness index	✓		✓		✓				✓				✓	
4	Minimum cooking time		✓		✓		✓					✓			✓
5	Water uptake	✓		✓		✓				✓				✓	
6	Solid loss	✓		✓		✓				✓				✓	
7	Volume expansion	✓		✓		✓				✓				✓	
8	Hardness	✓		✓		✓				✓				✓	
9	Adhesiveness	✓		✓		✓				✓				✓	
10	Cohesiveness	✓		✓		✓				✓				✓	
11	Pasting temperature		✓		✓		✓					✓			✓
12	Peak viscosity		✓		✓		✓					✓			✓
13	Breakdown		✓		✓		✓					✓			✓
14	Setback		✓		✓		✓					✓			✓
15	Onset temperature (To)		✓		✓		✓					✓			✓
16	Peak temperature (Tp)		✓		✓		✓					✓			✓
17	Conclusion temperature (Tc)		✓		✓		✓					✓			✓
18	Enthalpy of gelatinization (ΔH _g)		✓		✓		✓					✓			✓
19	MW of protein > 150 kDa	✓		✓		✓				✓				✓	
20	MW of protein 150 - 75 kDa	✓		✓		✓				✓				✓	
21	MW of protein 75 - 35 kDa	✓		✓		✓				✓				✓	
22	MW of protein 35 - 25 kDa	✓		✓		✓				✓				✓	
23	MW of protein < 25 kDa	✓		✓		✓				✓				✓	

ภาคผนวก จ
ผลการทำนายค่าคุณภาพของข้าวโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ
ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม



รูปที่ จ.1 ตัวอย่างข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร กข 10



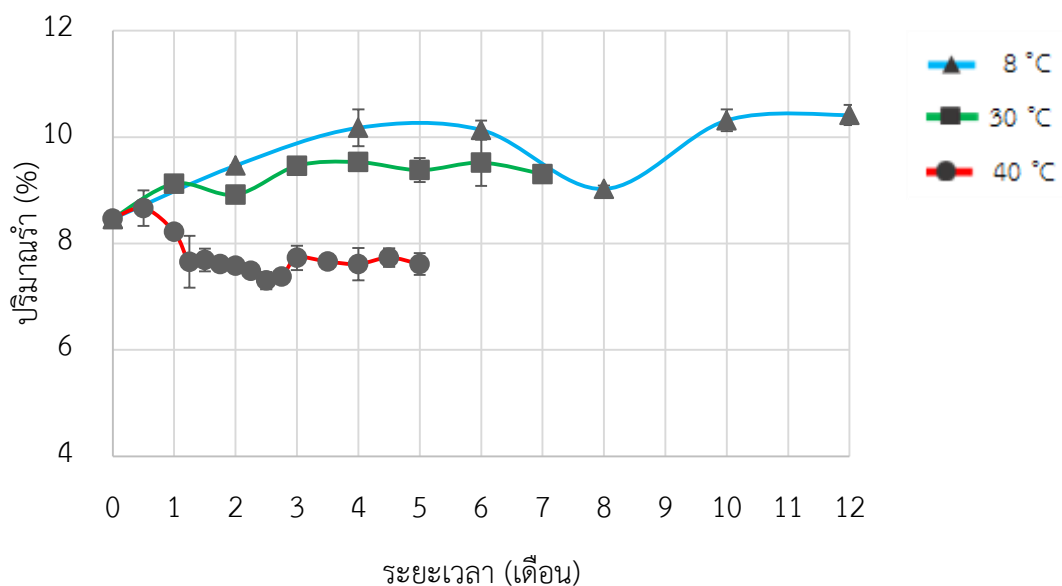
รูปที่ จ.2 ระยะเวลาที่แตกต่างกันในการแช่ข้าวเหนียวภาวะอุณหภูมิห้องก่อนการหุงสุก

Error bar แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ
โดยใช้ข้าวเหนียว 1 g : น้ำกลั่น 10 ml

ตารางที่ จ.1 ระยะเวลาที่แตกต่างกันในการแช่ข้าวเหนียวที่ภาวะอุณหภูมิห้องก่อนการหุงสุก^(A)

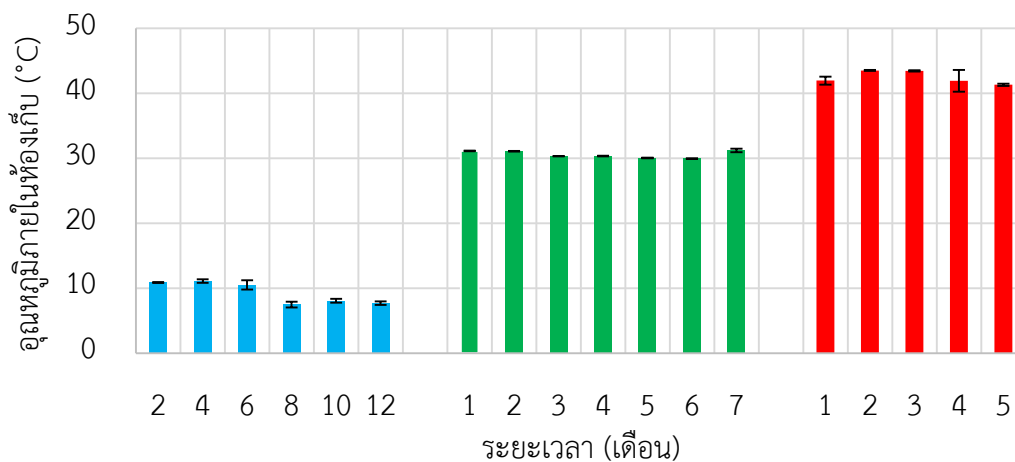
ระยะเวลาแช่ข้าวเหนียว (ชั่วโมง)	น้ำหนักเมล็ด (%)
0	0
1	49.77 ± 1.07
2	45.91 ± 2.31
3	45.81 ± 0.38
4	47.32 ± 0.54
5	45.90 ± 2.09
6	47.07 ± 2.14
8	46.55 ± 0.59

^A ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



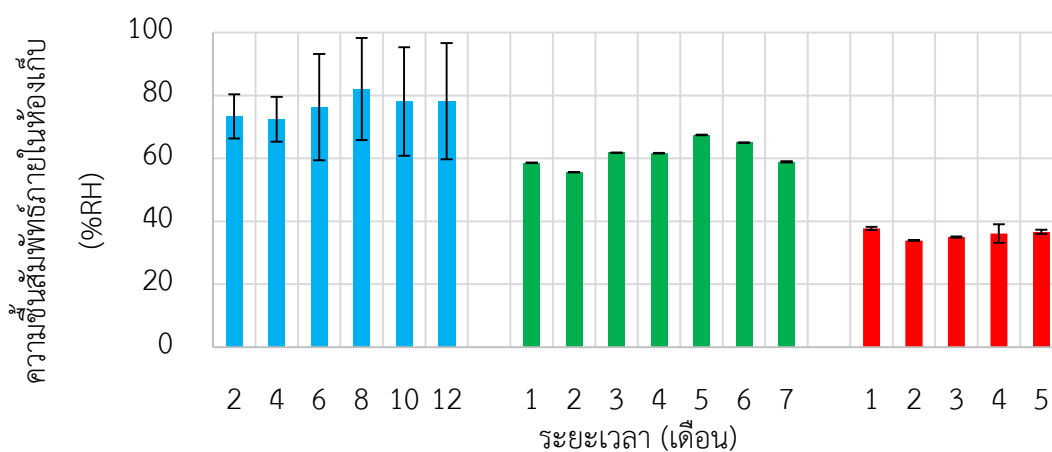
รูปที่ จ.3 ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับออกของข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

Error bar แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ



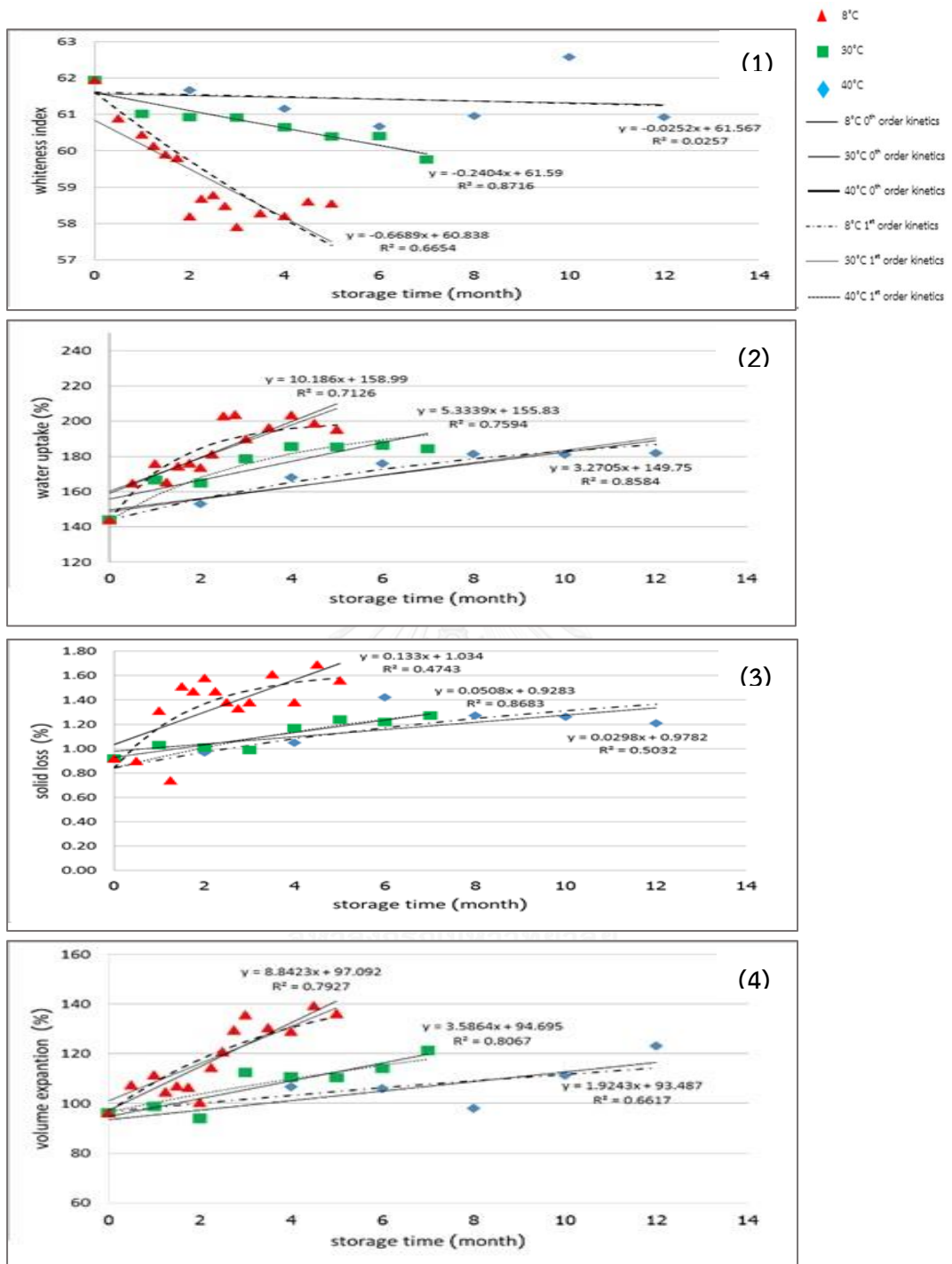
รูปที่ จ.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

Error bar แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 12 ซ้ำ



รูปที่ จ.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมภายในห้องที่เก็บรักษาข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกัน

Error bar แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 12 ซ้ำ

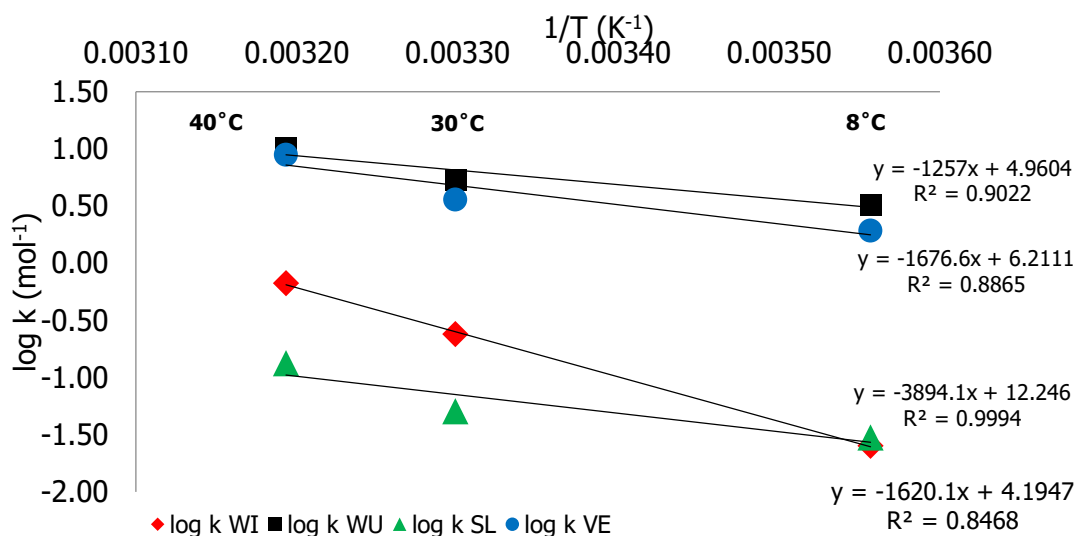


รูปที่ ๖.6 ค่าจากการทดลอง และค่าจากการทำนายโดยใช้ zeroth order model และ first order fractional conversion model

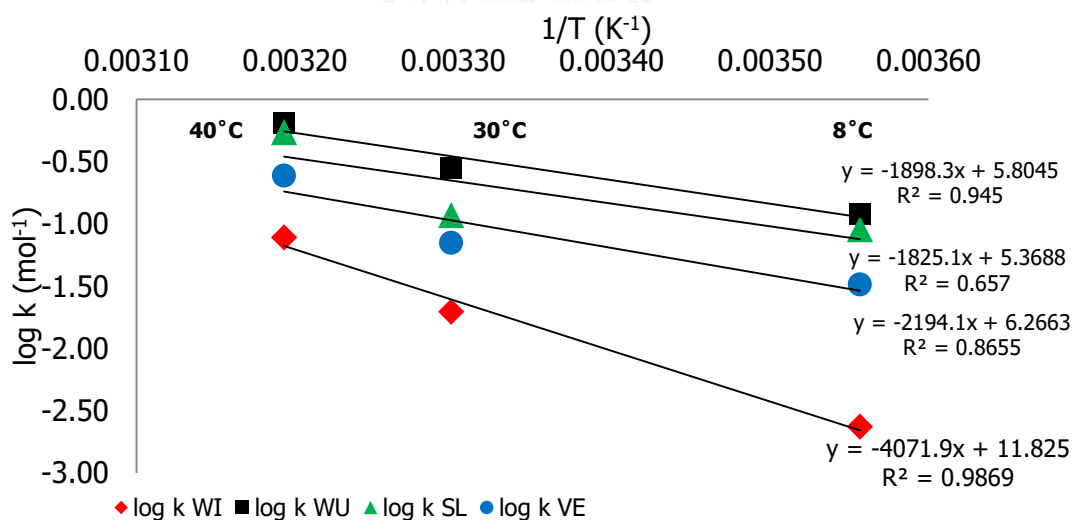
หมายเหตุ (1) whiteness index, (2) water uptake, (3) solid loss และ (4) volume expansion

ตารางที่ จ.2 ค่าพารามิเตอร์ ($1/T$ และ $\log k_0$) ของการใช้ Arrhenius relationship ในการทำนายค่าคุณภาพของข้าวตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน

Arrhenius relationship parameters จาก zero th order kinetics model					
Temperature storage	$1/T$ (K ⁻¹)	$\log k$ WI	$\log k$ WU	$\log k$ SL	$\log k$ VE
8°C	0.00356	-1.60	0.51	-1.53	0.28
30°C	0.00330	-0.62	0.73	-1.29	0.55
40°C	0.00319	-0.17	1.01	-0.88	0.95
		WI	WU	SL	VE
	$\log k_0 =$	12.25	4.96	4.19	6.21
	$k_0 =$	1.76E+12	9.13E+04	1.57E+04	1.63E+06
	$E_a/2.303R =$	3.89E+03	1.26E+03	1.62E+03	1.68E+03
	E_a (J/mol) =	7.46E+04	2.41E+04	3.10E+04	3.21E+04
	E_a (kJ/mol) =	74.6	24.1	31.0	32.1
Arrhenius relationship model parameters จาก first order kinetics model					
Temperature storage	$1/T$ (K ⁻¹)	$\log k$ WI	$\log k$ WU	$\log k$ SL	$\log k$ VE
8°C	0.00356	-2.63	-0.92	-1.04	-1.49
30°C	0.00330	-1.70	-0.55	-0.93	-1.15
40°C	0.00319	-1.11	-0.19	-0.26	-0.61
		WI	WU	SL	VE
	$\log k_0 =$	11.83	5.80	5.37	6.27
	$k_0 =$	6.68E+11	6.38E+05	2.34E+05	1.85E+06
	$E_a/2.303R =$	4.07E+03	1.90E+03	1.83E+03	2.19E+03
	E_a (J/mol) =	7.80E+04	3.63E+04	3.49E+04	4.20E+04
	E_a (kJ/mol) =	78.0	36.3	34.9	42.0



รูปที่ จ.7 Arrhenius plot ของค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่ศูนย์ (zeroth order kinetics model)



รูปที่ จ.8 Arrhenius plot ของค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง (first order kinetics model)

WI หมายถึง whiteness index, WU หมายถึง water uptake, SL หมายถึง solid loss, VE หมายถึง volume expansion

ตารางที่ จ.3 ค่า factor loading จากสององค์ประกอบแรกที่แยกสกัดได้จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน (ยกเว้นค่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก และค่าสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าว)

Parameters		Factor loading	
		PC 1	PC 2
1. คุณภาพการสี	MC	-0.246	0.421
	HRV	0.142	-0.484
	WI	-0.357	6.835e-02
2. คุณภาพการหุงต้ม	MCT	0.254	0.389
	WU	0.346	0.223
	SL	0.266	0.162
	VE	0.327	0.200
3. การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเพสต์ขณะร้อนและเย็น	PT	0.299	-0.218
	PV	0.179	-0.178
	BD	-0.271	-0.132
	SB	0.295	-4.161e-02
4. รูปแบบน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนในแป้งข้าว	MW of protein >150 kDa	0.210	6.779e-02
	MW of protein 150-75 kDa	5.931e-02	0.291
	MW of protein 75-35 kDa	0.186	-0.319
	MW of protein 35-25 kDa	-0.245	-9.998e-02
	MW of protein <25 kDa	-7.895e-02	0.129

ค่า factor loading ที่แสดงในตารางนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

PC 1 หมายถึง principle component 1, PC 2 หมายถึง principle component 2, MC หมายถึง moisture content of paddy, HRV หมายถึง head rice yield, WI หมายถึง whiteness index, MCT หมายถึง minimum cooking time, WU หมายถึง water uptake, SL หมายถึง solid loss, VE หมายถึง volume expansion, PT หมายถึง pasting temperature, PV หมายถึง peak viscosity, BD หมายถึง breakdown, SB หมายถึง setback, MW of protein หมายถึง molecular weight of protein

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัชฌา เพชรสลั๊บกั้ว เกิดวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปี การศึกษา 2553 และเข้าทำงานบริษัทส่งออกข้าวที่ บริษัท โทมี่ อินเทอร์เน็ต จำกัด ในตำแหน่งผู้ ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้าวระดับปฏิบัติการ เป็นระยะเวลา 1 ปี ก่อนศึกษาต่อในระดับ ปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2555

ผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่

อัชฌา เพชรสลั๊บกั้ว และ จิรารัตน์ อนันตกุล. 2558. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลา การเก็บรักษาต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเหนียว กข 10. ใน การประชุมวิชาการและเสนอ ผลงานวิจัยพืชเขตร้อนและกึ่งร้อน ครั้งที่ 9 (Paper presented). วันที่ 3 – 4 กันยายน พ.ศ. 2558 ณ โรงแรม เดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร.