ผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

นางสาวปัทมา เล้าประเสริฐ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF IN-BIN AERATION STORAGE ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND QUALITY OF GLUTINOUS RICE CULTIVAR RD 6

Miss Patthama Laoprasert

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6
โดย	นางสาวปัทมา เล้าประเสริฐ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ ทัตติยกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.ละมุล วิเศษ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัทมา เล้าประเสริฐ : ผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6. (EFFECTS OF IN-BIN AERATION STORAGE ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND QUALITY OF GLUTINOUS RICE CULTIVAR RD 6) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, 133 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ภายใต้การเก็บในถังที่มีการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม และการเป่าด้วยอากาศเย็นที่อุณหภูมิ 15 และ 20°C เปรียบเทียบกับการเก็บในกระสอบ เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน จากผลการทดลองพบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่สภาวะต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเพียงเล็กน้อย สำหรับค่าสีของข้าวสารพบว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบทำให้ดัชนีความขาวลดลง และค่า b* เพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่ 15 และ 20°C ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกลดลงในขณะเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นการเก็บในกระสอบ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในระหว่างการเก็บ ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าที่ 15 และ 20°C ส่วนการเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีน มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกสภาวะการเก็บรักษา แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดด้วยเครื่อง RVA อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 68.07–69.68°C ความหนืดสูงสุด มีค่าสูงขึ้นและความหนืดที่ลดลง มีค่าลดลง โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่ 15°C มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดที่ลดลงน้อยกว่าที่ 20°C อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ ตามลำดับ ส่วนค่าเซตแบคของข้าวเปลือกที่เก็บที่ 15°C มีค่าลดลง ในขณะที่ 20°C อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบมีค่าเซตแบคสูงขึ้น เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรด และจากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC พบว่า T_o T_p และ T_c มีค่าสูงขึ้นในทุกสภาวะการเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาข้าวเปลือกในกระสอบ ทำให้ ΔH_{gel} มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ 15, 20°C และอุณหภูมิแวดล้อม เมื่อพิจารณาสมบัติด้านการหุงต้มพบว่าระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น ค่าการดูดซับน้ำ และอัตราการยืดตัวของข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่ 15°C มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการหุงต้มน้อยกว่าที่ 20°C อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียว โดยวิธีทดสอบแบบ TPA พบว่าความแข็ง ความเกาะติดกัน และพลังงานในการเคี้ยว มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเหนียวติดกัน มีค่าลดลง โดยการเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพบว่าข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ ข้าวเหนียวมีสีเหลือง และมีกลิ่นผิดปกติมากกว่าที่ 15 และ 20°C ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวพบว่าความแข็ง และพลังงานในการเคี้ยวมีค่าเพิ่มขึ้น ความเหนียวติดฟัน และความเกาะติดกันมีค่าลดลง ข้าวเปลือกที่เก็บที่ 15 และ 20°C มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด และผู้ทดสอบยอมรับข้าวเปลือกที่เก็บที่ 15 และ 20°C มากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทำให้การยอมรับมีค่าลดลง

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ปัทมา เล้าประเสริฐ

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

ปีการศึกษา 2552

5072354423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS :Glutinous rice cultivar 6 / Aeration / Storage / Physicochemical / Quality

PATTHAMA LAOPRASERT : EFFECTS OF IN-BIN AERATION STORAGE ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND QUALITY OF GLUTINOUS RICE CULTIVAR RD 6. THESIS ADVISOR : CHALEEDA BOROMPICHAICHARTKUL, Ph,D., 133 pp.

The aim of this research is to study the effect of storage conditions on physicochemical properties and quality of glutinous rice cultivar RD 6. The storage conditions were in bin with ambient aeration then stored at room temperature, cool aeration then kept at 15, 20°C and in gunny bag for 6 months. The results showed that percentage of head rice yield of paddy in all storage conditions was slightly different from control after 6 months storage. The whiteness index of paddy kept in ambient temperature and gunny bag were decreased while its b* value increased higher than paddy kept at 15 and 20°C as time of storage was increased. Moisture content of paddy at all storage temperatures was decreased with storage time except paddy kept in gunny bag. Statistical analysis showed that amylose content of paddy at all storage conditions and in gunny bag after 6 months was not significant difference (p>0.05). Free fatty acid content was increased during storage duration. The paddy kept in ambient condition and gunny bag had the free fatty acid more than those were kept at 15 and 20°C. The changes of disulfide linkages in protein slightly increased at all storage conditions but it was not significant difference (p>0.05). Pasting properties were measured by using RVA. The results showed that paddy stored at different temperatures and in gunny bag, showed increasing of pasting temperature and the value was between 68.07 – 69.68°C. Peak viscosity was also increased but breakdown was decreased during storage for all samples. Changes of peak viscosity and breakdown of paddy kept in gunny bag was markedly observed more than those were kept at ambient temperature, 20 and 15°C respectively. The setback of paddy kept at 15°C was decreased while kept at 20°C, ambient temperature and in gunny bag, setback were increased as the result of retrogradation. Thermal properties were measured by using DSC. Increasing of T_o T_p and T_c at all storage temperatures. The paddy kept in gunny bag had ΔH_{gel} higher than 15°C, 20°C and ambient temperature after 6 months storage. Changes of cooking properties of paddy kept at 15°C were less than at 20°C, ambient temperature and gunny bag storage. Cooking time was increased where as water uptake and elongation ratio were significantly reduced in all samples stored at different conditions. The analysis of cooked glutinous rice texture properties by using TPA method showed that all paddy sample had increasing of hardness, cohesiveness and chewiness, while adhesiveness was decreased after 6 months storage. Furthermore, The paddy kept at ambient temperature and in gunny bag had the most changing of the texture properties. Sensory evaluation of cooked rice by trained panellists showed that paddy kept at ambient temperature and in gunny bag had yellowing colour and abnormal aroma. Its hardness and chewiness of cooked rice were increased while adhesiveness and cohesiveness decreased after 6 months storage. The paddy kept at 15 and 20°C had the least changing of texture properties and panelists accepted the paddy kept at 15 and 20°C more than at ambient temperature and gunny bag. Increasing of storage duration led to decreasing of overall acceptance score.

Department : Food Technology
Field of Study : Food Technology
Academic Year : 2009

Student's Signature Patthama Laoprasert
Advisor's Signature Chaleeda Borompichaichartkul

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.ละมุล วิเศษ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนความเอาใจใส่ดูแลและให้ความช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด รวมถึงกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ ทัตติยกุล และอาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาเสียสละเวลามาตรวจสอบ พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ นาถกรณกุล รักษาการประธานสายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านห้องปฏิบัติการ รวมถึงเจ้าหน้าที่ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร ณัฐพล ภูมิสะอาด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับการทดลองในส่วนของการเป่าอากาศและเก็บตัวอย่าง เพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอบคุณพี่ น้องและเพื่อนๆ ปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน สำหรับการอำนวยความสะดวกในการวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวเล้าประเสริฐทุกท่าน ที่ได้สั่งสอนให้ผู้วิจัยมีความอดทน ให้กำลังใจ และความห่วงใยพร้อมทั้งสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์ให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วารสารปริทัศน์..... 2

2.1 ข้าว..... 2

2.2 พันธุ์ข้าวเหนียวที่ปลูกในประเทศไทย..... 2

2.3 ข้าวพันธุ์ กข 6..... 7

2.4 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6..... 7

2.4.1 สตาร์ช..... 8

2.4.2 โปรตีน..... 12

2.4.3 ไขมัน 13

2.5 คุณภาพของข้าว..... 14

2.6 สมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งข้าว..... 14

2.6.1 สมบัติทางความหนืด..... 14

2.6.2 สมบัติทางความร้อน..... 16

2.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบของข้าว ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) 18

2.8 การเก็บรักษาข้าว..... 20

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา..... 21

3 การดำเนินงานวิจัย..... 27

3.1 วัตถุดิบ..... 27

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 28
3.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่ 28
3.3.2 ศึกษาการเก็บรักษาข้าวเหนียวภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ..... 28
3.3.3 ศึกษาสมบัติต่างๆ ของข้าวเหนียวที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ..... 29
3.3.4 ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวสุก ของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ 31
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 33
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6..... 33
4.2 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อสมบัติทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6..... 34
4.2.1 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น..... 34
4.2.2 ค่าสีของข้าวสาร..... 36
4.3 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อสมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6..... 39
4.3.1 ปริมาณความชื้น..... 39
4.3.2 ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าว (apparent amylose content)..... 41
4.3.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ..... 42
4.3.4 การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 โดยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)..... 44
4.4 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อสมบัติทางความหนืดของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6..... 48
4.5 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อสมบัติทางความร้อนของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6..... 53
4.6 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศต่อสมบัติด้านการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 58
4.6.1 ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time)..... 58

บทที่ หน้า

4.6.2 ค่าการดูดซับน้ำ (Water Uptake) และอัตราการยืดตัว (Elongation Ratio)..... 59
4.7 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6..... 62
4.8 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6.. 66
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 73
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 73
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 74
รายการอ้างอิง..... 75
ภาคผนวก..... 84
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์..... 85
ภาคผนวก ข แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส..... 102
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม..... 105
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลทางสถิติ..... 118
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆที่ปลูกในประเทศไทย……..	3
2.2	องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแอมิโลสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (g/100 g dry basis)……	7
2.3	คุณภาพข้าวหุงสุกแบ่งตามปริมาณแอมิโลส……..	11
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ……..	33
4.2	อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืด..……	50
4.3	อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อน……...	56
4.4	อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส……..	64
4.5	อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส……..	70
ก.1	ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของแป้งข้าว……..	96
ข.1	อธิบายคำศัพท์ คำจำกัดความ และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนาของข้าวเหนียวหุงสุก……	104
ค.1	เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……..……...	105
ค.2	ค่า L^* a^* b^* และดัชนีความขาวของข้าวสารพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……..……...	106
ค.3	ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……..……..	107
ค.4	อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในจังหวัดมหาสารคาม ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2550 ถึงพฤษภาคม 2551……..……....	108
ค.5	ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……	108
ค.6	ปริมาณกรดไขมันอิสระของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……..……..	109
ค.7	Ratio of absorbance height ของการเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……	110

ตารางที่ หน้า

ค.8 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 111

ค.9 T_o,T_p,T_c และ ΔH_{gel} ของการเกิดเจลาทิไนซ์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 112

ค.10 ระยะเวลาการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 113

ค.11 ค่าการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 114

ค.12 อัตราการยืดตัวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 115

ค.13 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 116

ค.14 คะแนนการทดสอบเชิงพรรณนาในการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 117

ง.1 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของร้อยละข้าวต้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 118

ง.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* และดัชนีความขาวของข้าวสารพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 119

ง.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 120

ง.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 120

ง.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณกรดไขมันอิสระของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 121

ตารางที่ หน้า

ง.6 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 121

ง.7 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 122

ง.8 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 124

ง.9 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของระยะเวลาในการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 125

ง.10 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 126

ง.11 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของอัตราการยืดตัวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 126

ง.12 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 127

ง.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนการทดสอบเชิงพรรณนาในการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%..... 129

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของแอมิโลส …….	8
2.2	ลักษณะเกลียวของแอมิโลส…….....	9
2.3	โครงสร้างของแอมิโลเพกติน…….……..	10
2.4	ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของแกรนูลสตาร์ชที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) ของแอมิโลเพกติน…….……	10
2.5	โปรตีนรูปร่างกลมขนาดเล็กและขนาดใหญ่แทรกระหว่างเม็ดแป้ง ถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 5,000 เท่า…….....	13
2.6	สมบัติด้านความหนืด; การเกิดเจลาทิไนซ์ของเม็ดแป้ง (A), ค่าต่างๆ ที่วัดได้จากเครื่อง RVA (B)……...	15
2.7	ลักษณะ thermogram ของสารแขวนลอยแป้งข้าว จากเครื่อง DSC แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกี่ยวเนื่องกับการเกิดเจลาทิไนซ์……..…….....	17
2.8	หลักการทำงานของเครื่อง FT-IR เพื่อให้ได้ FT-IR สเปกตรัม……..	19
2.9	การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา	22
3.1	ถังเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบมีการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม…….	32
3.2	ถังเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบมีการเป่าอากาศเย็น…….…….	32
4.1	เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน…….	34
4.2	ดัชนีความขาวของข้าวสารพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน…….….	36
4.3	ค่าแสดงความเหลืองของข้าวสารพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……..	37
4.4	ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน …….....	40
4.5	ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……..……	42
4.6	ปริมาณกรดไขมันอิสระของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน……..……	43

รูปที่ หน้า

4.7 spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ ที่ก่อนการเก็บรักษา และเก็บไว้ 6 เดือน..... 45

4.8 การเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน แสดงในรูปของ ratio of absorbance height ของการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ 430cm^{-1} 46

4.9 พันธะไดซัลไฟด์ระหว่างสายพอลิเพปไทด์ (A) และภายในสายพอลิเพปไทด์ (B) ของโมเลกุลโปรตีน..... 47

4. 10 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 48

4.11 ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 49

4.12 ค่าความหนืดที่ลดลงของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 49

4.13 ค่าเซตแบคของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 50

4.14 อุณหภูมิเริ่มต้นของการเจลาทิไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 54

4.15 อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์สูงสุดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 54

4.16 อุณหภูมิสุดท้ายของการเจลาทิไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 55

4.17 เอนทาลปีของการเจลาทิไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 55

4.18 ระยะเวลาในการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 58

4.19 ค่าการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 60

4.20 อัตราการยืดตัวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 60

รูปที่ หน้า

4.21 ความแข็งของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือก ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 62
4.22 ความเหนียวติดกันของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือก ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 63
4.23 ความเกาะติดกันของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือก ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 63
4.24 พลังงานในการเคี้ยวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือก ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 64
4.25 ระดับความเข้มด้านสีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 67
4.26 ระดับความเข้มด้านกลิ่นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 67
4.27 ระดับความเข้มด้านความแข็งของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 68
4.28 ระดับความเข้มด้านความเหนียวติดฟันของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 68
4.29 ระดับความเข้มด้านความเกาะติดกันของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 69
4.30 ระดับความเข้มด้านการเคี้ยวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 69
4.31 การยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน..... 70
ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแอมิโลสมาตรฐานกับ ค่าการดูดกลืนแสง..... 89
ก.2 เครื่องกะเทาะเปลือกชนิดลูกกลิ้งยาง..... 90
ก.3 เครื่องขัดขาวชนิดหินขัด..... 90
ก.4 เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว..... 90
ก.5 สากและโกร่งอะเกต (agate mortar)..... 94
ก.6 spectrum ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR... 95
ก.7 RVA curve ของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว กข 6..... 97

รูปที่ หน้า

ก.8 กราฟ TPA ที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 หุงสุก ด้วยเครื่อง Instron universal materials testing machine..... 101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

หลังจากการเก็บเกี่ยว ข้าวเปลือกจะถูกนำมาลดความชื้นและเก็บรักษาเพื่อรอเวลาในการนำออกจำหน่าย และเพื่อให้ได้ลักษณะของข้าวหุงขึ้นหม้อ เพราะข้าวเจ้าที่เก็บเกี่ยวใหม่เมื่อนำมาหุงสุก ข้าวจะแฉะ ไม่ขึ้นหม้อ แต่เมื่อผ่านการเก็บรักษา หรือ ที่เรียกว่า กระบวนการ aging คุณภาพในการหุงต้มจะดีขึ้น ข้าวร่วนขึ้น ไม่ติดกันเป็นก้อนแฉะ สำหรับด้านคุณภาพการสี ข้าวต้นของข้าวเก็บเกี่ยวใหม่จะมีปริมาณต่ำ ทำให้ข้าวมีคุณภาพต่ำและขายไม่ได้ราคา ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้าวเจ้าที่มีปริมาณข้าวต้นสูงและคุณภาพในการหุงต้มดี จึงต้องเก็บข้าวเปลือกไว้เพื่อให้ข้าวกลายเป็นข้าวเก่า แต่ในกรณีของข้าวเหนียว ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสต้องเหนียวนุ่มและติดมือ การเก็บรักษาเป็นเวลานาน ส่งผลให้ข้าวเหนียวมีความเหนียวนุ่มลดลง นอกจากนี้หากเมล็ดอยู่ในสภาวะที่เสี่ยงต่อการเน่าเสีย เช่น เก็บในสภาพที่ความชื้นสูง ทำให้ข้าวดูดซับความชื้นกลับคืน เมล็ดมีการหายใจเพิ่มสูงขึ้น เกิดความร้อนและความชื้นสะสมภายในกองข้าวทำให้จุลินทรีย์เจริญและข้าวมีสีเข้มขึ้น (เอกสงวน ชูวิสิฐกุล, 2544; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550; Zhou *et al*., 2002) มีงานวิจัยหลายชิ้นชี้บ่งว่าการเก็บรักษาข้าวในถังเก็บแบบมีการเป่าอากาศ สามารถระบายความร้อนสะสมภายในกองข้าว ที่เกิดจากกระบวนการหายใจของเมล็ดข้าว ลดความชื้น ชะลอการเติบโตของจุลินทรีย์ และชะลอการเกิดสีเหลืองได้ (Phillips *et al*., 1988; Ranalli, Howell and Siebenmorgen, 2003) ผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวเหนียวใหม่เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวสุกจะเหนียวและนุ่มกว่าข้าวเหนียวที่ผ่านการเก็บรักษา ซึ่งตรงกันข้ามกับข้าวเจ้า ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาลักษณะความเหนียวนุ่มเหมือนข้าวเหนียวใหม่ การเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำหรือมีการระบายความร้อนออกจากกองข้าวโดยการเป่าอากาศอุณหภูมิต่ำอาจช่วยรักษาคุณภาพข้าวเหนียวให้ใกล้เคียงกับข้าวเหนียวใหม่ซึ่งตรงกับลักษณะความต้องการของผู้บริโภค งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพและเนื้อสัมผัสหลังการหุงต้มของข้าวเจ้า แต่ยังไม่มีข้อมูลสำหรับข้าวเหนียวโดยเน้นการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษารวมถึงอุณหภูมิและระยะเวลา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเหนียว ระหว่างการเก็บรักษาในถังเก็บแบบมีการเป่าอากาศเย็นและอากาศแวดล้อมเปรียบเทียบกับที่ไม่มีการเป่าอากาศ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และแนวทางในการเก็บรักษาข้าวเหนียว ให้มีลักษณะเหมือนข้าวเหนียวใหม่

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (วงศ์ Graminae) ซึ่งเป็นพืชล้มลุก ลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) และมีระบบรากฝอย (fibrous root system) เจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ข้าวที่เพาะปลูกเพื่อใช้ในการบริโภคแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ *Oryza sativa* L. และ *Oryza glaberrima* แต่ข้าวที่นิยมปลูกในแถบเอเชียและมีการซื้อขายในตลาดโลกในปัจจุบันเป็น *Oryza sativa* L. เกือบทั้งหมด แบ่งเป็น 3 ชนิดย่อย (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ได้แก่

1. อินดิคา (Indica) เป็นข้าวเมล็ดยาวเรียว เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน เช่น ไทย ฟิลิปปินส์ อินเดีย เป็นต้น
2. จาโปนิคา (Japonica) เป็นข้าวเมล็ดป้อมสั้น มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น จีน เกาหลี สหรัฐอเมริกา เป็นต้น
3. จาวานิคา (Javanica) เป็นข้าวต้นสูง เมล็ดใหญ่ป้อม สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นจากการคัดเลือกพันธุ์มาจากข้าวอินดิคา ส่วนใหญ่ปลูกในประเทศอินโดนีเซีย เท่านั้น

2.2 พันธุ์ข้าวเหนียวที่ปลูกในประเทศไทย

พันธุ์ข้าวเหนียวที่ปลูกในประเทศไทย สามารถแบ่งตามลักษณะคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย

ชื่อพันธุ์และปีที่ออกขยายพันธุ์	แหล่งแนะนำให้ปลูก	ลักษณะเมล็ดข้าวกล้อง	ลักษณะข้าวสุก	ลักษณะเด่น
1. ได้มาหรือคัดเลือกมาจากพันธุ์พื้นเมือง				
- เหมยนอง 62 เอ็ม (พ.ศ. 2502)	ข้าวนาสวนนาปี ปลูกภาคเหนือ	ค่อนข้างป้อม	นุ่ม	ต้านทานแมลงบั่ว และโรคใบจุดสีน้ำตาล
- นางฉลอง (พ.ศ. 2502)	ข้าวขึ้นน้ำ ภาคกลาง	ค่อนข้างป้อม	นุ่ม	ทนน้ำลึกระดับไม่เกิน 1.5 เมตร ต้านทานโรคไหม้ และโรคใบจุดสีน้ำตาล
- เหนียวสันป่าตอง (พ.ศ. 2505)	ข้าวนาสวนนาปี ภาคเหนือ	เรียว	นุ่ม	ทนต่อสภาพดินเค็ม มีความต้านทานโรคไหม้ และโรคใบจุดสีน้ำตาล
- หางยี 71 (พ.ศ.2511)	ข้าวนาสวนนาปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	เรียว	นุ่ม	อายุสั้น ทนแล้ง สามารถปลูกสภาพไร่ได้ดี ต้านทานโรคไหม้ และโรคใบจุดสีน้ำตาล แต่ไม่ต้านทานโรคและแมลงศัตรูข้าวอื่น
- ชิวแม่จันทร์ (พ.ศ.2522)	ข้าวไร่ ภาคเหนือ	เรียว	นุ่ม	ต้านทานโรคไหม้ในสภาพธรรมชาติ สามารถใช้ปลูกในสภาพนาดำได้

ที่มา : บุญหงส์ จงคิด (2547)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อพันธุ์และปีที่ออกขยายพันธุ์	แหล่งแนะนำให้ปลูก	ลักษณะเมล็ดข้าวกล้อง	ลักษณะข้าวสุก	ลักษณะเด่น
- อาร์ 258 (พ.ศ.2530)	ข้าวไร่ ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ค่อนข้างป้อม	นุ่ม หอม	ข้าวสุกหอมนุ่ม อายุสั้นเหมาะสำหรับปลูกในที่ฝนหมดเร็ว ทนแล้ง ต้านทานโรคไหม้ปานกลาง
- ขาวโปร่งไคร้ (พ.ศ.2530)	ข้าวไร่ ภาคเหนือ	ป้อมใหญ่	ค่อนข้างแข็งและหอมเล็กน้อย	ปลูกได้ดีในสภาพที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 800-1,250 เมตร ต้านทานโรคไหม้สูงและโรคขอบใบแห้งปานกลาง
2. ได้มาจากการผสมพันธุ์				
- กข.2 (พ.ศ.2512)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	ค่อนข้างป้อม	นุ่มปานกลาง	ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล และเพลี้ยจักจั่นสีเขียวปานกลาง
- กข.3 (พ.ศ.2512)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	เรียว	ร่วนแข็ง	ต้านทานเพลี้ยจักจั่นสีเขียว และโรคใบจุดสีน้ำตาล
- กข.4 (พ.ศ.2516)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	เรียว	แข็ง	ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล แมลงบั่ว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และจักจั่นสีเขียวปานกลาง
- กข.5 (พ.ศ.2516)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	เรียว	ร่วน	ต้านทานโรคไหม้ และโรคขอบใบแห้งระดับปานกลาง

ที่มา : บุญหงส์ จงคิด (2547)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อพันธุ์และปีที่ออกขยายพันธุ์	แหล่งแนะนำให้ปลูก	ลักษณะเมล็ดข้าวกล้อง	ลักษณะข้าวสุก	ลักษณะเด่น
- กข.7 (พ.ศ.2518)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	เรียว	นุ่มแต่ค่อนข้างร่วน	ต้านทานโรคขอบใบแห้งดี และต้านทานโรคไหม้ปานกลาง มีความทนต่อดินเปรี้ยว
- กข.9 (พ.ศ.2518)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	เรียว	ร่วน แข็ง	ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และแมลงบั่วปานกลาง
- กข.11 (พ.ศ.2520)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	เรียว	ร่วน แข็ง	ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาลระดับปานกลาง
- กข.8 (พ.ศ.2521)	ข้าวนาสวน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ค่อนข้างป้อม	นุ่ม	ทนแล้งและต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล
- กข.13 (พ.ศ.2521)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	เรียว	ร่วน	ค่อนข้างแข็ง ต้านทานโรคไหม้และใบจุดสีน้ำตาล
- ข้าวเหนียวอุบล 1 (พ.ศ.2526)	ข้าวนาสวน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	เรียว	นุ่ม	ต้านทานโรคใบสีส้มในสภาพธรรมชาติ

ที่มา : บุญหงส์ จงคิด (2547)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อพันธุ์และปีที่ออกขยายพันธุ์	แหล่งแนะนำให้ปลูก	ลักษณะเมล็ดข้าวกล้อง	ลักษณะข้าวสุก	ลักษณะเด่น
- เหนียวแพร่ 1 (พ.ศ.2537)	ข้าวนาสวน ภาคเหนือตอนบน และ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	เรียว	นุ่ม เหนียว	ต้านทานโรคไหม้ และโรคขอบใบแห้ง
3. ได้มาจากการชักนำให้เปลี่ยนแปลงพันธุกรรมโดยการอาบรังสี				
- กข.6 (พ.ศ.2520)	ข้าวนาสวนภาคเหนือและ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	เรียว	นุ่ม หอม	เป็นข้าวเหนียวนุ่มมีกลิ่นหอม ทนแล้งได้ดี ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคไหม้
- กข.10 (พ.ศ.2524)	ข้าวนาสวน ทุกภาค	เรียว	นุ่ม เหนียว	ต้านทานโรคไหม้ปานกลาง

ที่มา : บุญหงส์ จงคิด (2547)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ข้าวพันธุ์ กข 6

ข้าวพันธุ์ กข 6 เป็นข้าวเหนียวต้นสูง นิยมปลูกแบบข้าวนาสวน ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้จากการปรับปรุงพันธุ์โดยการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมโดยใช้รังสีแกมม่าขนาด 20 กิโลแรด อาบเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้กลายเป็นข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ซึ่งเป็นข้าวเหนียวหอมที่มีคุณภาพดีพันธุ์แรกที่ได้จากการอาบรังสี ปรับตัวได้ดีเป็นที่นิยมปลูกและรับประทานกันมาก โดยลักษณะทั่วไปของข้าวพันธุ์นี้ คือ ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี ทนแล้งได้ดีพอสมควร ทำให้ผลผลิตไม่ลดในฤดูการทำนาที่ฝนทิ้งช่วง ลำต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี รวงยาว ลักษณะเมล็ดยาว ให้ผลผลิตสูง เก็บเกี่ยวง่าย นวดง่าย มีคุณภาพการขัดสีที่ดี และคุณภาพการหุงต้มดีมาก ได้ข้าวสุกที่อ่อนนุ่ม มีกลิ่นหอม เนื่องจากมีต้นกำเนิดมาจากข้าวเจ้า เมื่อปลูกไปนานๆ จะกลายพันธุ์เป็นข้าวเจ้าได้ง่าย (วราภรณ์ คำบุญเรือง, 2535)

2.4 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยวและกระบวนการแปรรูปเป็นข้าวสาร ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าว โดยองค์ประกอบทางเคมีหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแอมิโลสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (g/100 g dry basis)

แอมิโลส	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ที่มา
5.56	9.30	0.23	0.52	สุพัตรา งามอุรุเลิศ (2545)
6.98	7.17	0.34	0.45	พัชรา วีรพงศ์ (2547)
3.88	3.51	0.06	0.04	พิณทิพย์ รัมภกาภรณ์ (2547)
5.92	6.64	0.28	0.15	ศันสนีย์ อุดมระติ (2548)
5.77	7.14	-	-	Noomhorm, Kongseree and Apintanapong (1997)

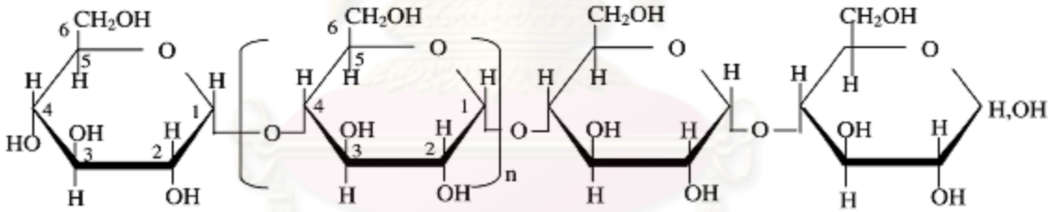
- คือ ไม่ได้รายงาน

2.4.1 **สตาร์ช**

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอยู่ในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) อนุภาคของสตาร์ชมีขนาด 3-9 ไมโครเมตร และเป็นส่วนประกอบหลักของข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้ว กลุ่มของอนุภาคสตาร์ชเหล่านี้จะอยู่ในส่วนแอมิโลพลาสต์ (amyloplast) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) สตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (แอมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (แอมิโลเพกติน) วางตัวในแนวรัศมี สตาร์ชจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินที่แตกต่างกัน ทำให้สมบัติทางด้านต่างๆ ของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย (Juliano, 1972)

ก) แอมิโลส (amylose)

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วย α-1,4-glucosidic linkage ดังแสดงในรูปที่ 2.1 น้ำหนักโมเลกุลของแอมิโลสอยู่ในช่วง 10^5 - 10^6 ดาลตัน (Tester, Karkalas and Qi, 2004) สตาร์ชแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของแอมิโลสแตกต่างกัน ในธรรมชาติแอมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแอมิโลส
ที่มา : Tester, Karkalas and Qi (2004)

แอมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลาย จะมีหลายรูปแบบ ได้แก่ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวคลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (random coil) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง แอมิโลสอยู่ในลักษณะที่เป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวคลายตัว แต่ในตัวทำละลายบางชนิดแอมิโลสจะอยู่ในลักษณะม้วนอิสระ นอกจากนี้โครงสร้างของแอมิโลสยังขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลด้วย โดยแอมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลช่วง 6,500-160,00 ดาลตัน โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (rigid coils, double helix) ส่วนแอมิโลสที่มีน้ำหนัก

โมเลกุลน้อยกว่า 6,500 และมากกว่า 160,000 ดาลตัน โมเลกุลจะเป็นม้วนอิสระและอาจมีบางส่วนละลายได้ (Whistler and Daniel, 1984)

เกลียวม้วน เกลียวคลายตัว ม้วนอิสระ

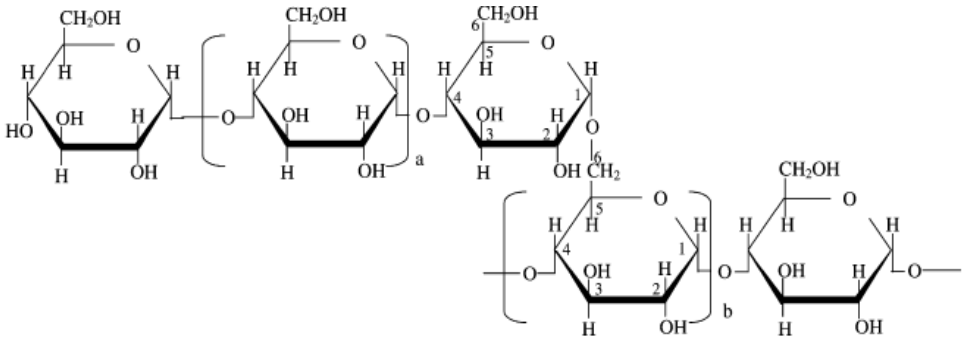
รูปที่ 2.2 ลักษณะเกลียวของแอมิโลส
ที่มา : Whistler and Daniel (1984)

ตำแหน่งของแอมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง แอมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของแอมิโลเพกติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

แอมิโลสสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน เช่น กรดไขมัน surfactant และสารที่มีขั้ว (polar agent) แอมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน ให้สารสีน้ำเงิน ซึ่งใช้บ่งบอกถึงสตาร์ชที่มีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบได้ (Jane *et al*., 1999)

ข) แอมิโลเพกติน (amylopectin)

แอมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นสายตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วย α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านที่เป็นกลูโคสสายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกับโซ่หลักด้วย α-1,6-glucosidic linkage (รูปที่ 2.3) หน่วยกลูโคสที่มี α-1,6-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5 % ของจำนวนหน่วยกลูโคสในแอมิโลเพกตินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของแอมิโลเพกตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย แอมิโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1000 เท่าของแอมิโลส คือประมาณ $10^7 - 10^9$ ดาลตัน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) ความยาวของสายกิ่งของแอมิโลเพกตินมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นผลึกของสตาร์ช ซึ่งความยาวของกิ่งจะมีผลต่อสมบัติทางความหนืด และสมบัติทางความร้อน ได้แก่ การเกิดเจลาทิไนซ์ และการเกิดรีโทรเกรดของสตาร์ช (Jane *et al*., 1999)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแอมิโลเพกติน

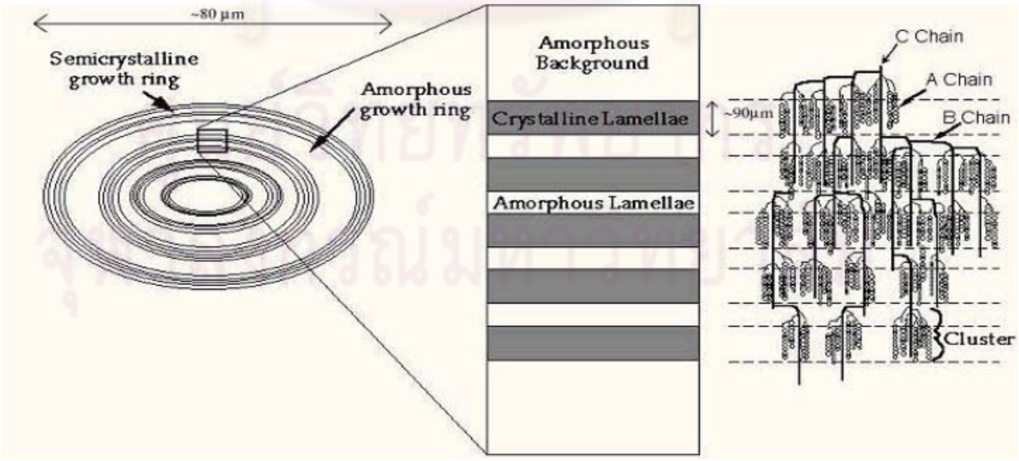
ที่มา : Tester, Karkalas and Qi (2004)

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งก้านของแอมิโลเพกติน ประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิด (Zobel, 1984) (รูปที่ 2.4) ได้แก่

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

2 สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า แอมิโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และ B ในอัตราส่วน 1:1

3 สาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยปลายรีดิวซิ่ง ซึ่งมีเพียงปลายเดียวในโมเลกุล ในแอมิโลเพกตินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น



รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของแกรนูลสตาร์ชที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) ของแอมิโลเพกติน

ที่มา : Jenkins and Donald (1995)

ขนาดโมเลกุลของแอมิโลเพกตินมีตั้งแต่ขนาดเล็ก ซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งมี DP ประมาณ 45 หน่วย ประกอบด้วยสาย B สายยาว สายเหล่านี้อยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster) ซึ่งในการจับกันเป็นกลุ่มของแอมิโลเพกติน ทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) โดยการเกิดเกลียวคู่ของแอมิโลเพกติน ต้องใช้พันธะไฮโดรเจนและแรง Van der Waals ในการเชื่อมต่อกัน สายกิ่งแอมิโลเพกตินภายในเม็ดสตาร์ชสามารถเกิดเป็นผลึกได้ โดยสามารถเกิดได้ทั้งสายกิ่งที่อยู่ใกล้กันภายในกลุ่มก้อนเดียวกัน หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มก้อนที่อยู่ใกล้เคียงกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

แอมิโลเพกตินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าแอมิโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้น เมื่อมีแอมิโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ ปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกตินที่แตกต่างกัน ทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

ปริมาณแอมิโลเพกตินมีผลต่อการพองตัวของสตาร์ชจากธัญชาติ (Wang and Wang, 2002) และความยาวของสายกิ่งของแอมิโลเพกตินมีผลต่อการเกิดเจลาทิไนซ์และรีโทรเกรด (Jane *et al*., 1999) โดยสตาร์ชที่ประกอบด้วยแอมิโลเพกตินที่มีความยาวของสายกิ่งสั้นกว่า จะมีอุณหภูมิของการเกิดเจลาทิไนซ์ต่ำกว่า (Shi and Seib, 1992) นอกจากนี้ แอมิโลเพกตินที่มีความยาวของสายกิ่งมากกว่า จะมีระดับการรีโทรเกรดที่สูงกว่าแอมิโลเพกตินที่มีความยาวของสายกิ่งสั้นกว่า (Jane *et al*., 1999)

ดังนั้นคุณภาพของข้าวหุงสุกจึงมีผลมาจากคุณสมบัติของสตาร์ชทั้งในส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกติน ทำให้สามารถแบ่งประเภทคุณภาพข้าวหุงสุกได้ตามปริมาณแอมิโลส (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 คุณภาพข้าวหุงสุกแบ่งตามปริมาณแอมิโลส

ปริมาณแอมิโลส	ชนิดข้าว	ข้าวสุก
0-5	ข้าวเหนียว	เหนียวมาก
5.1-12.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำมาก	เหนียว
12.1-20.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ	นุ่ม-เหนียว/หุงแฉะง่าย
20.1-25.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง	ค่อนข้างนุ่ม-ร่วน
> 25.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสสูง	ร่วน แข็ง/หุงขึ้นหม้อ

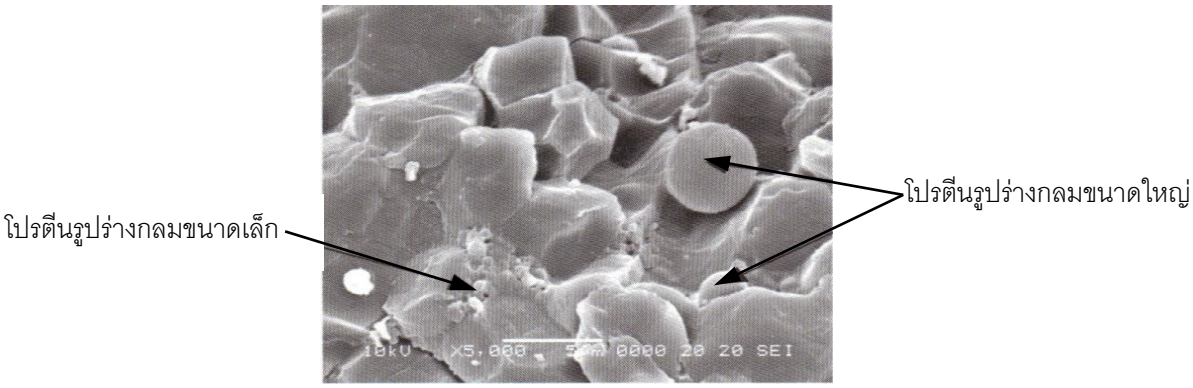
ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล (2550)

จากตารางที่ 2.3 ข้าวเหนียวจะมีแอมิโลเพกตินในส่วนประกอบของโมเลกุลสตาร์ชทั้งหมด หรือเกือบทั้งหมด เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวมากติดมือ เมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นในสตาร์ชของข้าวเจ้าจะทำให้ข้าวที่หุงสุกมีความนุ่มเหนียวลดลงเป็นลำดับ

2.4.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารในข้าวที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต โดยปริมาณโปรตีนในข้าวเปลือกมีเพียง 5-14 % โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งถือว่ามีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีนขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวและสายพันธุ์ โดยทั่วไปข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกัน โปรตีนในข้าวประกอบด้วย อัลบูมิน (albumin) เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ กลอบูลิน (globulin) เป็นโปรตีนที่ละลายในสารละลายเกลือ โพรลามีน (prolamine) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ และ โอริเซนิน (oryzenin) หรือกลูเตลิน (glutelin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในกรดหรือด่างเจือจาง ในข้าวมีปริมาณโอริเซนินมากที่สุด คือประมาณ 85-90% ของโปรตีนทั้งหมด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในข้าวจึงเป็นการเปลี่ยนแปลงของโอริเซนินเป็นส่วนใหญ่ (Juliano,1964)

โมเลกุลของโปรตีนที่รวมตัวกันอยู่เป็นรูปร่างโปรตีน (protein bodies) ซึ่งมีโอริเซนินเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ภายในนั้นจะมี 3 รูปแบบ คือ แบบผลึก แบบรูปร่างกลมขนาดเล็กและรูปร่างกลมขนาดใหญ่ โปรตีนที่กระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเมล็ดจะเป็นโปรตีนรูปร่างกลมขนาดเล็ก ส่วนโปรตีนรูปร่างกลมขนาดใหญ่มีปริมาณน้อยกว่า และจะมีมากในส่วนใจกลางของเมล็ดเท่านั้น (รูปที่ 2.5) โดยในองค์ประกอบของโปรตีนจะเป็นโพรลามีนร่วมกับโอริเซนิน สำหรับร่างแหโปรตีน (protein matrix) จะพบน้อยมากหรืออาจไม่พบเลยในเนื้อเมล็ดของข้าว ซึ่งต่างจากธัญพืชชนิดอื่น ถ้าพบก็จะมีลักษณะเชื่อมโยงเป็นเส้นใยโปรตีน (protein fibrils) เนื่องจากโปรตีนที่อยู่ในเนื้อเมล็ดจะแทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดแป้ง มีผลต่อการเกิดเจลาทิไนซ์ของเม็ดแป้ง โดยยับยั้งการพองตัวทำให้เม็ดแป้งไม่เสียรูปร่างได้ง่าย ป้องกันการซึมผ่านของโมเลกุลแอมิโลสออกนอกเม็ดแป้ง ทำให้ความหนืดลดลง มีผลต่อลักษณะความอ่อนหรือแข็งของเจลเมื่อเย็นลง ซึ่งส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)



รูปที่ 2.5 โปรตีนรูปร่างกลมขนาดเล็กและขนาดใหญ่แทรกระหว่างเม็ดแป้ง ถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 5,000 เท่า

ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล (2550)

2.4.3 ไขมัน

ข้าวมีไขมันประมาณ 1-3% ส่วนใหญ่ คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) รองลงมา คือ ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ไกลโคลิพิด (glycolipids) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ไขมันทั้งภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ช เป็นไขมันประเภทสารประกอบมอโนแอซิล (monoacyl) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) กรดไขมันในข้าวมีหลายชนิดและมีในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ กรดพาลมิติก (Palmitic acid, 16:0) มีประมาณ 46.4-56.7% กรดโอเลอิก (Oleic acid, 18:1) มีประมาณ 11.0-17.3 % และกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, 18:2) มีประมาณ 29.1-44.4% ในข้าวเหนียวพบเพียงกรดพาลมิติกเท่านั้น (Vandeputte *et al.*, 2003)

การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมัน (amylose-lipid complex) มีผลต่อการพองตัว ความสามารถในการละลาย การเกิดเจลาทิไนซ์ และการเกิดรีโทรเกรดของแป้ง (Eliasson and Krong, 1985) โดยทั่วไปสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมัน มีผลทำให้เม็ดแป้งพองตัวลดลง ปริมาณแอมิโลสที่ละลายได้ลดลง ความหนืดของเพสต์สตาร์ชลดลง (Jaisut *et al.*, 2008)

2.5 **คุณภาพของข้าว**

อรอนงค์ นัยวิกุล (2550) อธิบายคุณภาพข้าวที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขาย โดยพิจารณาจากคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักเมล็ด สีของข้าวเปลือก สีของข้าวกล้อง ขนาดและรูปร่าง ปริมาณสิ่งเจือปนที่ติดมากับเมล็ดข้าวเปลือก ลักษณะท้องไข่ ความเลื่อมมันของเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และความใสของเมล็ดข้าวสาร

- สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้นของข้าวเปลือก และกลิ่นสารระเหยในข้าว ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14%(w.b.) จะขายได้ราคาดีกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง ความชื้นยิ่งมากราคาก็จะยิ่งต่ำ เพราะค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นเพิ่มขึ้น

- คุณภาพการสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร สิ่งสำคัญที่ใช้ประเมินราคาข้าวเปลือก คือ ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น ถ้ามีปริมาณมาก ราคาข้าวเปลือกจะสูง

- คุณภาพเมล็ดในการหุงต้มและการรับประทาน

2.6 **สมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งข้าว**

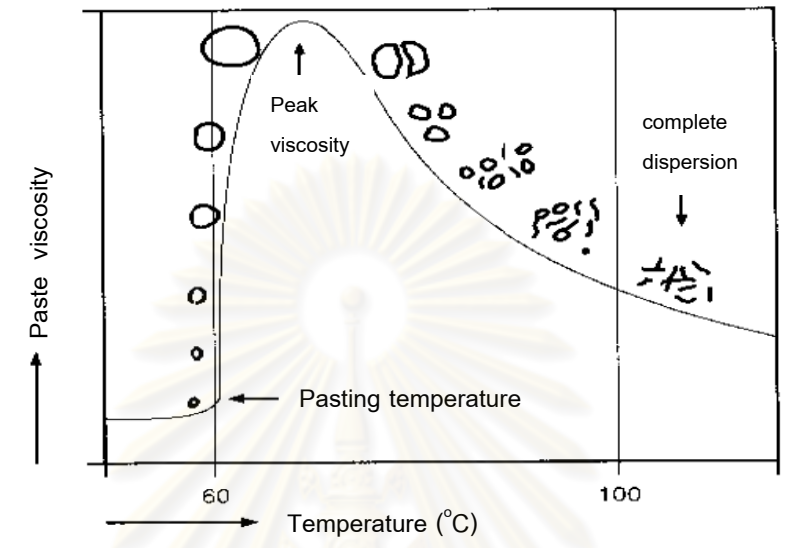
2.6.1 **สมบัติทางความหนืด**

เนื่องจากความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของสตาร์ช เกิดขึ้นเมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจนอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแป้งเกิดเจลาทิไนซ์ ความร้อนจะทำลายพันธะในเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งดูดซึมน้ำและพองตัวขึ้น น้ำบริเวณรอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อย เม็ดแป้งจึงเคลื่อนไหวได้ยาก ความหนืดจึงเกิดขึ้น

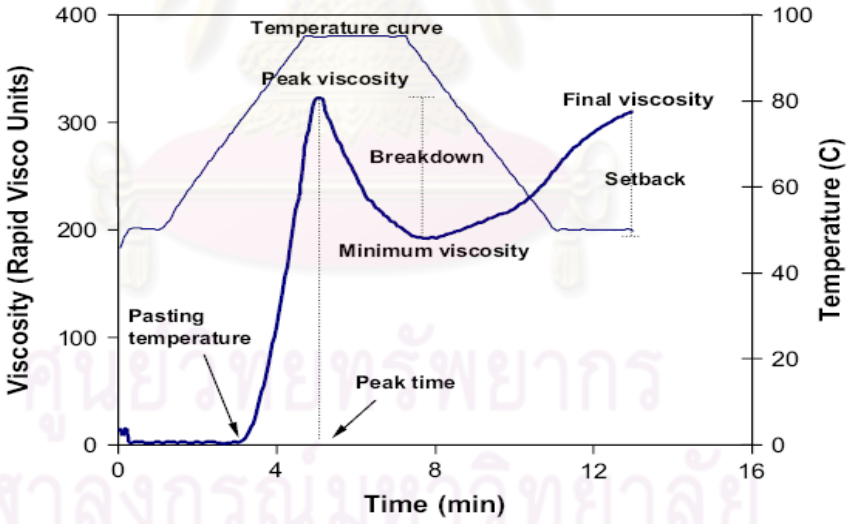
ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ 1) ขนาดของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งใหญ่ จะมีกำลังการพองตัวสูงทำให้ความหนืดสูงสุดมีค่าสูง 2) ปริมาณแอมิโลส ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรด ถ้าแป้งชนิดใดมีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) สูง 3) ปัจจัยภายนอก เช่น การใช้ความร้อนสูงหรือมีการใช้แรงกลมากจะทำให้เม็ดแป้งแตกและมีค่าความหนืดลดลง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความหนืดของสตาร์ชระหว่างการให้ความร้อนและการทำให้เย็น คือ เครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) ในอุตสาหกรรมนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการผสม การให้ความร้อนและลดอุณหภูมิ (Phillips and Williams, 2000) และใช้สำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องพิจารณาความหนืดขณะให้ความร้อน ข้อดีของเครื่อง RVA คือ สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เร็วและแม่นยำและรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ รวมทั้งใช้

เวลาในการวิเคราะห์เพียง 13 นาที เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนได้ดีและใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) ลักษณะกราฟ RVA แสดงในรูปที่ 2.6



(A)



(B)

รูปที่ 2.6 สมบัติด้านความหนืด; การเกิดเจลาทิไนซ์ของเม็ดแป้ง (A) และค่าต่างๆ ที่วัดได้จากเครื่อง RVA (B)

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2550) และ Copeland *et al*., (2009)

ค่าที่ได้จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดมีดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 2 rapid visco unit (RVU) ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

2. ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

3. ค่าความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

4. ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

5. ค่าความหนืดลดลง (breakdown) คือ ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

6. เซตแบค (setback) คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

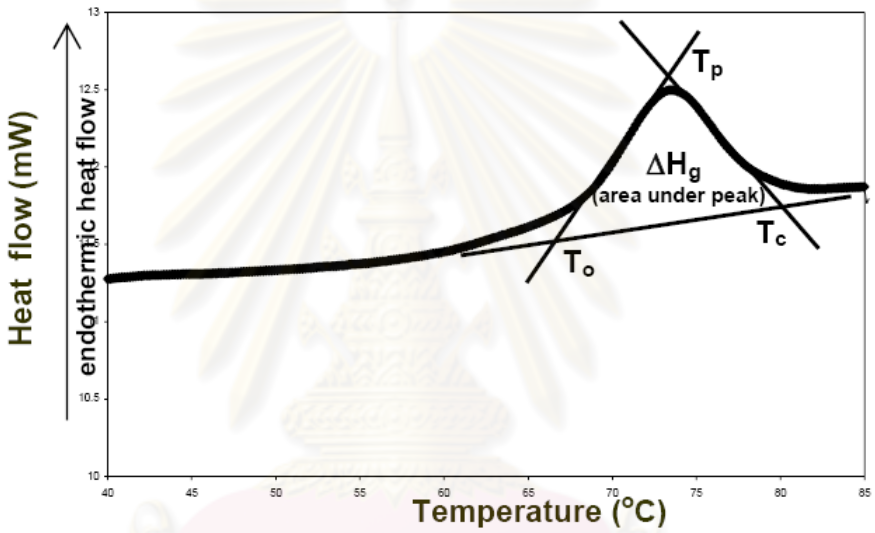
จากรูปที่ 2.6 อุณหภูมิที่ทำให้ค่าความหนืดมีการเพิ่มขึ้น เรียกว่า pasting temperature สำหรับค่าความหนืดสูงสุด เป็นค่าที่ใช้บอกถึงความสามารถในการจับน้ำของแป้งหรือส่วนผสม และบอกถึงแรงที่ต้องใช้ในการกวนผสมหรือกวนให้ ความร้อน โดยค่าความหนืดสูงสุด เกิดจากการที่เม็ดแป้งได้รับความร้อนจนถึงจุดเจลาทิไนซ์แล้วเมื่อให้ความร้อนต่อไป เม็ดแป้งจะพองตัวเต็มที่ทำให้เกิดความหนืดที่เพิ่มขึ้นสูงสุดแล้วแตกออกเนื่องจากแรงเฉือน โมเลกุลของแอมิโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง ความหนืดของสารละลายแป้งจะเริ่มต่ำลง เมื่อระบบเริ่มลดอุณหภูมิจาก 95 เป็น 50 องศาเซลเซียส จะมีการจัดเรียงตัวใหม่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์เกิดขึ้น โดยโมเลกุลแอมิโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างแหสามมิติขึ้น โมเลกุลแอมิโลสที่ออกมาจากเม็ดแป้งที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวและเกาะเกี่ยวกันเอง เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลของแอมิโลสทำให้ได้ลักษณะโครงสร้างใหม่ที่เกิดเป็นเจล ความหนืดของแป้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง เรียกว่า ความหนืดสุดท้าย ส่วนเซตแบค เป็นค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้ระบบเย็นลง คำนวณจากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดรีโทรเกรด หรือกระบวนการที่มีการจัดระเบียบใหม่ของโมเลกุล จึงมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ต่างๆ (Newport Scientific, 1995)

2.6.2 **สมบัติทางความร้อน**

โครงสร้างภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐาน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน การเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งเป็นกระบวนการดูดพลังงานความร้อนในภาวะที่มีน้ำเพียงพอเพื่อทำลายโครงสร้างผลึก แป้งในภาวะที่มีน้ำจำกัดเมื่อให้ความร้อนจะ

มีอุณหภูมิการหลอมละลายที่สูงมาก แต่เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มสูงขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายจะลดลง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ศึกษาการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งข้าว คือ การวิเคราะห์ด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC) โดยมีหลักการ คือ ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เวลาต่างๆ เพื่อวัดค่าการดูดกลืนพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง และสามารถหาอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาทิไนซ์ (T_o) อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์สูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาทิไนซ์ (T_c) และเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเจลาทิไนซ์ (ΔH_{gel}) จาก DSC thermogram ของแป้งข้าวได้ (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 ลักษณะ thermogram ของสารแขวนลอยแป้งข้าว จากเครื่อง DSC แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกี่ยวเนื่องกับการเกิดเจลาทิไนซ์

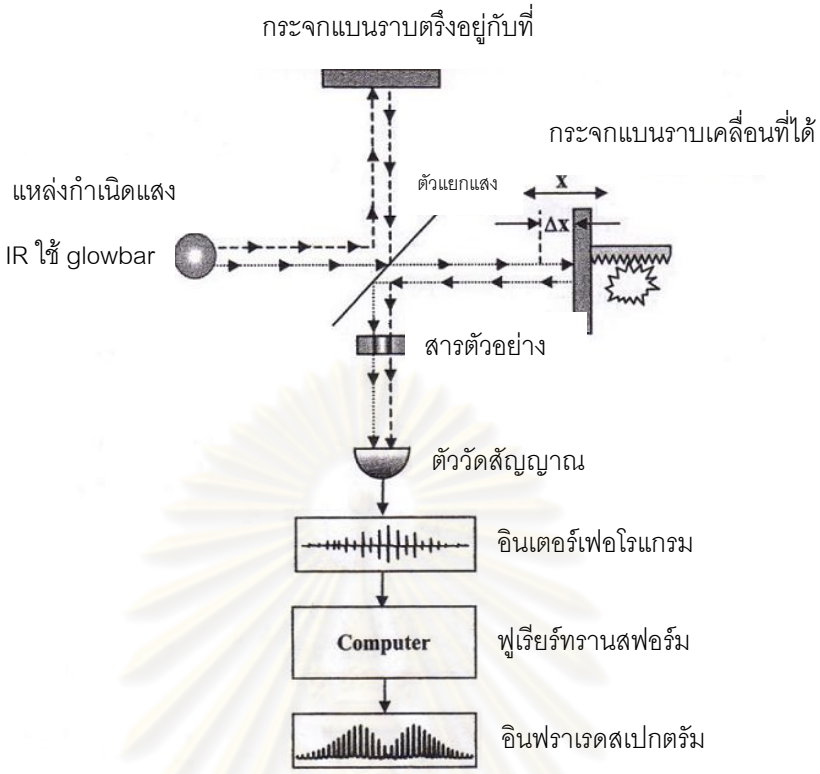
การเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกชั่งตัวอย่างลงในถาดตัวอย่าง (pan) และเติมน้ำให้มีความเข้มข้นตามที่กำหนด ก่อนปิดผนึกฝาให้แน่นจนอากาศออกไม่ได้ (hermetically sealing) ส่วนวิธีที่สองคือ ผสมตัวอย่างและน้ำในภาชนะอื่น เช่น ขวดที่มีฝาให้มีความเข้มข้นตามที่ต้องการ ก่อนชั่งตัวอย่างลงในถาดใส่ตัวอย่าง ซึ่งทั้งสองวิธีควรมีการตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง หรือนานกว่านั้นเพื่อให้แน่ใจว่าเม็ดแป้งดูดน้ำเข้าไปอย่างเต็มที่แล้ว ก่อนที่จะนำไปวัดด้วยเครื่อง DSC ตามสภาวะที่กำหนด (Karim, Norziah and Seow, 2000) ข้อดีของการใช้เครื่อง DSC คือ เป็นการติดตามการเกิดเจลาทิไนซ์โดยตรง เนื่องจากวัดพลังงานที่ใช้ในการสลายผลึกที่มีในตัวอย่าง และสามารถเปรียบเทียบปริมาณความเป็นผลึกทั้งในสตาร์ชดั้งเดิมและสตาร์ชที่เกิดเจลาทิไนซ์ ใช้ปริมาณตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย (5-10 มิลลิกรัม)

โดยตัวอย่างที่วิเคราะห์จะต้องเป็นตัวแทนที่ดี ปริมาณน้ำในตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากมีการปิดผนึกถาดตัวอย่างแน่นจนอากาศออกไม่ได้ การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างมีความถูกต้องสูง สามารถตั้งโปรแกรมเพื่อหยุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ ซึ่งสามารถตรวจวัดอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนซ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสได้ อีกทั้งยังใช้เวลาและเทคนิคในการวิเคราะห์ไม่มากนัก ส่วนข้อจำกัดของการใช้เครื่อง DSC คือ ถ้าตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวแทนที่ไม่ดี เช่น ไม่มีความสม่ำเสมอหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ค่าที่ได้จะมีความผิดพลาด มีข้อจำกัดในด้านความไว (sensitivity) รวมถึงค่าใช้จ่ายทั้งเครื่องมือและถาดใส่ตัวอย่างสูง (Ghiasi, Hoseney and Maston, 1982; Karim, Norziah and Seow, 2000)

2.7 การวิเคราะห์องค์ประกอบของข้าว ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy) มีความได้เปรียบกว่าการวิเคราะห์ด้วยอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์แบบธรรมดา (dispesive IR) หลายอย่าง เนื่องจากการนำกลไกต่างๆมาใช้ เช่น ไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (Michelson Interferometer) และเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม เป็นต้น (ปรานอม ขาวเมฆ, 2549)

เครื่อง FT-IR นำเอาหลักการของอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ หรือ Michelson Interferometer มาใช้แทนอุปกรณ์กระจายแสง (Slit) (ปรานอม ขาวเมฆ, 2549) ซึ่งประกอบด้วยกระจกแบนราบ 2 อันวางตั้งฉากกัน กระจกแบนราบอันหนึ่งจะตรึงอยู่กับที่ (fixed mirror) ที่ทราบระยะทางแน่นอนจากแหล่งกำเนิดคลื่นแสงถึงกระจกแบนราบที่ตรึงอยู่กับที่ ส่วนกระจกแบนราบอีกอันหนึ่งจะเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วที่ถูกควบคุมด้วยกลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ มีตัวแยกแสง (beam splitter) เมื่อผ่านคลื่นแสงอินฟราเรดไปตกที่ตัวแยกแสง ตัวแยกแสงจะแยกลำแสงออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งจะสะท้อนไปที่กระจกแบนราบที่ตรึงอยู่กับที่ ลำแสงอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนไปที่กระจกที่เคลื่อนที่ได้ จากนั้นลำแสงจะสะท้อนกลับมารวมกันอีกที่ตัวแยกแสงแล้วผ่านไปยังสารตัวอย่าง และส่งผ่านต่อไปยังตัววัดสัญญาณ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นความต่างศักย์ในรูป analog ของอินเตอร์เฟอโรแกรม เมื่อต้องการจะดูว่าความถี่ใดที่สารตัวอย่างดูดกลืนไว้ ก็คือการถอดเอาข้อมูลความถี่ที่อยู่ในสัญญาณอินเตอร์เฟอโรแกรม โดยอาศัยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าฟูเรียร์ทรานสฟอร์เมชัน (Fourier transformation) เพื่อจะหาความถี่แต่ละความถี่ที่สารตัวอย่างดูดกลืนไว้จากอินเตอร์เฟอโรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2547)



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของเครื่อง FT-IR เพื่อให้ได้ FT-IR สเปกตรัม
ที่มา : นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์ (2547)

ข้อดีของ FT-IR คือ spectrum จาก FT-IR ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆ พร้อมกันทั้งหมด ดังนั้นจึงช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น ความละเอียด (resolution) ดีขึ้น และทำให้ signal-to-noise ratio ดีขึ้นกว่าแบบธรรมดา ในขณะที่ spectrum ที่ได้จากการวัดด้วยอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์แบบธรรมดาเป็น spectrum ที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆกันทีละครั้งในช่วงระยะเวลาอันหนึ่ง (ปรานอม ขาวเมฆ, 2549) นอกจากนั้น FT-IR ยังใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าวิธีทางเคมีทั่วไป (Yang and Tao, 2008)

Li และคณะ (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและความหนืดของสตาร์ชในระหว่างการให้ความร้อน โดยใช้เทคนิค FT-IR ในการหาค่า short-rang order หรือความเป็นระเบียบของโมเลกุล ซึ่ง IR spectrum สามารถระบุการเปลี่ยนแปลงได้ในระดับโมเลกุลของโครงสร้างสตาร์ช จากการทดลองพบว่า โครงสร้างสตาร์ชมีการสูญเสียความเป็นระเบียบของโมเลกุล เมื่อให้ความร้อนถึงอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาทิไนซ์

Yang และ Tao (2008) ศึกษาผลของกระบวนการหมักด้วยกรดแลคติค ต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าว โดยใช้เทคนิค FT-IR ในการหาการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนของส่วน

อสัณฐานและส่วนผลึก โดยระบุว่าโครงสร้างสตาร์ชในส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน สามารถดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดได้ที่ 1047 และ 1022 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่าแป้งข้าวที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยกรดแลคติค จะมีอัตราส่วนของส่วนอสัณฐานและส่วนผลึกลดลง ส่งผลให้เซตแบคมีค่าลดลง ในขณะที่แป้งข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

2.8 การเก็บรักษาข้าว

การเก็บรักษาข้าว เป็นขั้นตอนปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว นวด และตาก เกษตรกรจะเก็บรักษาข้าวไว้เพื่อรอให้ราคาดีจึงจะขาย หรือเก็บไว้บริโภค เป้าหมายหลัก คือ ข้าวมีการสูญเสียในขณะเก็บรักษาน้อยที่สุด และเพื่อให้ข้าวมีคุณภาพด้านการหุงต้มตรงกับความต้องการของผู้บริโภค (เอกสงวน ชูวิสิฐกุล, 2544)

วิธีการเก็บรักษาข้าวโดยทั่วๆ ไป ออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

1. การเก็บในสภาพปกติไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Uncontrolled storage) หมายถึง การเก็บข้าวไว้ในโรงเก็บปกติที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บ เป็นวิธีที่นิยมใช้อยู่เป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทย เพราะมีการลงทุนน้อย และเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่โอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษามีสูง เช่น การเก็บในโรงเก็บ ยุ้งฉางของเกษตรกร โรงสี หรือโกดังส่งออกข้าวขนาดใหญ่ๆ

2. การเก็บในที่มีการควบคุมอุณหภูมิ แต่ไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เช่น การเก็บข้าวไว้ในตู้แช่ ตู้เย็น หรือในไซโลเก็บข้าวที่มีการเป่าลมเย็น เป็นต้น

3. การเก็บในที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแต่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ได้แก่ การเก็บข้าวไว้ในภาชนะเก็บที่มิดชิดสามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ (Hermetic condition) เช่น การเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในปี๊บสังกะสี (Sealed tin) เป็นต้น

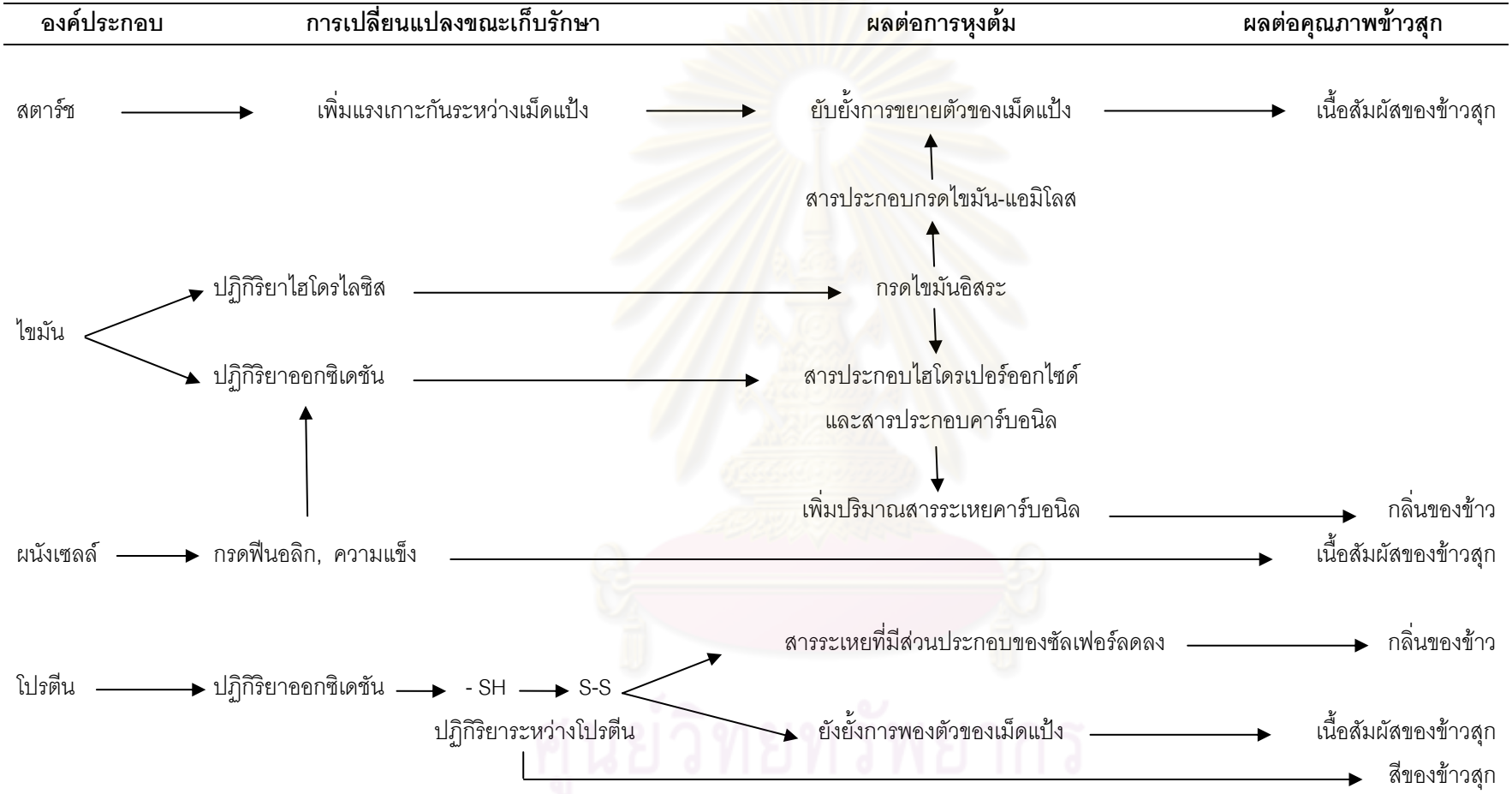
4. การเก็บในที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ วิธีนี้ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถป้องกันและลดความเสียหายของข้าวได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คุณภาพดีได้เป็นเวลานานหลายๆปี แต่วิธีนี้จะต้องมีการลงทุนสูง และเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงมาก ส่วนใหญ่จึงนิยมใช้สำหรับงานวิจัยเป็นหลัก เช่น การเก็บเมล็ดข้าวต่างๆ ไว้ในธนาคารเชื้อพันธุ์ (Germplasm bank)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษา ข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการ ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวและภาวะในการเก็บรักษา โดยปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพข้าว การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบในข้าว ได้แก่ แป้ง โปรตีน และไขมัน (รูปที่ 2.9) ข้าวที่อยู่ระหว่างการเก็บรักษาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยเม็ดแป้งจับกันแข็งแรงมากขึ้น กรดไขมันอิสระที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของไขมันจับกับแอมิโลส ส่งผลให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนไป นอกจากนี้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของไขมัน ทำให้สารระเหยจำพวกสารประกอบคาร์บอนิลเพิ่มขึ้น และเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันทำให้เกิดกลิ่นหืน นอกจากนี้แล้วยังทำให้โครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งลดลง เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนแปลง สำหรับโปรตีนเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จะทำให้พันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการพองตัวของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ข้าวสวยมีความนุ่มลดลง นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนทำให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้นกว่าข้าวใหม่ เนื่องจากผนังเซลล์ของเมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น (Juliano, 1985)

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มของเมล็ดข้าวและคุณภาพของข้าวสุก กล่าวคือ ข้าวเก่าเมื่อหุงเป็นข้าวสวย ข้าวสุกจะร่วนและแข็งมากขึ้นหรือเหนียวเกาะติดกันน้อยลง และมีผลทำให้ข้าวสุกมีการขยายปริมาตรได้มากขึ้นหรือขึ้นหม้อดีขึ้น (Indudhara Swamy, Sowbhagya and Bhattacharya, 1978) น้ำข้าวจะใส เมล็ดข้าวอาจต้องใช้เวลาหุงต้มนานขึ้นเล็กน้อย ทำให้ข้าวมีลักษณะที่แข็งและแกร่งขึ้นเมื่อขัดสีจะมีระดับการสีต่ำลง ทำให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้นได้ (งามชื่น คงเสรี, 2545)

Chrastil (1990a) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ข้าวกล้องและข้าวสารพันธุ์ *N. American* บรรจุลงในขวดแก้วที่ปิดสนิท และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่าระยะเวลาในการหุงต้ม และค่าการดูดซับน้ำของข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความขาวของข้าวมีค่าลดลง โดยการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวมีความเหลืองเพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และยังพบว่าข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย แล้วเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างเห็นได้ชัดหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 ถึง 12 เดือน



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นในเมล็ดข้าวระหว่างการเก็บรักษา

ที่มา : ดัดแปลงจาก Zhou และคณะ (2002)

เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์ (2541) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมิโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 บรรจุในถุงพลาสติก polypropylene หนา 70 ไมโครเมตร เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 เดือน พบว่าความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น และความเหลืองของข้าวสารที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพิ่มมากกว่าข้าวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณแอมิโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด พบว่าค่าความหนืดสูงสุด และค่าเซตแบคของข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บ โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ลดลงน้อยกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ละมุล วิเศษ (2541) ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน สมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ดอกมะลิ 105 พบว่าเมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นจนมีความชื้น 15.12% บรรจุในถุงพลาสติก polypropylene หนา 70 ไมโครเมตร แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 เดือน พบว่าความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ลดลงเหลือ 12.12% ในขณะที่ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีความชื้นค่อนข้างคงที่ ส่วนของปริมาณข้าวกล้องเต็มเมล็ดของข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นสูงกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนค่าสีของข้าวเปลือกและข้าวกล้องที่แสดงในรูปของค่า b^* ของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสมีค่า b^* เพิ่มขึ้น (เป็นสีเหลืองมากขึ้น) ในขณะที่การเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่า b^* ค่อนข้างคงที่

Teo และคณะ (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านความหนืดของ non waxy rice flour ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 สัปดาห์ พบว่าความหนืดสูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีน แอมิโลส และไขมัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

Pearce, Marks and Meullenet (2001) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของข้าวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 21 และ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 สัปดาห์ พบว่าความหนืดสูงสุด และความหนืดสุดท้าย ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Brabender และความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

พัสกร เจียตระกูล, เมธินี เห่วซึ่งเจริญ และศุภศักดิ์ ลิมปิติ (2546) ศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นต่อคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 10, 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยไม่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเก็บ พบว่าข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงจาก 13.21% เหลือเพียง 12.92%, 11.19% และ 8.73% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นลดลงจาก 45% เหลือเพียง 31% และ 42% สำหรับการเก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิห้องจะเพิ่มขึ้นเป็น 49.76%

เมธินี เห่วซึ่งเจริญ และคณะ (2546) ศึกษาการเก็บรักษาข้าวขาวดอกมะลิให้คงความหอมด้วยวิธี Grain Chilling โดยทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 10, 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 6 เดือน โดยบรรจุข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 14 %(w.b.) ในถังสังกะสีปิดสนิทรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เมตร ความสูง 1.15 เมตร หุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ปริมาณถังละ 100 กิโลกรัม เก็บรักษาอุณหภูมิละ 3 ถัง แต่ละอุณหภูมิใช้พัดลม 1 ตัว อัตราการไหลของลม 1.70 ลูกบาศก์.เมตร/นาที พบว่าความชื้นของข้าวเปลือกลดลงอย่างรวดเร็วใน 2 เดือนแรก โดยเฉพาะที่อุณหภูมิห้องซึ่งตรงกับเดือนเมษายนที่อากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงสุด แม้ความชื้นจะปรับขึ้นเล็กน้อยในช่วงเดือนที่ 3-6 แต่ยังคงต่ำกว่าความชื้นเริ่มต้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่ได้จากข้าวเปลือกที่เก็บที่ 10 และ 15 องศาเซลเซียส มีคุณภาพใกล้เคียงกัน และดีกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิห้องซึ่งจะสูญเสียค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของข้าวขาวดอกมะลิ

Ranalli, Howell และ Siebenmorgen (2003) ศึกษาผลของการควบคุมการเป่าอากาศต่อคุณภาพข้าวระหว่างการเก็บรักษา ใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 12-14% เก็บในถังที่มีการติดตั้งระบบควบคุมการเป่าอากาศ โดยแบ่งการเป่าอากาศเป็น 3 ระยะ คือเป่าอากาศให้เมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิอยู่ที่ 23.9, 15.5 องศาเซลเซียส และ 7.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าลดลงเล็กน้อยจาก 12.7 เป็น 12.3%

ส่วนเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าการดูดซับน้ำของข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 1-2 เดือนแรก ต่อจากนั้นจะลดลงเล็กน้อย

Zhou และคณะ (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้ข้าวสารพันธุ์ Koshihikari (แอมิโลส 18%) Kyeema (แอมิโลส 20%) และ Doongara (แอมิโลส 29%) ที่มีความชื้น 12% เก็บรักษาในขวดแก้วปิดสนิทและเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 เดือน จากการวิเคราะห์สมบัติทางด้านความหนืด พบว่าความหนืดสูงสุด และความหนืดลดลง มีค่าลดลง สำหรับเซตแบค มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บ โดยข้าวสารที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าข้าวสารที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงทางด้านความร้อนของแป้งข้าว ซึ่งตรวจวัดโดยใช้ DSC พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาทิไนซ์ (T_o) อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์สูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาทิไนซ์ (T_c) และค่าพลังงานในการเกิดเจลาทิไนซ์ (ΔH_{gel}) ในข้าวสารทั้ง 3 พันธุ์ ที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านความหนืดและสมบัติทางด้านความร้อนของข้าว ขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวได้

เมธินี เห่วซึ่งเจริญ, นริศรา วิชิต และหยาดฝน ทะนงการกิจ (2548) ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณภาพการหุงต้มของข้าวระหว่างการเก็บรักษา โดยเก็บรักษาข้าวเปลือกและข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ กข15 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องเปลี่ยนแปลงตามความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บ โดยมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วง 3 เดือนแรก ต่อจากนั้นจะมีค่าสูงขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนของข้าวเปลือกและข้าวสารที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ทุกสภาวะการเก็บรักษาจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้อยสุด ส่วนการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวทั้ง 3 พันธุ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความเหนียวติดกัน (adhesiveness) จะมีค่าเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 4 หลังจากนั้นจะลดลงในเดือนสุดท้าย สำหรับความเกาะติดกัน (cohesiveness) มีค่าไม่แตกต่างกัน

Zhou และคณะ (2007) ศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพการหุงต้มข้าว โดยใช้ข้าวสารพันธุ์ Koshihikari (แอมิโลส 18%) Kyeema (แอมิโลส 20%) และ Doongara (แอมิโลส 29%) ที่มีความชื้น 12% เก็บรักษาในขวดแก้วปิดสนิทและเก็บในที่มืด ที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 เดือน พบว่าค่าการดูดซับน้ำ และการยืดตัวของข้าวสุกมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และเมื่อวัดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกด้วยเครื่อง Texture analyser พบว่าความแข็งและความเกาะติดกัน มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเหนียวติดกัน มีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

Butt และคณะ (2008) ศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาข้าวต่อคุณภาพของข้าวพันธุ์ Basmati โดยใช้ข้าวสาร บรรจุในถุง polythene เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง ค่าการดูดซับน้ำและอัตราการยืดตัวของข้าวเพิ่มขึ้น และเมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ข้าวหุงสุกมีลักษณะความเหนียวลดลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของแอมิโลส สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมัน ซึ่งเสริมให้โครงสร้างของข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าข้าวมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาแตกต่างกันภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงบางอย่างเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ เช่น การหุงขึ้นหม้อในข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง แต่บางอย่างเป็นลักษณะตรงข้าม เช่น ความเหลืองของเมล็ดข้าว งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาในข้าวเจ้าหรือข้าวแอมิโลสสูง สำหรับข้าวเหนียวยังขาดข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาภายใต้การเก็บรักษาแบบมีการเป่าด้วยอากาศเย็น ซึ่งสามารถเป็นแนวทางในการรักษาคุณภาพและสมบัติบางประการให้มีลักษณะเหมือนข้าวใหม่ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และยังสามารถใช้ข้อมูลที่ได้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวเหนียว

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 ปลูกในเขตพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม และเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคม พ.ศ.2550 หลังจากเก็บเกี่ยวลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการตากแดด จากนั้นเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และเก็บในกระสอบพลาสติกสาน สุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษาทุกๆ 2 เดือน บรรจุในถุงพลาสติก polyethylene ขนส่งมายังภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เก็บไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส ก่อนการทดลองผึ่งข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอุณหภูมิของเมล็ดเท่ากับอุณหภูมิห้อง

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น 600, Germany)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น CP320S, Germany)
3. เครื่องกะเทาะเปลือกชนิดลูกกลิ้งยาง (Satake รุ่น THU-35, Japan)
4. เครื่องขัดขาวชนิดหินขัด (Satake รุ่น TM05, Japan)
5. เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Satake รุ่น TRG-05A, Japan)
6. เครื่อง Rapid Visco Analyser (Newport Scientific Instruments and Engineering รุ่น Super 3, Australia)
7. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin-Elmer รุ่น Diamond-DSC, USA)
8. เครื่อง Instron universal materials testing machine (Instron Corporation รุ่น 5565, USA)
9. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (Perkin-Elmer รุ่น Spectrum One, USA)
10. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer รุ่น Spectronic 20, USA)
11. เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR300, Japan)
12. Digestion unit (Buchi รุ่น K-424, Switzerland)
13. Distillation unit (Buchi รุ่น B-324, Switzerland)
14. Soxhlet (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)

15. เครื่อง evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Tokyo Aikakikai, Japan)

16. เตาเผา (Cabolite รุ่น CWF 1200, USA)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวที่เก็บเกี่ยวใหม่ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ดังนี้ คือ

- ปริมาณโปรตีน โดยการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (Factor สำหรับตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว มีค่าเท่ากับ 5.95) (AOAC, 2006) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1

- ปริมาณเถ้า (AOAC, 2006) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2

- ปริมาณไขมันทั้งหมด โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย (AOAC, 2006) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3

- ปริมาณแอมิโลส (Apparent amylose content) (Juliano, 1972) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4

3.3.2 ศึกษาการเก็บรักษาข้าวเหนียวภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ

ลดความชื้นข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้โดยการตากแดด จนกระทั่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 14 โดยน้ำหนักเปียก นำมาคัดแยกข้าวลีบและเศษฟาง จากนั้นเก็บรักษาในถังเหล็กซึ่งต่อกับระบบส่งอากาศเย็น หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 78 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร มีตะแกรงปิดด้านบนของถัง บรรจุข้าวเปลือก 250 กิโลกรัมต่อถัง ถังที่ 1 เป่าอากาศโดยใช้อุณหภูมิแวดล้อม ด้วยความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยเครื่องจะทำการเป่าอัตโนมัติทุกวันในช่วงเวลา 5.00-7.00 น. (รูปที่ 3.1) ส่วนถังที่ 2 และ 3 เป่าด้วยอากาศเย็นและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3.2) โดยเครื่องจะเป่าอัตโนมัติเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของเมล็ดที่วัดจากส่วนล่าง (สูง 30 เซนติเมตร) ส่วนกลาง (สูง 60 เซนติเมตร) และส่วนบน (สูง 90 เซนติเมตร)ของถัง มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่เก็บรักษา และจะหยุดเป่า เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยของเมล็ดเท่ากับอุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมี Thermocouple วัดอุณหภูมิของกองข้าวภายในถัง มีอยู่ด้วยกัน 3 จุดตามแนวแกนกลางของถัง

เก็บรักษาข้าวเปลือกตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2550 ถึง พฤษภาคม 2551 (อุณหภูมิ 22-29 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 64-80%) สุ่มตัวอย่างก่อนการเก็บรักษาและทุก 2 เดือน จากถังเก็บเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยสุ่มตัวอย่างจากส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของถัง มาวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ของข้าวเหนียว (ตามขั้นตอน 3.3.3) เก็บข้าวที่ไม่มีการเป่าอากาศไว้ในกระสอบพลาสติกสานทั้งหมด 10 กระสอบ และสุ่มตัวอย่างทุก 2 เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน มาวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ของข้าวเหนียว

3.3.3 ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของข้าวเหนียวที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ

วิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ของข้าวเหนียวที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และเก็บในกระสอบ ดังต่อไปนี้

3.3.3.1 สมบัติทางกายภาพ ได้แก่

- เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น โดยนำข้าวเปลือกไปกะเทาะ ขัดสี และคัดแยกข้าวต้นซึ่งเป็นข้าวที่มีความยาวไม่ต่ำกว่า 80% ของข้าวเต็มเมล็ด ชั่งน้ำหนักและคำนวณเป็นร้อยละข้าวต้น รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5

- ค่าสีในระบบ CIE L^* a^* b^* ด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR300 แหล่งกำเนิดแสง D65 ใช้มล็ดข้าวสารประมาณ 10 กรัม แต่ละซ้ำวัดสีของข้าวสาร 6 จุด รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6 คำนวณดัชนีความขาว (whiteness index) (อ้างอิงจากวิธีใน Chen, Lu and Lii, 1999) ตามสูตร

$$\text{Whiteness index} = 100 - [(100-L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

3.3.3.2 สมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพ ได้แก่

- ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก โดยวิธีการอบแห้งในตู้อบลมร้อน (ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC, 2006) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7

- ปริมาณแอมิโลส (Juliano, 1972)

- ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Zhao *et al*., 2007) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8

- การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR (Li *et al*., 2008) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9

3.3.3.3 สมบัติทางความหนืด วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA (AACC, 1995) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.10

3.3.3.4 สมบัติทางความร้อน วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (Chang and Lin, 2006) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.11

3.3.3.5 สมบัติด้านการหุงต้ม ได้แก่

- ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time) (ดัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al*., 2005) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.12
- การดูดซับน้ำ (Water Uptake) (ดัดแปลงจากวิธีของ Gujral and Kumar, 2003) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.13
- อัตราการยืดตัว (Elongation Ratio) (ดัดแปลงจากวิธีของ Gujral and Kumar, 2003) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.13

ข้อ 3.3.3.1-3.3.3.5 ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 4x3 ในแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (4x3 Factorial in CRD) ปัจจัยในการทดลอง คือ 1) สภาวะในการเก็บรักษาข้าว 4 วิธี และ 2) ระยะเวลาในการเก็บรักษา 3 ระดับ ทดลองสามซ้ำ ยกเว้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ทดลองสองซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's.New.Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

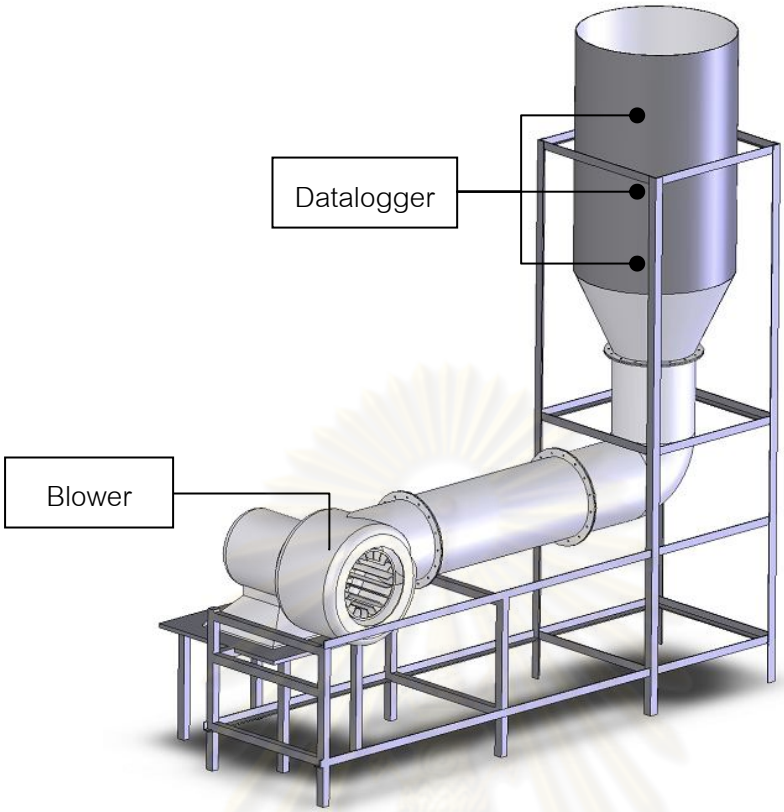
3.3.3.6 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้ Texture Profile Analysis วัดด้วยเครื่อง Instron universal materials testing machine หัววัดชนิดทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ตัวอย่างข้าวเหนียวสุกที่นำมาวัดค่านั้น จะต้องมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ก่อนวัดเนื้อสัมผัสเก็บข้าวไว้ในภาชนะที่สามารถเก็บความร้อนได้ (Gujral and Kumar, 2003) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.14

ออกแบบการทดลองแบบ 4x3 Factorial in CRD ปัจจัยในการทดลอง คือ 1) สภาวะในการเก็บรักษาข้าว 4 วิธี และ 2) ระยะเวลาในการเก็บรักษา 3 ระดับ ทดลองห้าซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's.New.Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

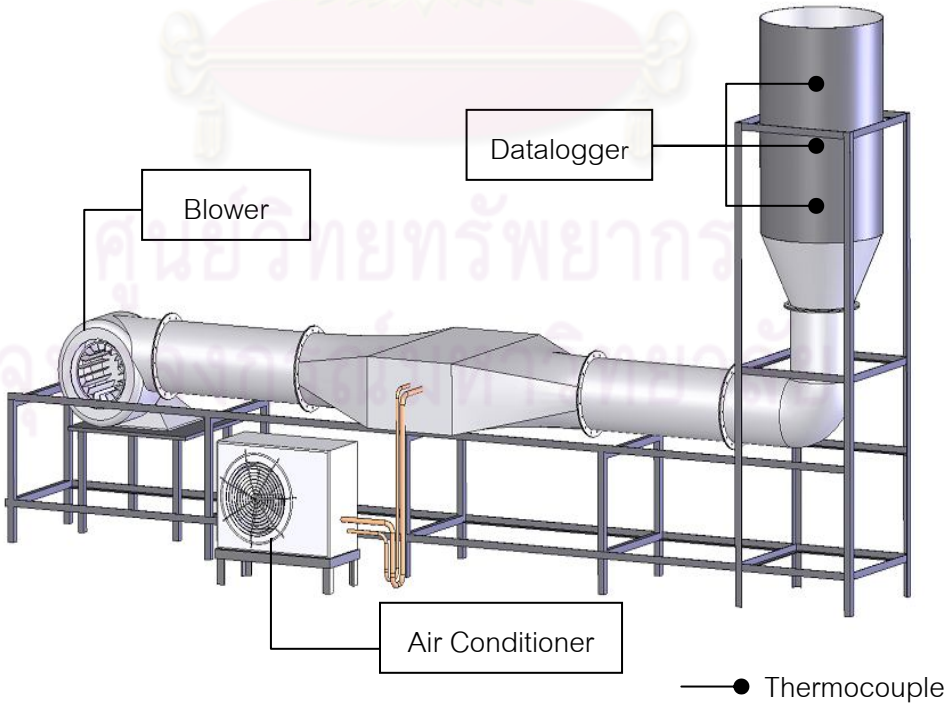
3.3.4 ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวสุก ของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ

ใช้วิธีการทดสอบเชิงพรรณนา (descriptive test) โดยใช้สเกลเส้นตรงระดับความเข้ม 0-10 ทดสอบโดยใช้ข้าวเหนียวสุก 15 กรัม ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 10 คน เป็นกลุ่มนิสิตปริญญาโทของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขณะทดสอบควบคุมอุณหภูมิของข้าวเหนียวสุกให้อยู่ในช่วง 40-50 องศาเซลเซียส ให้พิจารณาจากสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการทดสอบการยอมรับ (acceptance test) ประเมินการยอมรับโดยรวม ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 4x3 ในแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (4x3 Factorial in RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Tests ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงในภาคผนวก ข.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ถังเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบมีการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม



รูปที่ 3.2 ถังเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบมีการเป่าอากาศเย็น

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่วิเคราะห์ในงานวิจัยได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า และปริมาณแอมิโลส ดังแสดงในตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีที่ได้คำนวณเปรียบเทียบเป็น % กับน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในแป้งข้าวเหนียว (dry basis, d.b.) พบว่า มีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบ 6.87 %(d.b.) ไขมัน 0.61 %(d.b.) เถ้า 1.22 %(d.b.) และปริมาณแอมิโลส 5.11 %(d.b.) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 [A]

องค์ประกอบ	ปริมาณ %(d.b.)
โปรตีน	6.87 ± 0.12
ไขมัน	0.61 ± 0.02
เถ้า	1.22 ± 0.15
แอมิโลส	5.11 ± 0.13

[A] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

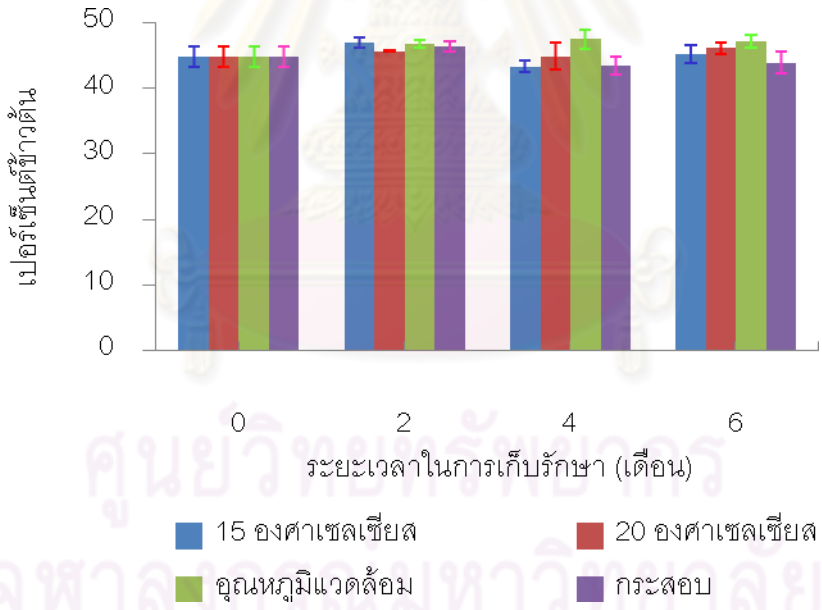
จากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดในตารางที่ 4.1สามารถคำนวณปริมาณแอมิโลเพกตินโดยประมาณเมื่อเทียบจากส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรต จากการหักลบปริมาณแอมิโลสออกไป จะเห็นว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณแอมิโลเพกตินอยู่สูง คือประมาณ 95.33 %(d.b.) พิณทิพย์ รัมภกาภรณ์ (2547) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ต่างๆ พบว่า ข้าวเหนียวพันธุ กข 6 ที่ปลูกในจังหวัดกาฬสินธุ์ มีปริมาณโปรตีน 3.51%(d.b.) ไขมัน 0.06%(d.b.) เถ้า 0.04%(d.b.) แอมิโลส 3.88%(d.b.) และเมื่อคำนวณปริมาณแอมิโลเพกติน คิดเป็นปริมาณแอมิโลเพกตินประมาณ 92.5%(d.b.) สุพัตรา งามอุรุเลิศ (2545) พบว่า ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ปลูกในจังหวัดขอนแก่น มีปริมาณโปรตีน 9.30%(d.b.) ไขมัน 0.23%(d.b.) เถ้า 0.52%(d.b.) และเส้นใย 0.29%(d.b.) ส่วนปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกติน มีค่าเท่ากับ 5.56 และ 94.44%(d.b.) จะเห็นได้ว่าปริมาณเส้นใยมีน้อยกว่าองค์ประกอบอื่นๆมาก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงไม่ได้หาปริมาณเส้นใยในข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 พัชรา วีระพงศ์ (2547) พบว่า ข้าวเหนียวพันธุ์

กข 6 ที่ปลูกในจังหวัดกาฬสินธุ์ มีปริมาณโปรตีน 7.17%(d.b.) ไขมัน 0.34%(d.b.) เถ้า 0.04%(d.b.) และแอมิโลส 6.98%(d.b.) จากข้อมูลดังที่กล่าวมา ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จัดอยู่ในกลุ่มของข้าวแอมิโลสต่ำมาก และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่แตกต่างกันมีผลมาจากสภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

4.2 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อสมบัติทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

4.2.1 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ เป็นเวลา 6 เดือน เมื่อนำมาขัดสีจนเป็นข้าวสาร มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น พบว่ามีอิทธิพลจากทั้ง 2 ปัจจัยหลักอย่างมี

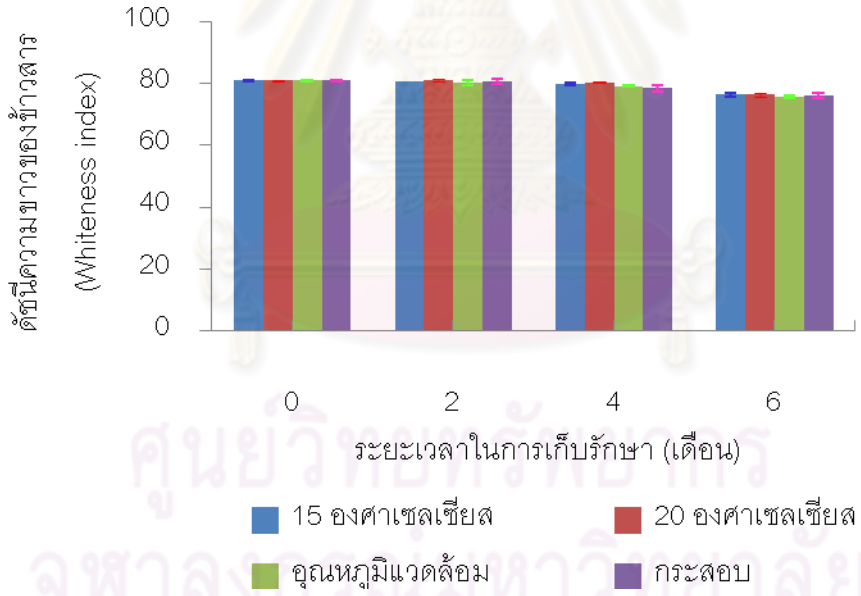
นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อยู่ในช่วง 43.33-47.54 (ตารางที่ ค.1) ก่อนการเก็บรักษา เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น มีค่าเท่ากับ 44.86 เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อม เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมีค่าสูงขึ้น ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงสุด มีค่าเท่ากับ 47.20 รองลงมาคือ การเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 20 และ 15 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 46.14 และ 45.33 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการเก็บรักษาเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของโปรตีน และสตาร์ช โดยส่วนของโปรตีนจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโปรตีน และไปแทรกระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง ทำให้เพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดแป้งและโปรตีน นอกจากนั้นในส่วนของสตาร์ช จะเกิดการเกาะกันเองระหว่างเม็ดแป้งมากขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบดังกล่าว ทำให้เมล็ดข้าวมีลักษณะที่แข็งและแกร่ง เมื่อสีข้าวจึงทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงขึ้น (Zhou *et al*., 2002) พัสกร เจียตระกูล และคณะ (2546) ศึกษาการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 10, 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าการเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ทำให้การเคลื่อนที่ขององค์ประกอบภายในเคลื่อนที่ได้ดีกว่าจึงส่งผลให้โครงสร้างของเม็ดแป้งภายในของเมล็ดข้าวจับตัวกันได้ดีขึ้น เมล็ดข้าวมีลักษณะที่แข็งและแกร่ง เมื่อนำไปสีข้าวจึงทนต่อแรงกระแทกได้ดี นอกจากนั้นยังพบว่าที่ระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Ranalli และคณะ (2003) ที่ศึกษาผลของการควบคุมการเป่าอากาศต่อคุณภาพข้าวระหว่างการเก็บรักษา ใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 12-14% เก็บในถังที่มีการติดตั้งระบบควบคุมการเป่าอากาศ พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของโปรตีน และสตาร์ช ที่อยู่ภายในเมล็ดข้าว

สำหรับการเก็บรักษาในกระสอบ มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับก่อนการเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลมาจากเมล็ดข้าวเปลือกมีปริมาณชื้นความเพิ่มขึ้นจาก 14.66 %(w.b.) (ปริมาณความชื้น ก่อนการเก็บรักษา) เป็น 16.91 %(w.b.) (เดือนที่ 6) ทำให้เมล็ดข้าวมีลักษณะอ่อนตัวลง เมื่อนำไปสีข้าวจึงทนต่อแรงกระแทกได้ลดลง นอกจากนั้น Sajwan และ Kaplan (1992) ยังพบว่าชนิดของภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน มีผลต่อลักษณะความแข็งของเมล็ดข้าว โดยข้าวที่เก็บในถังเหล็กเมล็ดข้าวจะมีความแข็งมากกว่าในกระสอบป่าน เนื่องจากเมล็ดข้าวเข้าสู่กระบวนการปรับสภาพได้เร็วขึ้น เพราะในถังเหล็กมีสภาวะแวดล้อมคงที่มากกว่า

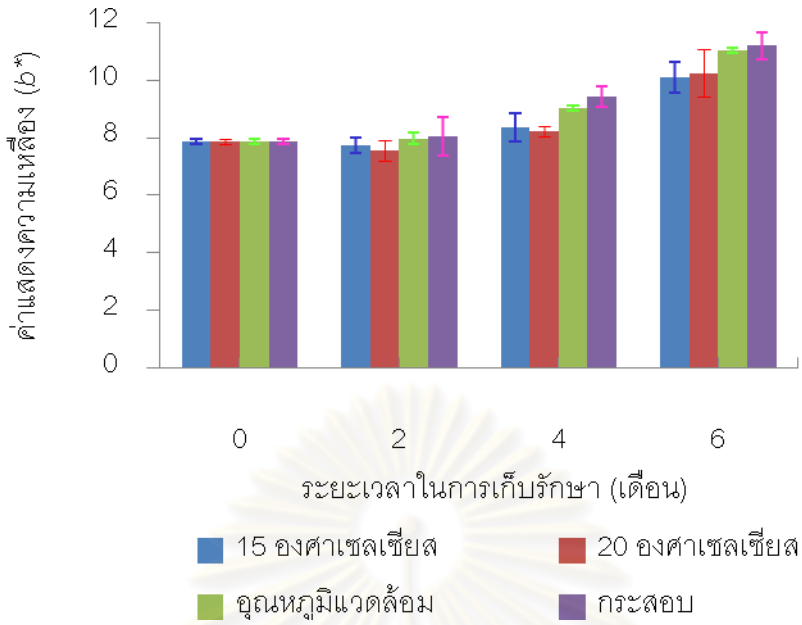
4.2.2 ค่าสีของข้าวสาร

เมื่อนำข้าวกล้องไปขัดขาวจนได้ข้าวสารซึ่งมีสีขาวสม่ำเสมอ แต่อาจมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับการสี ถ้าขัดเบาๆ จะมีสีคล้ำกว่าเมื่อขัดแรงขึ้น เพราะยังมีส่วนของรำติดอยู่ที่ผิวของเมล็ดข้าว สำหรับข้าวเปลือกที่เก็บไว้นาน ถ้านำไปสีจะได้ข้าวสารสีคล้ำกว่าข้าวเปลือกที่เก็บใหม่ๆ ดังนั้นความขาวของข้าวสารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานของข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) ในทางการค้าค่าความขาว (Whiteness) ของข้าวเหนียวที่ผู้บริโภคนิยมเลือกซื้อ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 46 ตามหน่วยวัดของเครื่องวัดความขาว (Kett whiteness meter) (Unnevehr, Duff and Juliano, 1992)

สำหรับเมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ เป็นเวลา 6 เดือน เมื่อขัดสีจนเป็นข้าวสาร แล้ววัดค่าสีในระบบ CIE *L* a* b** ด้วยเครื่องวัดสี Minolta รุ่น CR-300 และคำนวณค่าดัชนีความขาวของข้าวสาร (Whiteness index) ตามวิธีของ Chen และคณะ (1999) ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ดัชนีความขาวของข้าวสารพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.3 ค่าแสดงความเหลืองของข้าวสารพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

จากรูปที่ 4.2 พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบทำให้ข้าวมีดัชนีความขาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 75.56-80.96 (ตารางที่ ค.2) ก่อนการเก็บรักษา ข้าวสารมีค่าดัชนีความขาวอยู่ที่ 80.75 และมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารมากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูงนั้น ความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นเข้าไปเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymatic browning) (Soponronnarit *et al.*, 2008) โดยหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซิ่งในข้าว ได้รับความร้อนและทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนของกรดอะมิโนและโปรตีนในข้าวได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาล (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์ (2541) ซึ่งทดลองเก็บรักษาข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ บรรจุในถุงพลาสติก polypropylene หนา 70 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 เดือน พบว่าเมื่อขัดสีข้าวและวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีของส่วน endosperm มีความเหลืองเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้น และข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีความเหลืองมากกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Soponronnarit และคณะ (2008) ศึกษาผลทางเคมีกายภาพของข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ถูกเร่งความเก่าโดยวิธีการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิไดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส

เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น ทำให้ความขาวของข้าวลดลง ซึ่งคาดว่าเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีแบบไม่อาศัยเอนไซม์เป็นปัจจัยหลัก เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นทำให้มีความร้อนเพิ่มมากขึ้นเข้าไปเร่งการปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ ข้าวที่ได้จึงมีความขาวลดลง

สำหรับค่า b^* ซึ่งเป็นค่าแสดงความเหลือง พบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.56-11.18 (รูปที่ 4.3) ก่อนการเก็บรักษา ข้าวสารมีค่า b^* เท่ากับ 7.86 และมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าข้าวเปลือกที่เก็บในกระสอบ และอุณหภูมิแวดล้อม ค่า b^* มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส ตรงกับงานวิจัยของ เมธินี เห่วซึ่งเจริญ และคณะ (2546) ที่ศึกษาการเก็บรักษาข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 10, 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าข้าวที่เก็บอุณหภูมิห้องมีค่า b^* สูงกว่าข้าวที่เก็บที่ 10 และ 15 องศาเซลเซียส โดยความเหลืองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาการเก็บรักษา

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ความขาวของข้าวสารลดลง และความเหลืองของข้าวสารเพิ่มขึ้น ตรงกับงานวิจัยของ ธัญญารัตน์ เตชทรัพย์อมร (2549) ที่ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้ง เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีค่าดัชนีความขาวของข้าวสารต่ำกว่าและความเหลืองของข้าวสารมากกว่าเก็บที่ 15 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากอุณหภูมิการเก็บที่สูง จะเร่งการปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ ทำให้ข้าวมีสีเหลืองเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อดัชนีความขาวของข้าวสารที่มีแนวโน้มลดลง และความเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเก็บที่นานขึ้นมีผลทำให้ผนังเซลล์ของเมล็ดข้าวมีความแข็งแรงมากขึ้น (Zhou *et al*., 2002) ดังนั้นเมื่อใช้เวลาในการขัดสีที่เท่ากัน ข้าวที่มีความแข็งแรงมาก (ข้าวที่ผ่านการเก็บรักษา) จะถูกขัดสีเพื่อกำจัดรำออกได้น้อยกว่าข้าวที่มีความแข็งแรงน้อย (ข้าวก่อนการเก็บรักษา) (รวิศรา อิ่มภาประเสริฐ, 2549) Chrastill (1990b) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงโปรตีนโอริเซนิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในข้าว เกิดการออกซิไดซ์จากซิสเตอีน (cystein) ไปเป็นซีสตีน (cystine) ซึ่งมีพันธะที่แข็งแรงขึ้น การเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์นี้ จะช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโปรตีน และไปแทรกระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง (Zhou *et al*., 2002) จึงทำให้ข้าวมีลักษณะที่แข็งและแกร่งขึ้นเมื่อนำไปขัดสีจะมีระดับการสีต่ำลง ทำให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้นได้ (งามชื่น คงเสรี, 2545)

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างสภาวะ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อดัชนีความขาวและความเหลืองของข้าวสาร พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บใน

กระสอบ เป็นระยะเวลานาน มีแนวโน้มทำให้ความขาวของข้าวสารลดลง ความเหลืองเพิ่มขึ้น แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05)

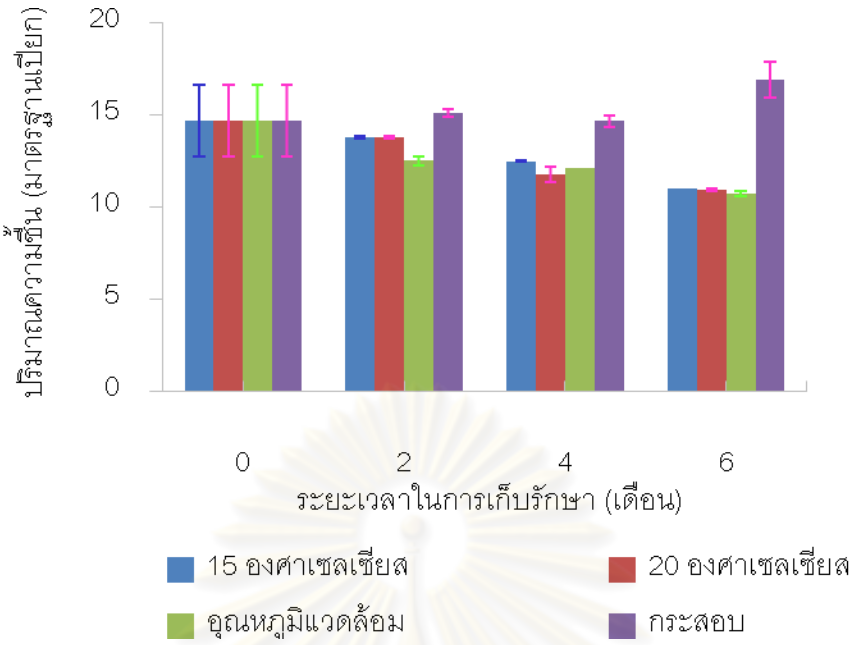
ในทางการค้าค่าความขาวของข้าวจะรายงานตามหน่วยวัดของเครื่องวัดความขาว แต่ในการทดลองเป็นการวัดค่าสีในระบบ CIE L^* a^* b^* ซึ่ง Juliano, Perez และ Kaosa-ard (1992) ได้รายงานการวัดค่าสีของตัวอย่างข้าวชนิดเดียวกันโดยเปรียบเทียบค่าสีทั้ง 2 แบบ ระหว่างค่าความขาว จากเครื่องวัดความขาว และ CIE L^* a^* b^* พบว่าความขาวที่มีค่าสูง จะมีค่า L^* สูง และค่า b^* ต่ำ และเมื่อพิจารณาการวัดค่าสีจากการทดลองหลังการเก็บรักษา พบว่าในทุกเงื่อนไขการทดลองตัวอย่างข้าวมีค่า L^* สูง และค่า b^* ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Juliano และคณะ (1992) ที่ตัวอย่างข้าวเหนียวมีค่าความขาว 48-56 จะมีค่า L^* อยู่ในช่วง 80-83 ส่วน b^* มีค่า 11-16 ในขณะที่ข้าวที่มีความขาว 36-46 มีค่า L^* อยู่ในช่วง 74-79 ค่า b^* อยู่ในช่วง 13-16 ซึ่งพบว่าในการทดลองนี้ ค่า L^* อยู่ในช่วงประมาณ 78-82 ส่วนค่า b^* อยู่ในช่วง 7-11 (ตารางที่ ค.2) โดยค่าการยอมรับทางการค้า ความขาวต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 46 ซึ่งจากการเปรียบเทียบนี้ ค่า L^* และ b^* ที่ได้ มีแนวโน้มค่าความขาวสูงกว่าหรือใกล้เคียงกับค่าความขาวที่ผู้บริโภคยอมรับในทางการค้า

4.3 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อสมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

4.3.1 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

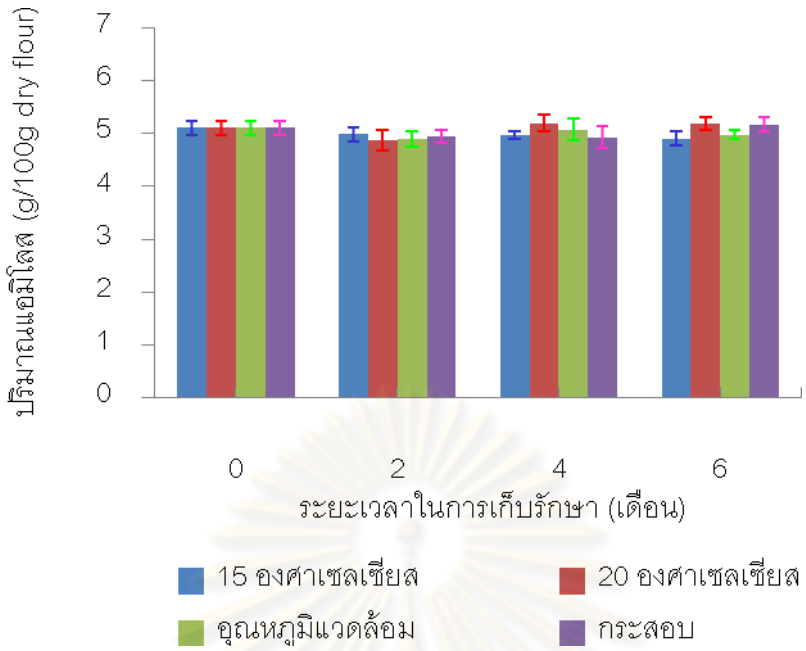
จากรูปที่ 4.4 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะ และระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่ามีอิทธิพลจากทั้ง 2 ปัจจัยหลักอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 14.66 %(w.b) (ตารางที่ ค.3) พบว่าปริมาณความชื้นมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาในทุกสภาวะ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ยกเว้นการเก็บในกระสอบ ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแวดล้อม มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด รองลงมาคือ ที่อุณหภูมิ 20 และ 15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกับงานวิจัยของ เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์ (2541) ที่พบว่าปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ลดลงมากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะมีค่าต่ำ ดังนั้นเมล็ดข้าวจึงมีการปรับความชื้นภายในเมล็ดให้เท่ากับความชื้นของสิ่งแวดล้อม เมื่อความชื้นสิ่งแวดล้อมลดต่ำลง เมล็ดข้าวจึงมีการปรับตัวให้ความชื้นลดลงด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) อีกทั้งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงยังส่งผลให้ความชื้นที่อยู่บนผิวของเมล็ดข้าวระเหยได้เร็วขึ้น เมล็ดข้าวจึงมีปริมาณความชื้นลดลง (Wimberly, 1983) Butt และคณะ (2008) ที่ศึกษาการเก็บรักษาข้าวพันธุ์ Basmati ที่อุณหภูมิ 5, 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน พบว่าข้าวมีปริมาณความชื้นลดลงเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

สำหรับการเก็บข้าวเปลือกในกระสอบ พบว่าข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน เนื่องจากในการทดลองนี้ไม่ได้มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเก็บ ซึ่งพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในจังหวัดมหาสารคาม ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2550 ถึงพฤษภาคม 2551 มีค่าสูงขึ้น (ตารางที่ ค.4) ดังนั้นปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพบรรยากาศและฤดูกาลในระหว่างการเก็บรักษา (Dhaliwal, Sekhon and Nagi, 1991)

4.3.2 **ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าว** (apparent amylose content)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อปริมาณแอมิโลส พบว่าข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน มีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการเก็บรักษามีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วง 4.88-5.20 g/100g dry flour (ตารางที่ ค.5) ก่อนการเก็บรักษา แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณแอมิโลส เท่ากับ 5.11 g/100g dry flour เมื่อเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 15, 20, อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณ แอมิโลส เท่ากับ 4.91, 5.19, 4.98 และ 5.17 g/100g dry flour ตามลำดับ จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร และทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย (2548) พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมิโลส ดังนั้นปริมาณแอมิโลสไม่สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวที่เก็บรักษา เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Teo และคณะ (2000) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านความหนืดของ non waxy rice flour ในระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 สัปดาห์ พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมิโลส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

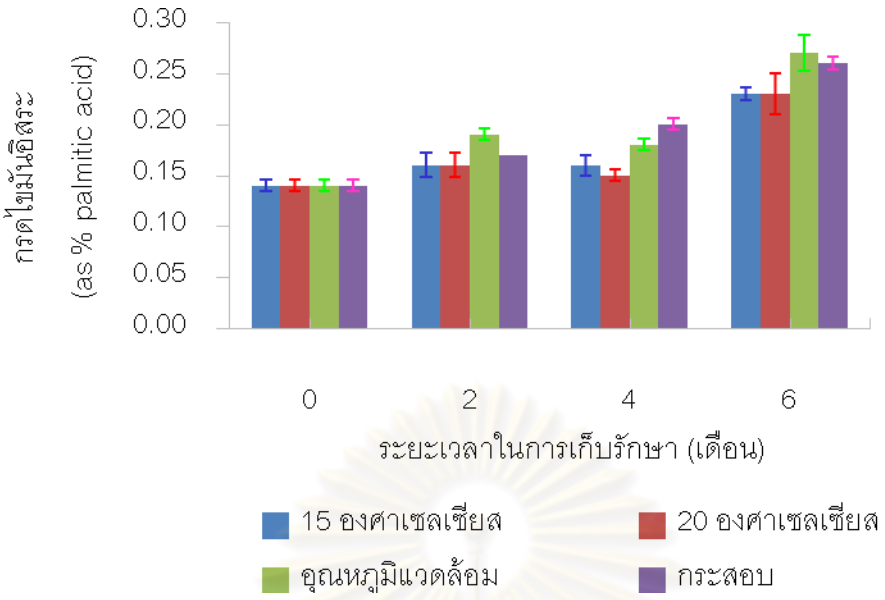


รูปที่ 4.5 ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

4.3.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวปริมาณไขมันไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่การเสื่อมสภาพของไขมันในข้าวสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือกระบวนการไฮโดรไลซิสจากเอนไซม์ lipase ซึ่งมีอยู่ในเมล็ดข้าวตามธรรมชาติและกระบวนการออกซิเดชันจากเอนไซม์ lipoxydase โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมากที่สุดในระหว่างการเก็บรักษานั้นเกิดจากเอนไซม์ lipase ที่เปลี่ยนไขมันไปเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะถูกกระตุ้นจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ lipase คือ 37 องศาเซลเซียส แต่สามารถคงตัวอยู่ได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระจะส่งผลให้ข้าวมีกลิ่นและรสชาติต่างจากข้าวใหม่ ดังนั้นปริมาณกรดไขมันอิสระจึงใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของข้าวได้ (สุภาวดี ขาวสังข์, 2542; Juliano, 1985; Lam, Proctor and Meullenet, 2001)

ปริมาณกรดไขมันอิสระของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ ค.6



รูปที่ 4.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

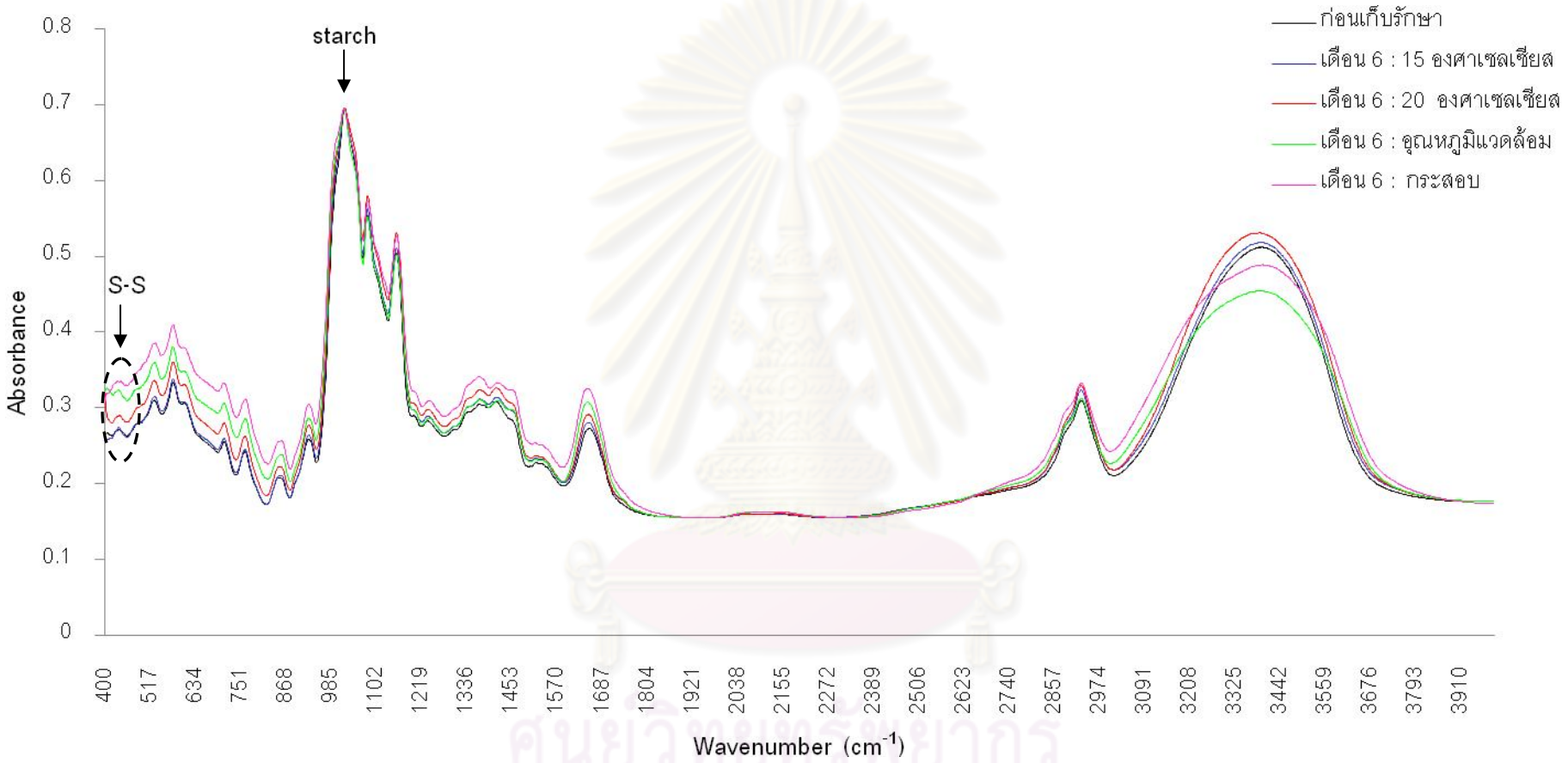
เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่ามีอิทธิพลจากทั้ง 2 ปัจจัยหลักอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มมากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูง จะเร่งให้เอนไซม์ lipase เปลี่ยนไขมันไปเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวเพิ่มขึ้น (Juliano, 1985) เช่นเดียวกับงานวิจัยของเมธินี เห่วซึ่งเจริญและคณะ (2548) พบว่าการเก็บรักษาในรูปของข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของไขมันในข้าวจากกระบวนการไฮโดรไลซิสและออกซิเดชัน ได้มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนั้น สุภาวดี ขาวสังข์ (2542) พบว่าเมื่อเก็บรักษาข้าวหอมมะลิในถุงไนลอนที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 6 เดือน เอนไซม์ lipase สามารถคงกิจกรรมได้ตลอดระยะเวลา 6 เดือน โดยปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์ของไขมันในข้าวจะลดลง และปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น Lam และ Proctor (2003) ศึกษาการเก็บรักษาข้าวสารที่อุณหภูมิ 24, 37 และ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 70% เป็นเวลา 50 วัน พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

4.3.4 การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

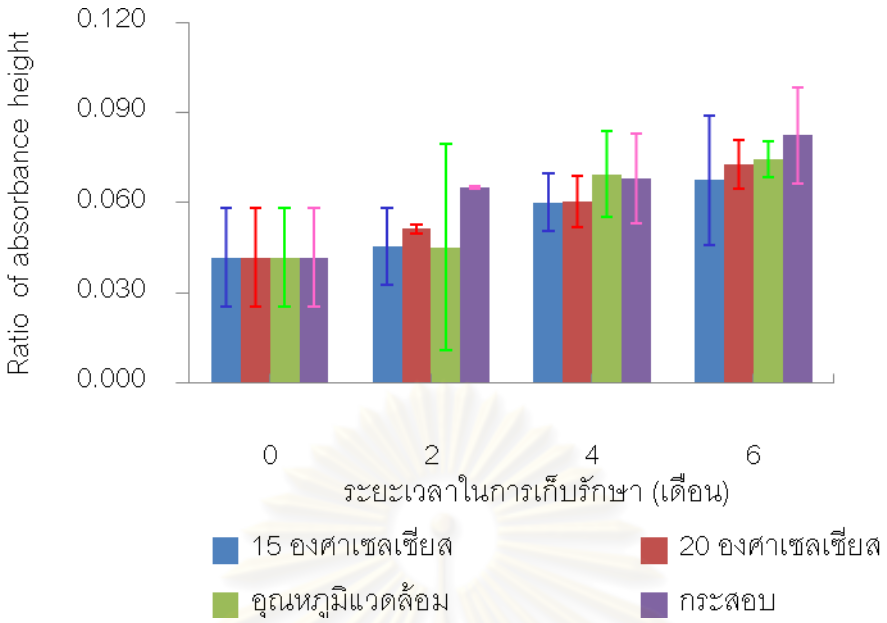
ข้าวเหนียวมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณสูงรองมาจากสตาร์ช Teo และคณะ (2000) พบว่า ปริมาณโปรตีนทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาข้าว แต่การเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลโอริเซนิน ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในเมล็ดข้าว คือประมาณ 85-90% ของโปรตีนทั้งหมด จะส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ที่มีลักษณะนุ่ม เหนียว หรือร่วน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ โดยมีหลักการ คือ โมเลกุลของสารเมื่อได้รับพลังงานจากแสงก็จะดูดกลืนพลังงานที่เหมาะสมไว้ แล้วเกิดปรากฏการณ์ออกมาในรูปต่างๆกัน โดยโมเลกุลที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดจะถูกกระตุ้น (excite) ให้มีพลังงานสูงกว่าที่สภาวะพื้น (ground state) ซึ่งเป็นพลังงานที่ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibration) และเกิดการหมุน (rotation) ขึ้น ในการสั่นนั้นพันธะของโมเลกุลจะเกิดการยืด (stretching) หรือเกิดการงอ (bending) โดยพันธะไดซัลไฟด์ (-SS-) จะดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ 400-500 cm^{-1} (ปรานอม ขาวเมฆ, 2549) สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ในเชิงปริมาณ สามารถหาได้ในรูปของ ratio of absorbance height (Li *et al*., 2008) ของพันธะไดซัลไฟด์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา เทียบกับหมู่ฟังก์ชันที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยโครงสร้างของสตาร์ชส่วนที่เป็นส่วนผลึก ดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ 1047 cm^{-1} และส่วนอสัณฐาน ดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ 1022 cm^{-1} (Li *et al*., 2008; Yang and Tao, 2008) ซึ่งจากการทดลองพบว่า การดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ช่วงประมาณ 1022 ถึง 1047cm^{-1} ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (สังเกตได้จากความสูงของ peak ดังแสดงในรูปที่ 4.7) รายละเอียดของการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดแสดงในภาคผนวก ก.9

การเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และตารางที่ ค.7



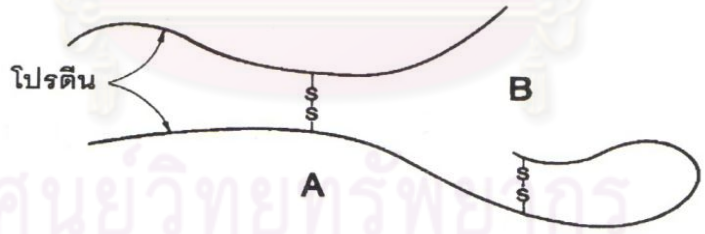
รูปที่ 4.7 spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบที่ก่อนการเก็บรักษา และเก็บไว้ 6 เดือน



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน แสดงในรูปของ ratio of absorbance height ของการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ 430cm^{-1}

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.8 พบว่าพันธะไดซัลไฟด์มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยในทุกสภาวะการเก็บรักษา แต่เป็นการเพิ่มอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) โดยการเก็บข้าวเปลือกในกระสอบจะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์มากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม 20 และ 15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ทำให้ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ เป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับออกซิเจน (Juliano, 1985) Chrastil (1990a) รายงานว่าปริมาณโปรตีนของข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่สมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในโปรตีนโอริเซนิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในข้าว เกิดการออกซิไดซ์จากซิสเตอีน (-SH) ไปเป็นซีสตีน (-SS-) ซึ่งหมู่ไทออล (-SH) จะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยออกซิเจน ทำให้มีพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา Chrastil (1990a) ศึกษาการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโปรตีนโอริเซนินกับสตาร์ชของข้าวในขณะเก็บรักษา พบว่าความเหนียวของข้าวหุงสุกมีผลมาจากการเกาะเกี่ยวกันของโอริเซนินกับโมเลกุลของสตาร์ชทั้งในส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกติน โดยทดลองในลักษณะระบบของแบบจำลอง จากการสกัดสตาร์ช แอมิโลส และสตาร์ชที่ปราศจากโอริเซนิน แล้วเติมโอริเซนินเปรียบเทียบลักษณะที่เติม และไม่เติมเปรียบเทียบกับข้าวปกติที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 และ 40

องศาเซลเซียส พบว่า มีความสัมพันธ์ของโปรตีนต่อความเหนียวของข้าว โดยในโครงสร้างของโปรตีนส่วนที่มีพันธะไดซัลไฟด์คู่คือซีสตีน ที่เกาะเกี่ยวกับเม็ดสตาร์ช จะขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียวลดลง (รูปที่ 4.9) Chrastil และ Zarins (1992) ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวต่อองค์ประกอบของโปรตีนโอริเซนินในข้าว โดยการเก็บรักษาข้าวสารที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 เดือน ทดลองโดยการหาปริมาณกรดอะมิโนซิสเตอีนและซีสตีน ของโปรตีนโอริเซนิน โดยแสดงค่าที่ได้ในรูปของ %S ในรูปของ -SH และ %S ในรูปของ -SS- พบว่า %S ในรูปของ –SH มีค่าลดลงจาก 0.20% เป็น 0.14% ส่วน %S ในรูปของ -SS- มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.12% เป็น 0.22% ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนซีสตีน สามารถเกิดขึ้นได้จากพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างกรดอะมิโน 2 โมเลกุลที่อยู่ในสายพอลิเพปไทด์เดียวกัน (intramolecular) และ/หรือกรดอะมิโนที่อยู่ในสายพอลิเพปไทด์ต่างสายกัน (intermolecular) ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนโอริเซนินสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับเม็ดแป้งในเมล็ดข้าว การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้มช้าลง ข้าวหุงสุกจึงมีความเหนียวลดลง (Chrastil, 1990b; Hamaker and Griffin, 1993; Fitzgerald and Martin, 2002) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Xie และคณะ (2008) ที่พบว่าการเติม dithiothreitol (DTT) ที่มีสมบัติรีดิวซิ่งซึ่งสามารถทำลายพันธะไดซัลไฟด์ ลงในน้ำที่ใช้ในการหุงต้มข้าวเหนียวพันธุ์ต่างๆ ทำให้ข้าวเหนียวสุกมีความแข็งลดลงมากกว่าข้าวเหนียวสุกที่ไม่มีการเติม DTT แสดงว่าพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้ความเหนียวของข้าวเหนียวสุกลดลง



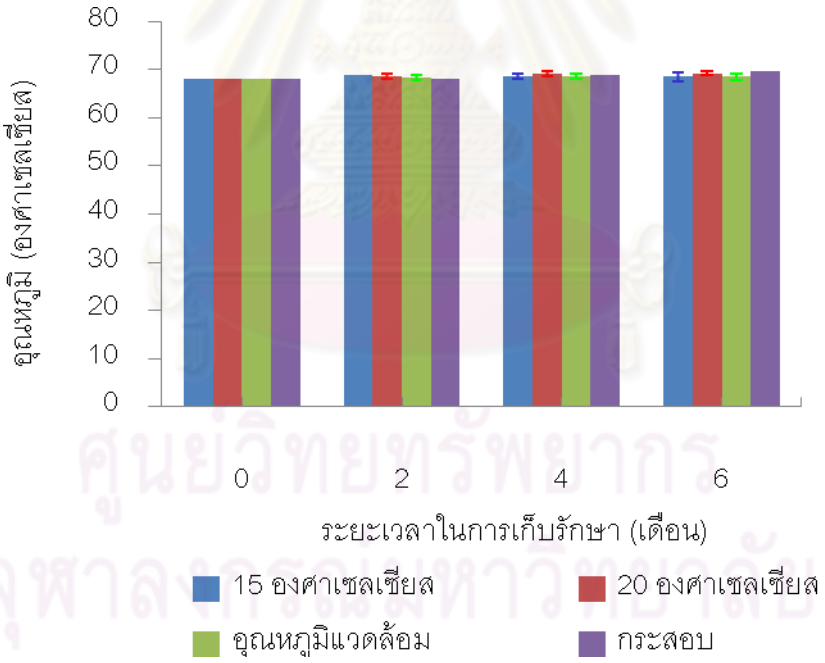
รูปที่ 4.9 พันธะไดซัลไฟด์ระหว่างสายพอลิเพปไทด์ (A) และภายในสายพอลิเพปไทด์ (B) ของโมเลกุลโปรตีน

ที่มา : Hoseney (1986)

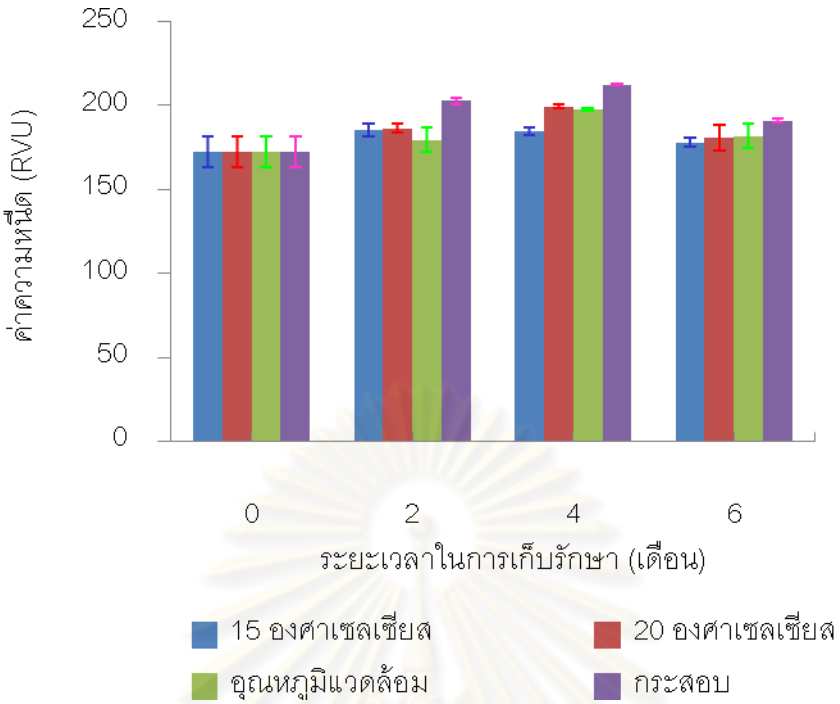
4.4 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อสมบัติทางความหนืดของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

ความหนืดจัดเป็นสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดอย่างหนึ่งของแป้งข้าว เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้งในสภาวะที่มีน้ำและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ การให้ความร้อนและการทำให้เย็น การวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดด้วยเครื่อง RVA เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ประเมินและติดตามสมบัติทางความหนืดในขณะที่แป้งได้รับความร้อน รวมทั้งความคงตัวของสารละลายแป้งเมื่อเริ่มให้ความเย็น โดยมีการลดอุณหภูมิลงจาก 95 เป็น 50 องศาเซลเซียส (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ, 2546)

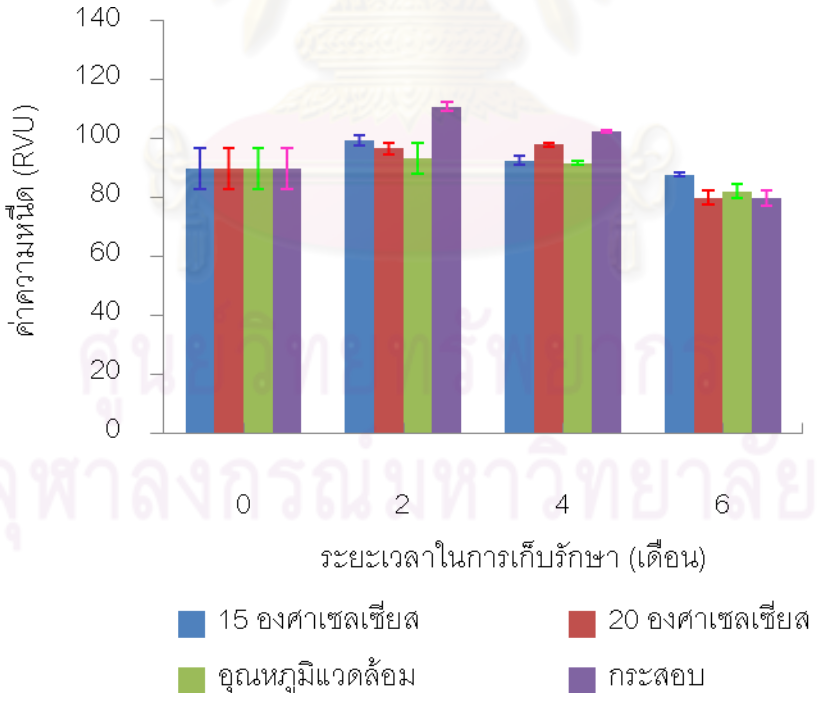
การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้แก่ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature, PT) ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity, PV) ค่าความหนืดลดลง (breakdown, BD) และค่าเซตแบค (setback, SB) ดังแสดงในรูปที่ 4.10-4.13 และตารางที่ ค.8



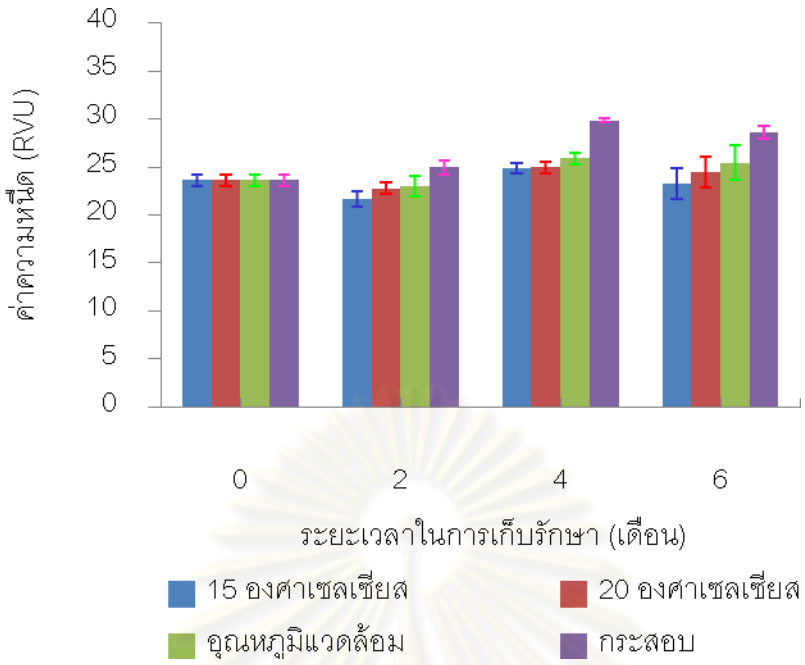
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.11 ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.12 ค่าความหนืดที่ลดลงของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.13 ค่าเซตแบคของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืด (ตารางที่ ง.7) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืด

ค่าที่วิเคราะห์	ผลของปัจจัยหลัก[A,B]	ผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัย[A,B]
อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด	-	-
ความหนืดสูงสุด	a, b	a*b
ความหนืดที่ลดลง	a, b	a*b
เซตแบค	a, b	-

[A] a หมายถึง สภาวะในการเก็บรักษาข้าว และ b หมายถึง ระยะเวลาการเก็บรักษา

[B] มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (รูปที่ 4.10) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน มีค่าในช่วง 68.07–69.68 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดสังเกตได้ชัดเจนที่สุดในข้าวที่เก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน โดยมีค่ามากกว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการเป่าอากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ15 และ 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บในกระสอบ ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 25-30 องศาเซลเซียส สามารถเร่งโมเลกุลต่างๆภายในเม็ดแป้งให้จับตัวกันแข็งแรง โดยส่วนของโปรตีนจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเป็นพันธะที่มีความแข็งแรง ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโปรตีนและไปแทรกระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง ส่วนของสตาร์ชมีการเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดแป้ง ซึ่งจะเสริมให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดแป้ง ส่งผลให้เม็ดแป้งพองตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น (Jaisut *et al*., 2008)

ค่าความหนืดสูงสุด (รูปที่ 4.11) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวได้เต็มที่ จากการทดลองพบว่าการเก็บข้าวเปลือกในกระสอบ มีค่าความหนืดสูงสุด สูงกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อม และเมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ค่าความหนืดสูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วง 2-4 เดือนแรก หลังจากนั้นจึงลดลง แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าก่อนการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเม็ดแป้งในเมล็ดข้าวมีการเกาะตัวกันแข็งแรงขึ้น (Zhou *et al*., 2002) ทำให้เม็ดแป้งมีค่าการพองตัวต่ำ จึงยังคงสภาพอยู่ได้ไม่แตกออกเมื่อได้รับแรงเฉือน และสามารถพองตัวได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 95 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดสูงขึ้น (Ong and Blanshard, 1995)

ค่าความหนืดที่ลดลง (รูปที่ 4.12) เป็นตัวบ่งชี้ถึงความคงทนของ เม็ดแป้งต่ออุณหภูมิและแรงเฉือนจากการกวนของเครื่อง RVA หากค่าความหนืดที่ลดลงมีค่าต่ำ เม็ดแป้งจะพองตัวและแตกออกได้ยากในระหว่างการให้ความร้อนและมีการกวน แสดงว่าเม็ดแป้งมีความแข็งแรงและทนต่อแรงเฉือนได้ดี (Han and Hamaker, 2001) ซึ่งจากการทดลอง พบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษาและการเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดที่ลดลง โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบมีค่าความหนืดที่ลดลง ลดลงมากกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าค่าความหนืดที่ลดลง มีค่าลดลงทุกสภาวะการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงและทนต่อแรงเฉือนได้ดี เนื่องจากระหว่างการเก็บรักษา โครงสร้างของข้าวจะมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยที่ผิวของเม็ดแป้งจะเกิดโครงสร้างร่วมกันระหว่างสตาร์ชกับโปรตีน (starch-protein interaction) เกิดเป็นชั้นที่ผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น (Han and Hamaker. 2001; Sowbhagya and Bhattacharya, 2001)

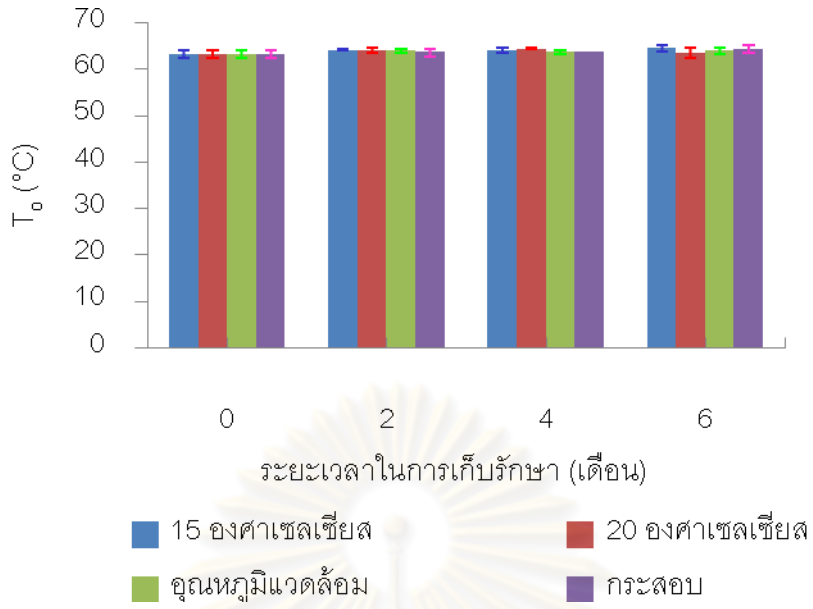
ค่าเซตแบค (รูปที่ 4.13) บ่งชี้ลักษณะของแป้งและผลิตภัณฑ์ได้ว่ามีลักษณะการเกิดเจลมากหรือน้อยเมื่อมีการให้ความร้อนและทำให้เย็น โดยค่าเซตแบคสูง แสดงว่าแป้งสามารถเกิดรีโทรเกรดได้ดี และมีแนวโน้มที่จะเป็นเจลแป้งที่แข็งแรง (Beta and Corke, 2001) ซึ่งจากการทดลอง พบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษา และการเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเซตแบค โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีค่าเซตแบคลดลง ในขณะที่การเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าค่าเซตแบค มีค่าสูงสุดในเดือนที่ 4 ในทุกสภาวะการเก็บรักษาข้าวเปลือก Perez และ Juliano (1981) พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นทำให้ค่าเซตแบคสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าเซตแบคนี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดรีโทรเกรดที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการเกิดเจลาติไนซ์ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้โมเลกุลของแอมิโลสหลุดออกจากเม็ดแป้ง เมื่ออุณหภูมิลดลงโมเลกุลของแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการยึดเกาะกันเกิดโครงสร้างที่เป็นเจล มีรายงานว่าเซตแบคมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลส และแอมิโลสมีแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรดได้มากกว่าแอมิโลเพคติน แต่ Lu และคณะ (1997) กล่าวว่าการเกิดรีโทรเกรดอาจจะไม่เกี่ยวข้องกับแอมิโลสเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าการเกิดรีโทรเกรดจะเกี่ยวข้องกับแอมิโลเพคติน ซึ่งโมเลกุลแอมิโลเพคตินเป็นส่วนประกอบหลักใน crystalline region ในเม็ดแป้ง แนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลแอมิโลเพคติน โดยพบว่าแอมิโลเพคตินที่มี DP เท่ากับ 10-15 หน่วยกลูโคส จะมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยในช่วงแรกของการเกิดรีโทรเกรดจะเกิดจากการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของแอมิโลสและโมเลกุลของแอมิโลสกับโมเลกุลของแอมิโลเพคตินส่วนนอก หลังจากนั้นกระบวนการเกิดจะถูกควบคุมโดยแอมิโลเพคตินเพียงอย่างเดียว (Kim and D'Appolonia, 1977)

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์ (2541) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมิโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 เดือน พบว่า ความหนืดสูงสุด และเซตแบค มีค่าเพิ่มขึ้น โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พัชรา วีระพงษ์ (2547) ศึกษาผลของปริมาณแอมิโลส และสภาวะการเก็บของข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อสมบัติทางด้านเคมีฟิสิกส์ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 5, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีผลให้ค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดเพิ่มขึ้นในข้าวทุกพันธุ์ โดยข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ซึ่งมีปริมาณ แอมิโลส 7% มีค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา ข้าวที่เก็บรักษาเป็นเวลานาน จะดูดซับน้ำได้ช้าลง ทำให้อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดมีค่าสูงขึ้น ส่วนความหนืดสูงสุด ข้าวเหนียว

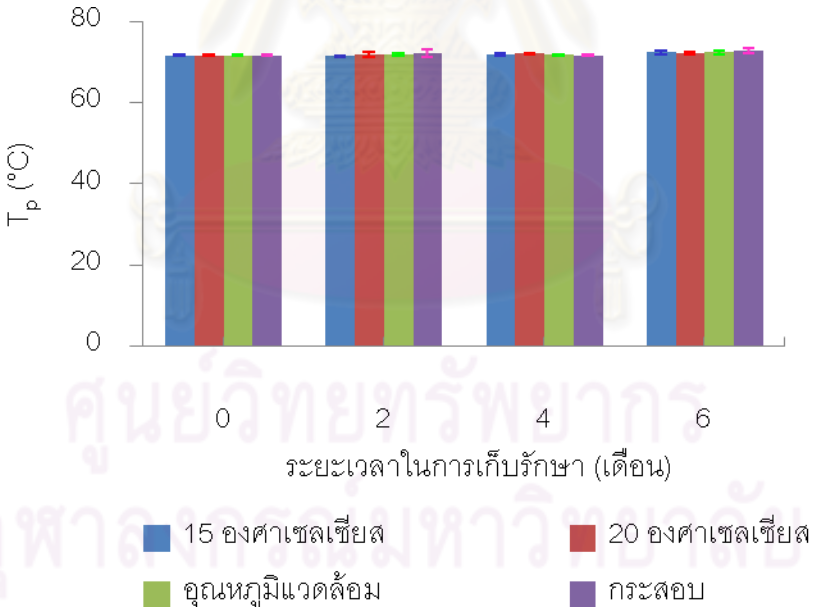
พันธุ์ กข 6 มีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการเก็บเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 40 องศาเซลเซียส Perdon และคณะ (1997) ศึกษาผลของสภาวะการเก็บของข้าวพันธุ์ Bengal ที่มีปริมาณความชื้น 12.9% ต่อสมบัติด้านความหนืด พบว่าค่าความหนืดสูงสุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจะมีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 20 และ 3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Pearce และคณะ (2001) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ของข้าวพันธุ์ Cypress และ Bengal ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 21 และ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 สัปดาห์ พบว่าความหนืดสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น Zhou และคณะ (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้ข้าวสารพันธุ์ Koshihikari (แอมิโลส 18%) Kyeema (แอมิโลส 20%) และ Doongara (แอมิโลส 29%) เก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 เดือน พบว่าความหนืดที่ลดลง มีค่าลดลงสำหรับค่าเซตแบคเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยข้าวสารที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านความหนืดนั้นขึ้นกับอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ศึกษาสมบัติด้านความหนืดในข้าวเจ้า พบว่า หากอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ความหนืดสูงสุด และเซตแบค มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความหนืดที่ลดลง มีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงในข้าวเหนียว

4.5 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อสมบัติทางความร้อนของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

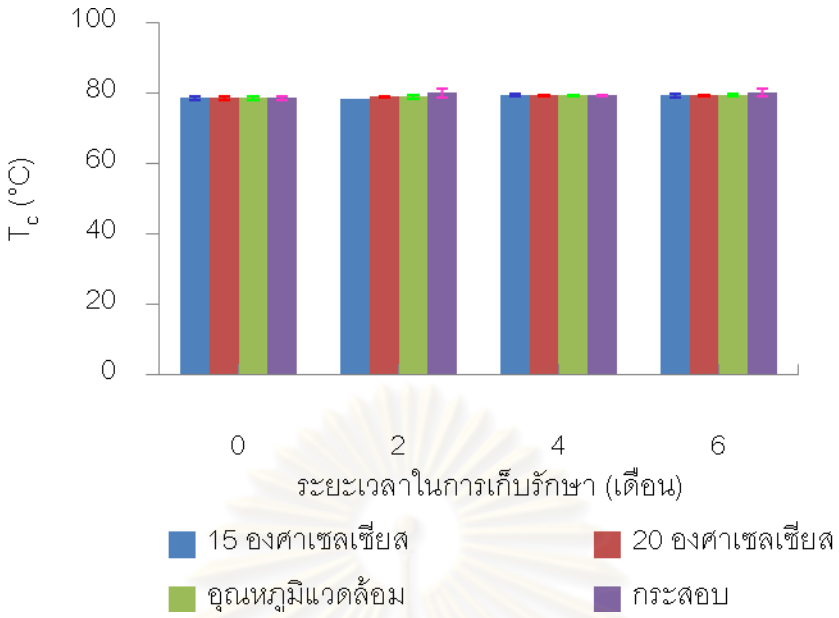
จากการวิเคราะห์การเกิดเจลาทิไนซ์ของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ได้แก่ช่วงอุณหภูมิและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้แป้งข้าวเกิดเจลาทิไนซ์ในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ โดยใช้เครื่อง DSC ค่าที่วิเคราะห์ได้จาก DSC thermogram คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาทิไนซ์ (T_o) อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาทิไนซ์ (T_c) และเอนทาลปีของการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากการเจลาทิไนซ์ (ΔH_{gel}) ซึ่งกระบวนการเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งข้าวเป็นกระบวนการแบบดูดความร้อน (endothermic process) ดังแสดงในรูปที่ 4.14-4.17 และตารางที่ ค.9



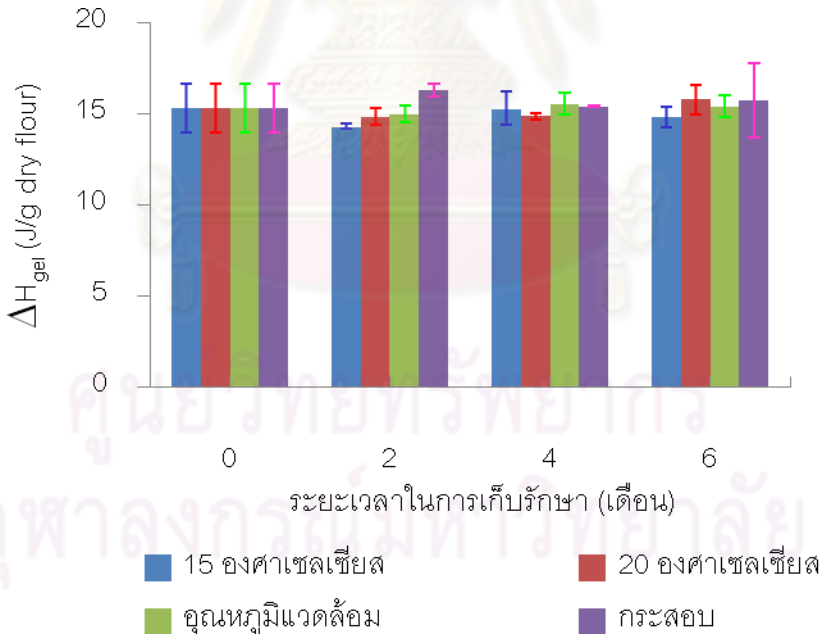
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิเริ่มต้นเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.15 อุณหภูมิเกิดเจลาทิไนซ์สูงสุดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.16 อุณหภูมิสุดท้ายของการเจลาทิไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.17 เอนทาลปีของการเจลาทิไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อน (ตารางที่ ง.8) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อน

ค่าที่วิเคราะห์	ผลของปัจจัยหลัก[A,B]	ผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัย[A,B]
T_o	-	-
T_p	b	-
T_c	a	-
ΔH_{gel}	a	-

[A] a หมายถึง สภาวะในการเก็บรักษาข้าว และ b หมายถึง ระยะเวลาการเก็บรักษา

[B] มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลอุณหภูมิการเก็บรักษา และการเก็บรักษาในกระสอบ พบว่าค่า T_o T_p และ T_cมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยในทุกสภาวะการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ซึ่งค่า T_p และ T_c ของการเก็บรักษาในกระสอบ มีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อม ที่มีค่า T_p และ T_c ใกล้เคียงกัน Morrison และ Azudin (1987) พบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลา 5-15 วัน ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์เพิ่มสูงขึ้นเป็น 5-7 องศาเซลเซียส ซึ่งการที่อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์และค่าพลังงานที่ใช้ในการเจลาทิไนซ์ของข้าวมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายภาพในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ซึ่งมีสาเหตุมาจากอันตรกิริยาระหว่างองค์ประกอบของข้าวได้แก่ แป้ง โปรตีน ไขมัน และปฏิกิริยาของเอนไซม์ทำให้เม็ดแป้งที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลานานเพิ่มแรงยึดเกาะกัน และเกิดพันธะไดซัลไฟด์ในโมเลกุลของโปรตีน ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโปรตีนและไปแทรกระหว่างช่องว่างของเม็ดแป้ง เสริมให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรง ซึ่งจะไปยับยั้งหรือขัดขวางไม่ให้น้ำเข้าไปในเม็ดแป้ง ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้ส่วนของเม็ดแป้งเกิดการพองตัวและเกิดการเจลาทิไนซ์ได้ (Teo *et al*., 2000; Iturriaya, Lopez and Anon, 2004) โดยการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดจากเครื่อง RVA (หัวข้อที่ 4.4) ผลการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลต่อคุณสมบัติของเมล็ดข้าวสุก โดยเมล็ดข้าวจะมีระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้นเล็กน้อย Zhou และคณะ (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวในระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้ข้าวสารพันธุ์

Koshihikari (แอมิโลส 18%) Kyeema (แอมิโลส 20%) และ Doongara (แอมิโลส 29%) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 เดือน พบว่าค่า T_o T_p และ T_c ของข้าวสารที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

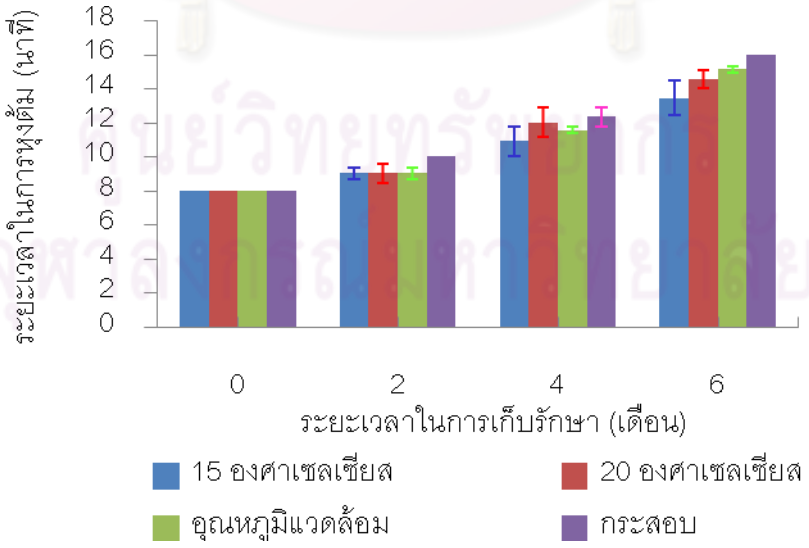
ΔH_{gel} เป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการทำลายผลึก ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณโครงสร้างผลึกหรือเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของแอมิโลเพกตินที่มีอยู่ในข้าวแต่ละชนิด (Jane *et al*., 1999) เมื่อพิจารณาค่า ΔH_{gel} พบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษา และการเก็บรักษาในกระสอบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ΔH_{gel} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า ΔH_{gel} มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยในทุกสภาวะการเก็บรักษา และค่า ΔH_{gel} ของการเก็บในกระสอบ มีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อม อาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแป้ง ไขมัน และโปรตีนภายในเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษาซึ่งมีผลต่อโมเลกุลต่างๆภายในเม็ดแป้ง เช่น โมเลกุลของแอมิโลเพกติน ดังนั้นจึงเกิดเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงกว่าโครงสร้างเดิม จึงต้องใช้ปริมาณความร้อนในการสลายโครงสร้างผลึกมากขึ้น (Zhou *et al*., 2003) ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Fan และ Marks (1999) พบว่าข้าวเปลือกพันธุ์ Bengal ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 21 และ 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 สัปดาห์ มีค่า ΔH_{gel} สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 9.7 เป็น 10.9 J/g เช่นเดียวกับ Zhou และคณะ (2003) ที่พบว่า ΔH_{gel} ของข้าวสารที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่า ΔH_{gel} ของข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ มีค่าแตกต่างกันไม่มาก เนื่องมาจากในข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีปริมาณแอมิโลเพกตินเกือบทั้งหมดในองค์ประกอบของสตาร์ช ซึ่งโดยปกติโมเลกุลแอมิโลเพกตินเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างในส่วนผลึกของเม็ดสตาร์ช ดังนั้นข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จึงมีปริมาณโครงสร้างผลึกหรือเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของแอมิโลเพกตินอยู่สูง (Jane *et al*., 1999) โดยโครงสร้างผลึกเกิดจากการที่กิ่งแขนงของโมเลกุลแอมิโลเพกตินพยายามพันกันเกิดเป็นเกลียวคู่ (double helices) ซึ่งการเกิดเกลียวคู่ของแอมิโลเพกตินต้องใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงวันเดอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน ทำให้โครงสร้างผลึกมีความเสถียรและมีความเป็นระเบียบ (Tester, 1997) สำหรับเม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดเรียงตัวกันหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ เช่น แป้งข้าวเหนียวและข้าวเจ้า) ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆ จะเกิดเป็นผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) และอีกรูปแบบหนึ่งคือ แบบ V พบได้ในสตาร์ชที่มีแอมิโลสสูงบางชนิด แต่โดยทั่วไปเป็นสตาร์ชที่เกิดเจลาทิไนซ์แล้วและจับกับไขมันไว้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ,

2550; Shelton and Lee, 2000) พิณทิพย์ รัมภกาภรณ์ (2547) ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ โดยการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น ปรับความชื้นของแป้งข้าวให้เป็น 20 และ 25 % บรรจุแป้งข้าวลงในภาชนะเหล็กกล้าปลอดสนิมที่ทนความดัน ใส่ลงในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 105 และ 120 องศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแป้งข้าวโดยใช้เครื่อง X-ray diffraction พบว่า แป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีความหนาแน่นของผลึกลดลง และปรากฏโครงสร้างผลึกแบบ V เกิดขึ้น การที่ความเป็นผลึกลดลงเป็นผลมาจาก โครงสร้างแอมิโลเพกตินถูกทำให้แตกสลายไปด้วยความร้อน นอกจากนั้นแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ซึ่งมีปริมาณแอมิโลเพกตินสูง ยังมีระดับความเป็นผลึกลดลงน้อยกว่าแป้งข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีปริมาณแอมิโลเพกตินต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 สำหรับเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 มีค่าเท่ากับ 34.62 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่าเท่ากับ 25.70 (Noosuk *et al*., 2003) ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวในช่วงอุณหภูมิ 15-30 องศาเซลเซียส อาจไม่ใช่สภาวะการเก็บที่รุนแรงพอที่จะมีผลต่อความเป็นระเบียบของโครงสร้างผลึกในเม็ดแป้ง ทำให้ค่า ΔH_{gel} มีค่าไม่แตกต่างกันมาก

4.6 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเปลี่ยนอากาศ ต่อสมบัติด้านการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

4.6.1 ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time)

ระยะเวลาในการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และตารางที่ ค.10



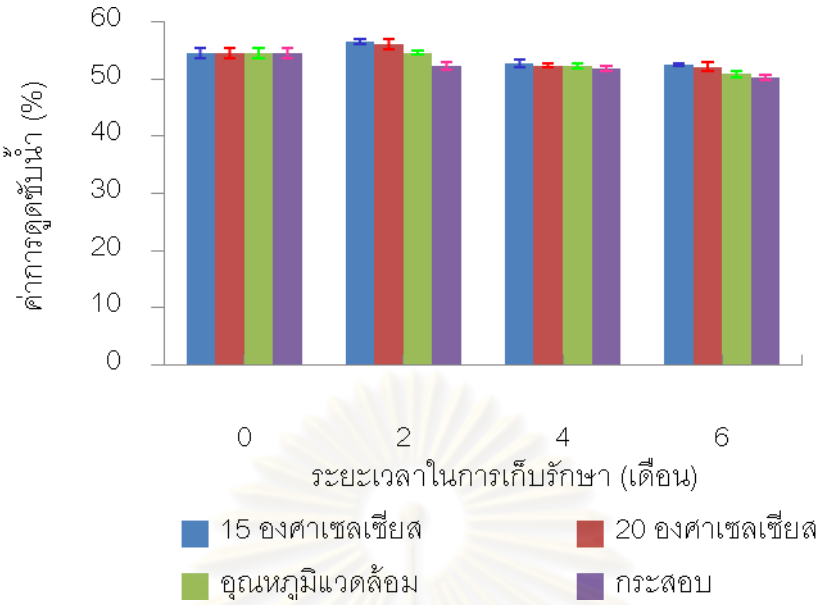
รูปที่ 4.18 ระยะเวลาในการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

จากรูปที่ 4.18 เมื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ พบว่าระยะเวลาในการหุงต้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บรักษาข้าวเปลือกในกระสอบ ทำให้ข้าวต้องใช้เวลาในการหุงต้มมากที่สุด รองลงมาก็คือ การเก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม 20 และ 15 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษาข้าวเป็นระยะเวลานานจะทำให้ระยะเวลาการหุงต้มนานขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นเดียวกัน ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ เมธินี เห่วเจริญ และคณะ (2546) ที่ทดลองเก็บรักษาข้าวขาวดอกมะลิด้วยวิธี Grain Chilling พบว่าการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิห้องจะใช้เวลาในการหุงต้มนานกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 และ 15 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับ Borompichaichartkul และคณะ (2007) ศึกษาผลของวิธีการอบแห้งและสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยหลังการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 เดือน พบว่าระยะเวลาในการหุงต้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งและอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เม็ดแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวมีการจับตัวกันแข็งแรงมากขึ้น ในขณะเดียวกันโปรตีนในเมล็ดข้าวก็เกิดการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างสายของโปรตีน ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรง (Zhou *et al*., 2002) ดังนั้นเมื่อหุงต้มข้าว น้ำซึมผ่านเข้าไปภายในเมล็ดข้าวได้ยากขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น

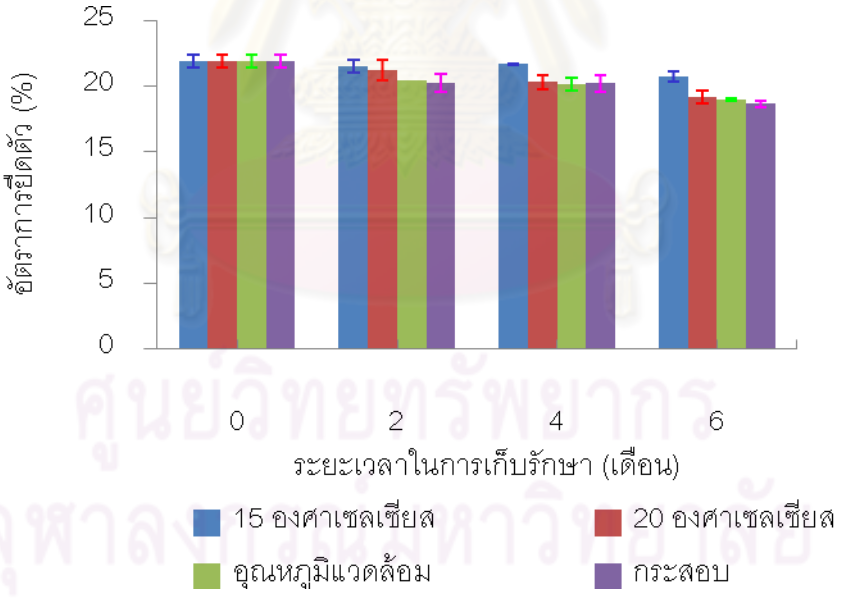
4.6.2 ค่าการดูดซับน้ำ (Water Uptake) และอัตราการยืดตัว (Elongation Ratio)

สำหรับวิธีตรวจสอบคุณภาพการหุงต้มได้แก่ ค่าการดูดซับน้ำ (Water Uptake) แสดงถึงการดูดน้ำของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้ม หาได้จากการชั่งน้ำหนักคงที่ของเมล็ดข้าวสาร แล้วคำนวณผลต่างของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของข้าวสุกและข้าวสาร สำหรับอัตราการยืดตัว (Elongation Ratio) แสดงถึงในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว หาได้จากการวัดความยาวของข้าวสุกต่อความยาวของเมล็ดข้าวสาร (งามชื่น คงเสรี, 2545; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

ค่าการดูดซับน้ำ และอัตราการยืดตัวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.19-4.20 และตารางที่ ค.11-12



รูปที่ 4.19 ค่าการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.20 อัตราการยืดตัวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

จากรูปที่ 4.19 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อตรวจสอบอิทธิพลร่วมระหว่างสภาวะ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ต่อค่าการดูดซับน้ำ พบว่ามีอิทธิพลจากทั้ง 2 ปัจจัยหลักอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับน้ำมากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่า ค่าการดูดซับน้ำจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาอัตราการยืดตัว (Elongation Ratio) (รูปที่ 4.20) พบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ ทำให้อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเหนียวในระหว่างการหุงต้มมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเหนียวมากที่สุด รองลงมาคือ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่า อัตราการยืดตัวมีแนวโน้มลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเหนียว เนื่องจากอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกมีผลมาจากการดูดซึมน้ำของเมล็ดข้าว ซึ่งช่วยให้เมล็ดข้าวสุกเกิดการขยายขนาดในระหว่างการหุงต้ม(งามชื่น คงเสรี, 2545)

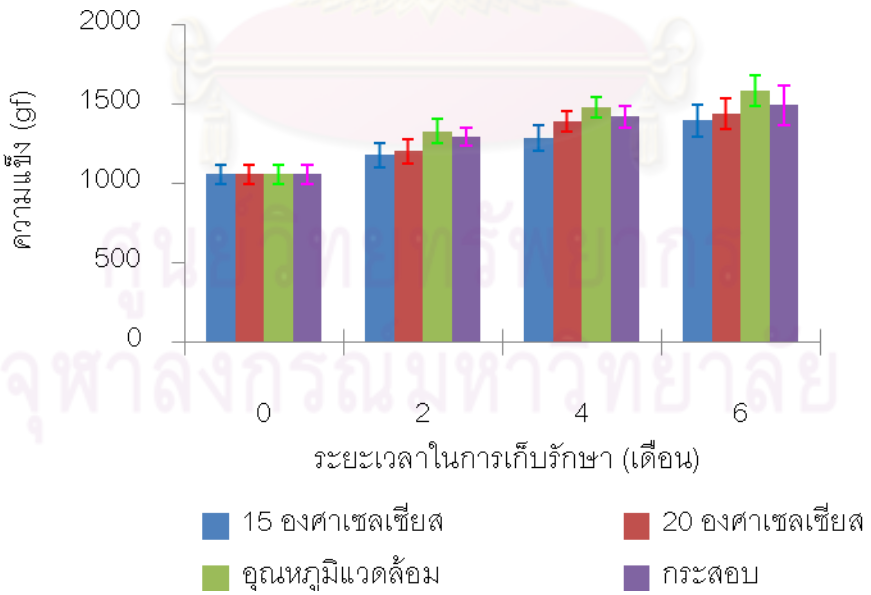
จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น ค่าการดูดซับน้ำ และอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวเหนียวในระหว่างการหุงต้มมีแนวโน้มลดลง อาจมีสาเหตุมาจากการเก็บรักษาข้าวไว้เป็นเวลานานจะทำให้เม็ดแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวมีการจับตัวกันแข็งแรงมากขึ้น ในขณะเดียวกันโปรตีนในเมล็ดข้าวเกิดการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างสายของโปรตีน ทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงและคงตัวมากขึ้น (Zhou *et al*., 20002) จึงขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดแป้ง ทำให้เมล็ดข้าวเหนียวมีการดูดซับน้ำ และอัตราการยืดตัวในระหว่างการหุงต้มลดลง ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ นราพร ดาลัย และสุนันทา ทองทา (2551) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 โดยเก็บรักษาข้าวสารที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่าข้าวเหนียวมีค่าการดูดซับน้ำลดลง

นอกจากนั้นยังพบว่า ผลการทดลองที่ได้ให้ผลในทางตรงข้ามกับข้าวเจ้าที่มีปริมาณแอมิโลสสูง และข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง ซึ่งพบว่าข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาจะมีค่าการดูดซับน้ำ และอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (Pearce *et al*.,2001; Gujral and Kumar, 2003; Butt *et al*., 2008) กล่าวคือ ข้าวเจ้าที่ผ่านการเก็บรักษา เมื่อหุงเป็นข้าวสวย จะมีผลทำให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำ และขยายขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวหุงขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น (งามชื่น คงเสรี, 2545) สำหรับข้าวเหนียวจะมีแอมิโลเพกตินเป็นองค์ประกอบเกือบทั้งหมด ดังนั้นภายในเม็ดแป้งจึงมีปริมาณโครงสร้างผลึกของ

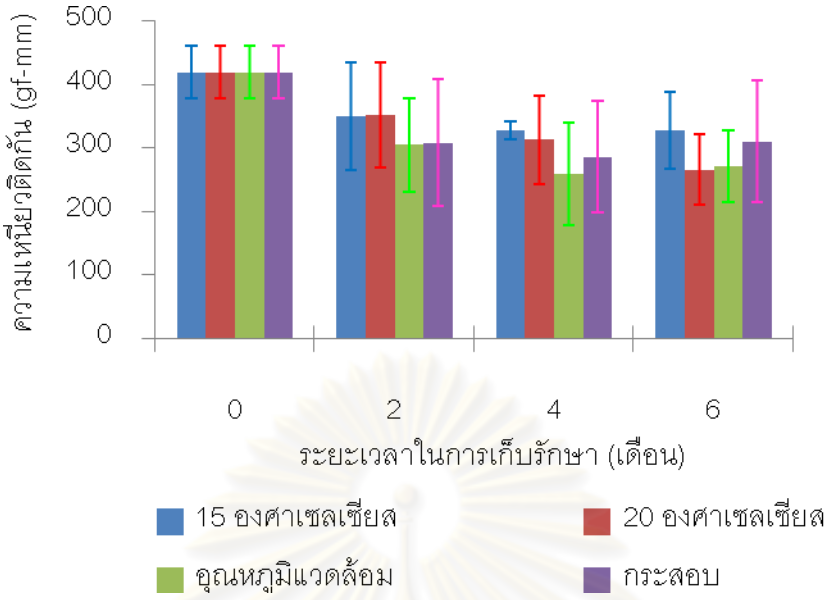
แอมิโลเพกตินอยู่มาก ในขณะที่ข้าวเจ้า ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสอยู่สูง จะมีโครงสร้างส่วนอสัณฐานมากกว่าโครงสร้างผลึก ดังนั้นน้ำจะสามารถซึมผ่านเข้าไปในเม็ดแป้งของข้าวเจ้าได้ง่ายกว่าข้าวเหนียว (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) สอดคล้องกับ Zhou และคณะ (2007) พบว่า เมื่อหุงต้มข้าวพันธุ์ Koshihikari ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสต่ำ จะให้ค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าข้าวพันธุ์ Doongara ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสสูง

4.7 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

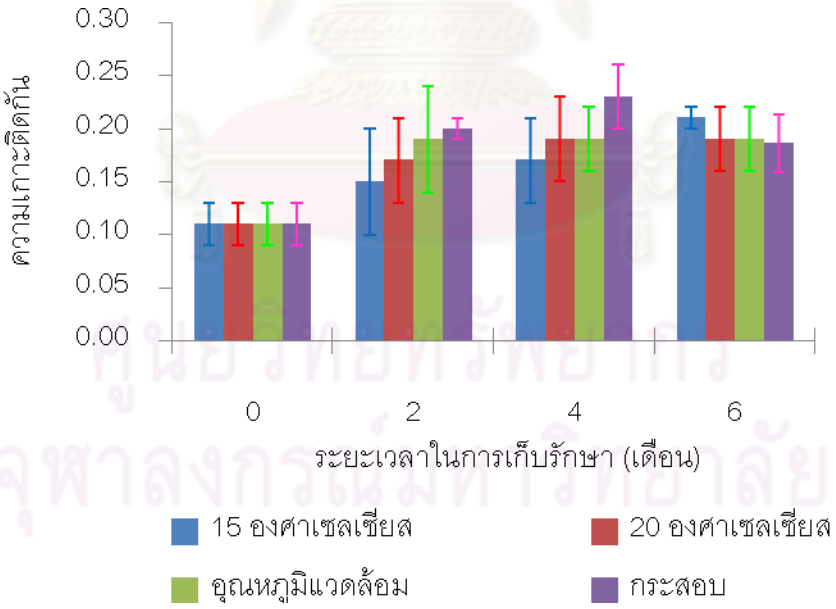
ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก เป็นลักษณะที่มีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลง (Meullenet *et al*., 2000; Zhou *et al*., 2007) จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพันธุ์ กข 6 หุงสุก โดยวิธีการทดสอบแบบ Texture profile analysis (TPA) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ ได้ค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) ความเหนียวติดกัน (Adhesiveness) ความเกาะติดกัน (Cohesiveness) และพลังงานในการเคี้ยว (Chewiness) ดังแสดงในรูปที่ 4.21-4.24 และตารางที่ ค.13



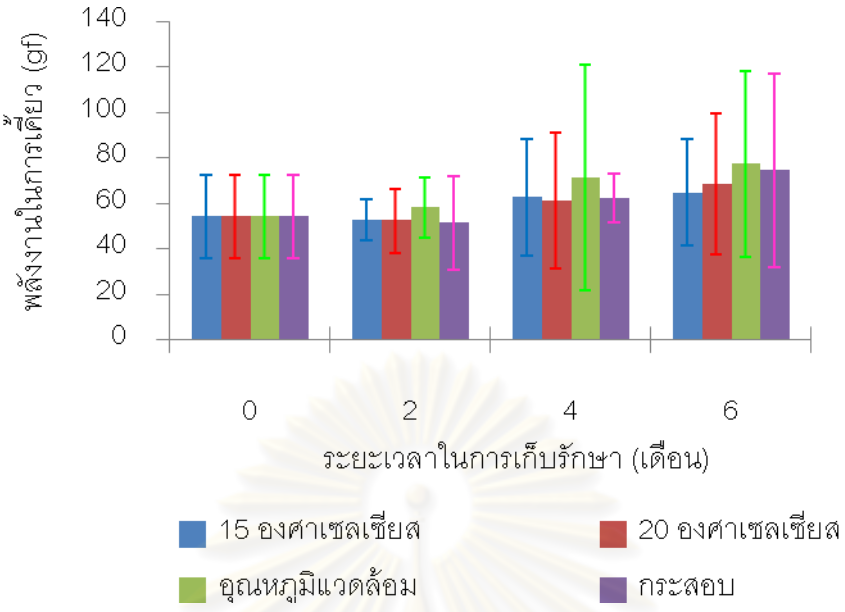
รูปที่ 4.21 ความแข็งของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.22 ความเหนียวติดกันของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.23 ความเกาะติดกันของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.24 พลังงานในการเคี้ยวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

ค่าที่วิเคราะห์	ผลของปัจจัยหลัก[A,B]	ผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัย[A,B]
ค่าความแข็ง	a, b	-
ค่าความเหนียวติดกัน	-	-
ค่าความเกาะติดกัน	-	-
พลังงานในการเคี้ยว	-	-

[A] a หมายถึง สภาวะในการเก็บรักษาข้าว และ b หมายถึง ระยะเวลาการเก็บรักษา

[B] มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าความแข็ง เป็นค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการกดครั้งแรก จากการทดลองพบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ มีผลต่อความแข็งของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเก็บที่อุณหภูมิแวดล้อมทำให้ข้าวเหนียวหุงสุกมีความแข็งสูงสุด รองลงมาคือ เก็บในกระสอบ 20 และ 15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่า ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการ

เพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีน ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับออกซิเจน (Juliano, 1985) จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับเม็ดแป้งในเมล็ดข้าว ทำให้การดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้มช้าลง ข้าวหุงสุกจึงมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของ RVA และ DSC (หัวข้อที่ 4.4 และ 4.5) ที่พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้น ทำให้ค่าเซตแบคสูงขึ้น ส่วนค่า ΔH_{gel} มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยในทุกสภาวะการเก็บรักษา

ค่าความเหนียวติดกัน เป็นค่าแสดงถึงความสามารถของข้าวเหนียวหุงสุกในการเกาะติดกับองค์ประกอบอื่น เช่น ฟัน ปาก จากการทดลองพบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ ทำให้ความเหนียวติดกันของข้าวเหนียวหุงสุกมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นการลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) จากการทดลองพบว่า การเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวติดกันน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่า ค่าความเหนียวติดกันมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีน ทำให้ข้าวหุงสุกมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเกาะติดกับฟันลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของ RVA ที่พบว่าการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิสูง ทำให้ค่าเซตแบคเพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นความเหนียวติดกัน จึงมีค่าลดลง

ค่าความเกาะติดกัน เป็นค่าแสดงถึงความสามารถของข้าวเหนียวหุงสุกในการเกาะติดกันเอง จากการทดลองพบว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ มีค่าความเกาะติดกันของข้าวเหนียวหุงสุกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่า ค่าความเกาะติดกันมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ยกเว้นการเก็บในกระสอบที่มีค่าลดลงจากเดือนที่ 4 สอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนของ RVA และ DSC ที่พบว่าการเก็บข้าวเปลือกในกระสอบ ทำให้ค่าเซตแบค และ ΔH_{gel} สูงกว่าการเก็บข้าวที่อุณหภูมิต่างๆ

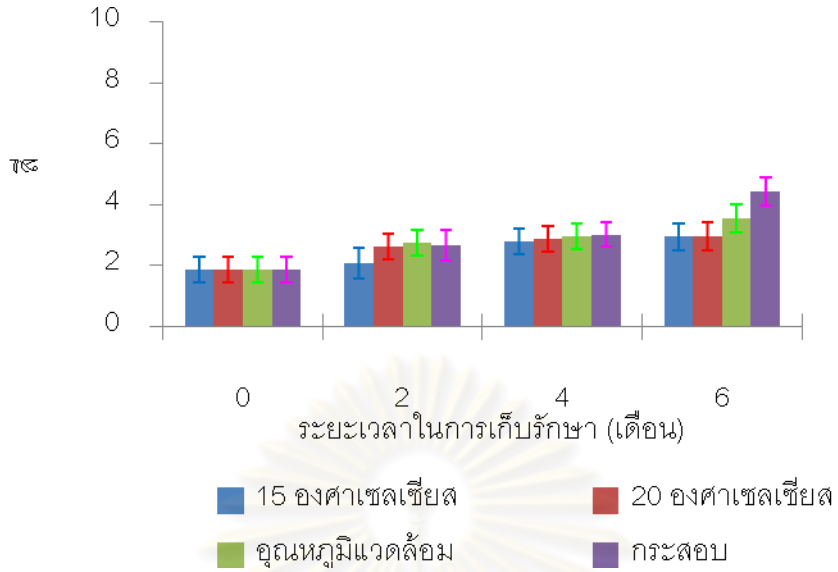
พลังงานในการเคี้ยว เป็นค่าแสดงถึงแรงที่ใช้ในการเคี้ยวข้าวเหนียวหุงสุกในปาก จากการทดลองพบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ ทำให้พลังงานในการเคี้ยวข้าวเหนียวหุงสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) จากการทดลองเมื่อเก็บรักษาข้าวเป็นเวลา 6 เดือนพบว่า การเก็บข้าวเปลือกที่อุณหภูมิแวดล้อม จะต้องใช้แรงในการเคี้ยวข้าวเหนียวหุงสุกมากที่สุด รองมาคือ เก็บในกระสอบ 20 และ 15 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่า พลังงานในการเคี้ยวข้าวเหนียวหุงสุกจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 0-2 เดือนแรก ต่อจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 4-6 เดือน แสดงให้เห็นว่าข้าวเก่าสามารถทนต่อการเคี้ยวของฟันได้มากกว่าข้าวใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับค่า

ความแข็ง ที่พบว่าเมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ข้าวมีความแข็งเพิ่มขึ้น ทำให้แรงที่ใช้ในการเคี้ยวข้าวเหนียวหุงสุกในปากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

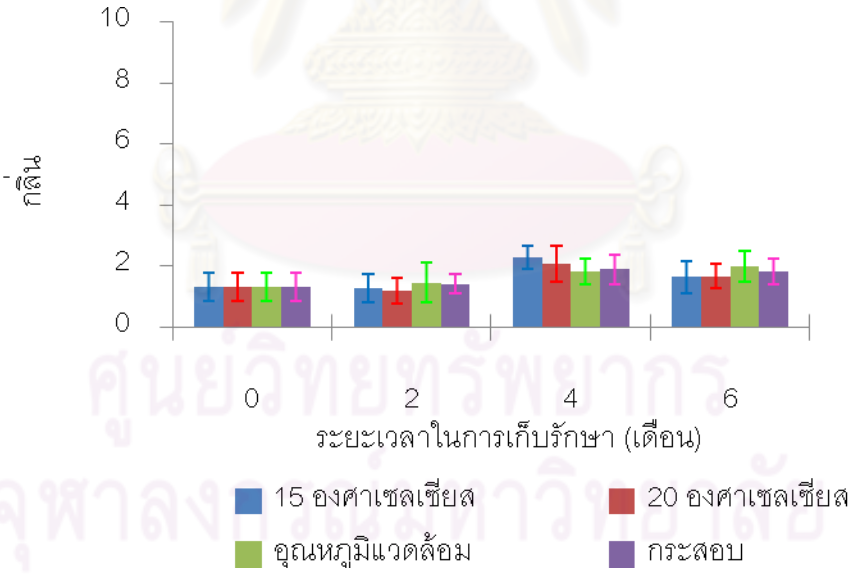
การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสในข้าวเจ้า เช่น งานวิจัยของ บัณฑิต ลีฬหรัตนรักษ์ (2548) ที่เก็บรักษาข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 เดือน พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาจะทำให้ข้าวมีค่าความแข็ง ความเกาะติดกัน และพลังงานในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีค่าความเหนียวติดกันลดลง Tsugita, Ohta and Kato (1983) เก็บรักษาข้าวกล้องพันธุ์ Koshihikari ที่อุณหภูมิ 4 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวมีค่าความแข็ง และความเกาะติดกันเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเหนียวติดกันของข้าวลดลง ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Zhou และคณะ (2007) ที่ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อลักษณะการหุงต้มข้าว โดยใช้ข้าวสารพันธุ์ Koshihikari (แอมิโลส 18%) Kyeema (แอมิโลส 20%) และ Doongara (แอมิโลส 29%) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 เดือน พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีค่าความแข็ง และความเกาะติดกันเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเหนียวติดกันลดลงเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

4.8 ผลของการเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่มีการเป่าอากาศเย็น อากาศแวดล้อม และไม่มีการเป่าอากาศ ต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

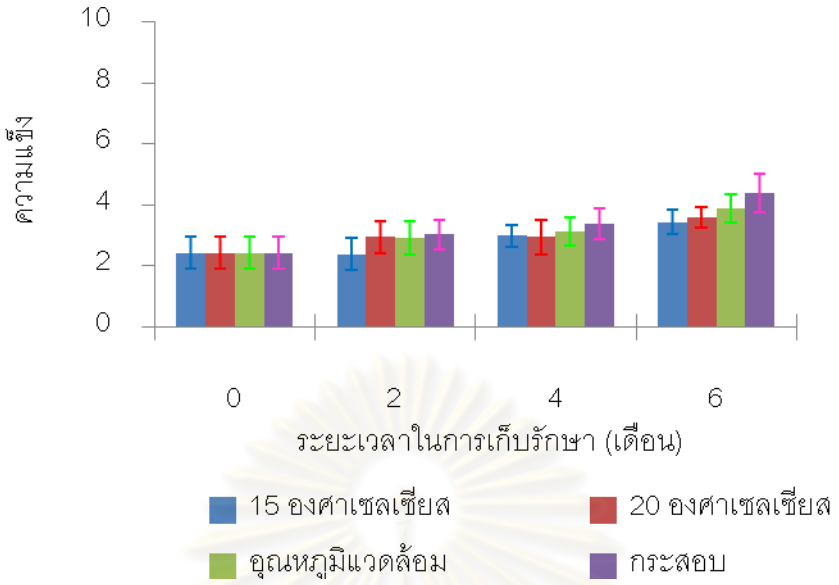
ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวหุงสุก ด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา (ภาคผนวก ข.1) โดยให้ผู้ทดสอบระบุระดับความเข้มของคุณลักษณะต่างๆ จากน้อยไปมาก ประเมินลักษณะทางด้านสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยจากการประเมินผลทางประสาทสัมผัส พบว่าข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการเก็บรักษาที่สภาวะแตกต่างกัน เป็นเวลา 6 เดือน ส่งผลต่อคุณลักษณะด้านต่างๆ ของข้าวเหนียวหุงสุก ดังแสดงในรูปที่ 4.25–4.31 และตารางที่ ค.14



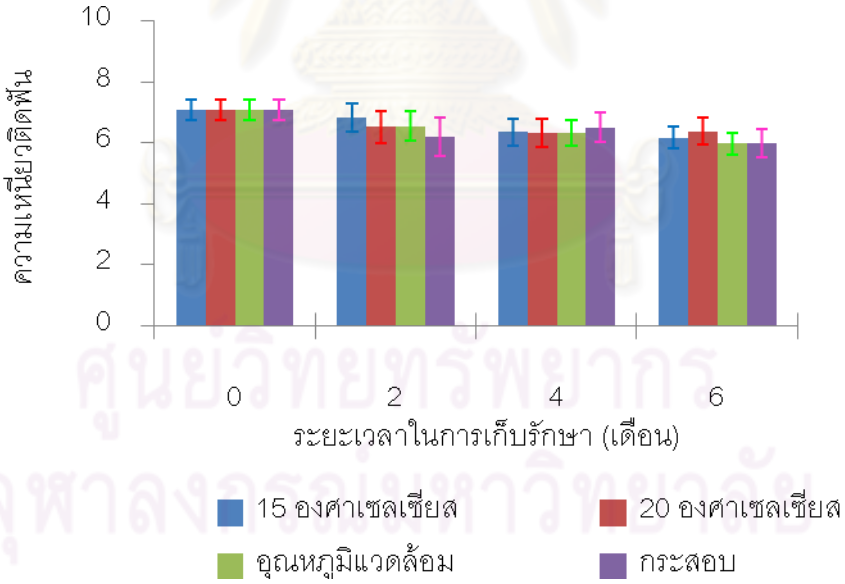
รูปที่ 4.25 ระดับความเข้มด้านสีของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



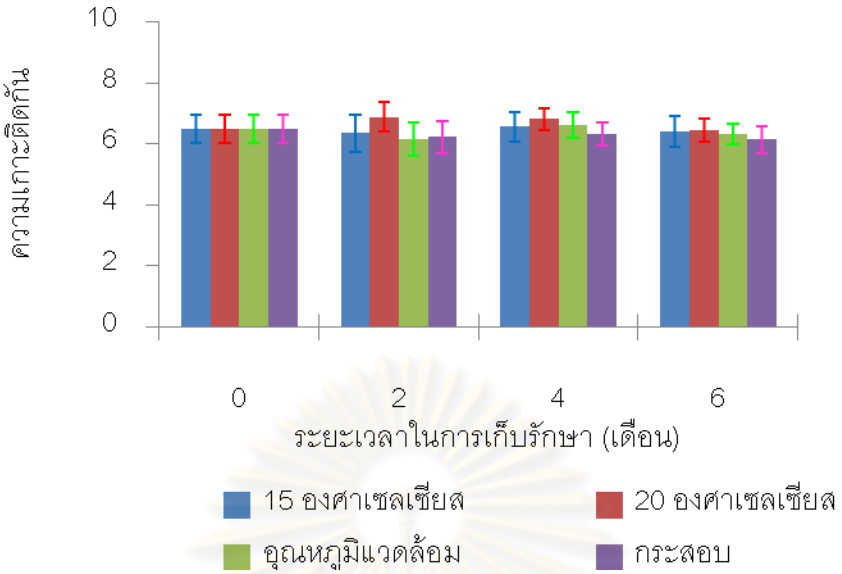
รูปที่ 4.26 ระดับความเข้มด้านกลิ่นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



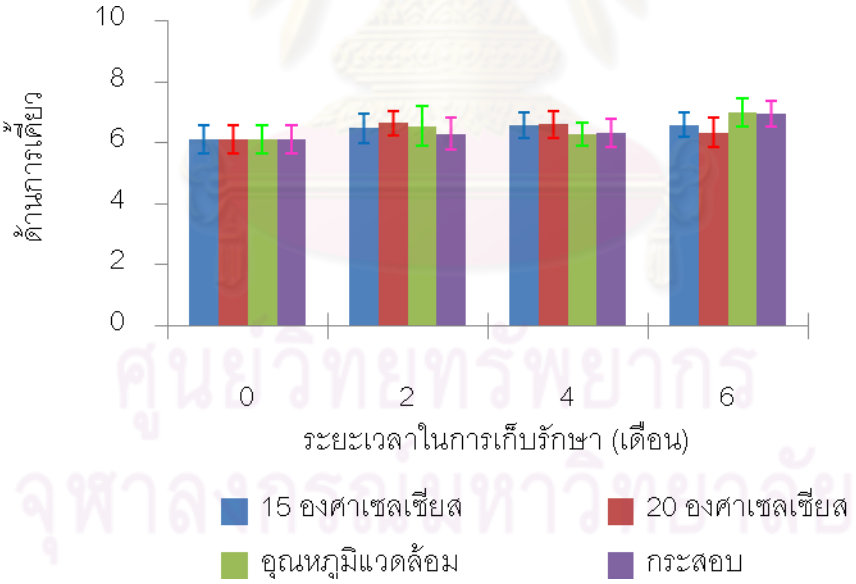
รูปที่ 4.27 ระดับความเข้มด้านความแข็งของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



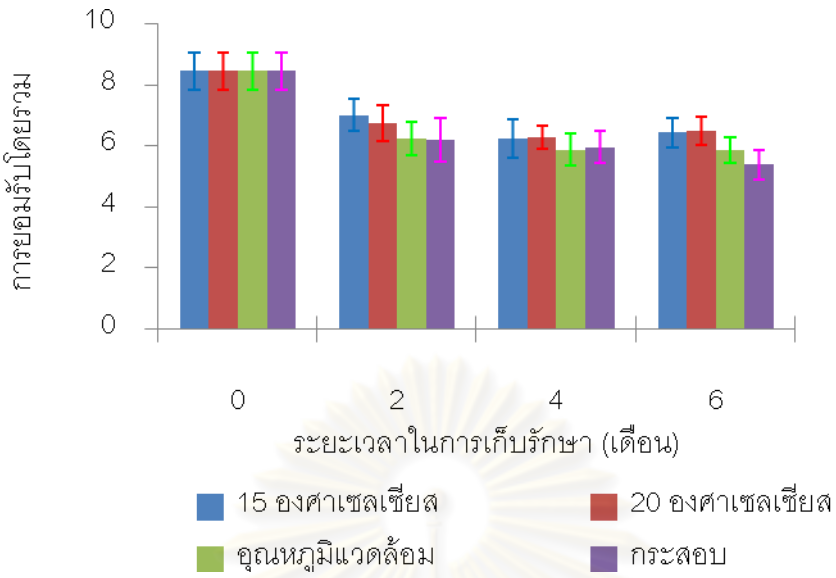
รูปที่ 4.28 ระดับความเข้มด้านความเหนียวติดฟันของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.29 ระดับความเข้มด้านความเกาะติดกันของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.30 ระดับความเข้มด้านการเคี้ยวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.31 การยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษาต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ค่าที่วิเคราะห์	ผลของปัจจัยหลัก[A,B]	ผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัย[A,B]
สี	a, b	a*b
กลิ่น	b	a*b
ความแข็ง	a, b	-
ความเหนียวติดฟัน	b	-
ความเกาะติดกัน	a, b	-
ด้านการเคี้ยว	b	a*b
การยอมรับโดยรวม	a, b	-

[A] a หมายถึง สภาวะในการเก็บรักษาข้าว และ b หมายถึง ระยะเวลาการเก็บรักษา

[B] มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการทดสอบเชิงพรรณนาด้านสีของข้าวเหนียวหุงสุก สำหรับข้าวเหนียวจะมีลักษณะเนื้อของเมล็ดข้าวสารเป็นสีขาวขุ่น เมื่อนำมานึ่งให้สุกเนื้อของเมล็ดข้าวจะมีลักษณะขาวใส ซึ่งต่าง

จากข้าวเจ้าที่มีลักษณะเนื้อของเมล็ดข้าวสารใส เมื่อหุงจนสุก ข้าวสุกจะมีสีขาวขุ่น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ มีผลต่อสีของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวเปลือกที่เก็บในกระสอบ ลักษณะข้าวเหนียวหุงสุกจะมีสีเหลืองมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิแวดล้อม 20 และ 15 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่าข้าวเหนียวหุงสุกมีสีเหลืองมากขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าวสาร ที่ความเหลืองของข้าวเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ ในหัวข้อ 4.2.2

ผลการทดสอบเชิงพรรณนาด้านกลิ่นของข้าวเหนียวหุงสุก เช่น กลิ่นหืน และกลิ่นอับ พบว่า เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบข้าวเหนียวหุงสุกมีกลิ่นผิดปกติมากกว่าเก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในช่วงเดือนที่ 0-2 ข้าวเหนียวหุงสุกมีกลิ่นผิดปกติไม่แตกต่างกันมาก แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 4

ผลการทดสอบเชิงพรรณนาด้านความแข็งของข้าวเหนียวหุงสุก ซึ่งประเมินจากแรงที่ใช้ในการกัดตัวอย่างพบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ มีผลต่อความแข็งของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาในกระสอบ มีความแข็งของข้าวเหนียวหุงสุกมากกว่าเก็บที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่ามีผลต่อความแข็งของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเหนียวหุงสุกมีความแข็งมากขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มวิธีการทดสอบแบบ Texture profile analysis (TPA) (รูปที่ 4.21)

ผลการทดสอบเชิงพรรณนาด้านความเหนียวติดฟัน ซึ่งประเมินจากแรงที่ใช้ในการแยกฟันออกจากกันในระหว่างการเคี้ยวพบว่า เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ ข้าวเหนียวหุงสุกมีความเหนียวติดฟันลดลงมากกว่าข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่ามีผลต่อความเหนียวติดฟันของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยข้าวเหนียวหุงสุกมีความเหนียวติดฟันลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มวิธีการทดสอบแบบ Texture profile analysis (TPA) (รูปที่ 4.22)

ผลการทดสอบเชิงพรรณนาด้านความเกาะติดกัน ซึ่งประเมินจากจากระดับการเกาะติดกันของตัวอย่างพบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ

มีผลต่อความเกาะติดกันของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส จะมีความเกาะติดกันของข้าวเหนียวหุงสุกมากที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่า มีผลต่อความเกาะติดกันของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยทุกสภาวะการเก็บรักษา ช่วงเดือนที่ 2-4 ความเกาะติดกันมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการเก็บรักษา แต่จะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในเดือนที่ 6

ผลการทดสอบเชิงพรรณนาด้านการเคี้ยว ซึ่งประเมินจากจำนวนการเคี้ยวตัวอย่างที่พร้อมสำหรับการกลืนพบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ ผู้ทดสอบใช้จำนวนการเคี้ยวข้าวเหนียวหุงสุกไม่แตกต่างกันมาก โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ มีจำนวนการเคี้ยวข้าวเหนียวหุงสุกที่สุด เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่า มีผลต่อจำนวนการเคี้ยวของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยจำนวนการเคี้ยวข้าวเหนียวหุงสุกจะมากขึ้นเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มวิธีการทดสอบแบบ Texture profile analysis (TPA) (รูปที่ 4.23)

ผลการยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวหุงสุก พบว่า การเก็บรักษาข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ มีผลต่อคะแนนการยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวหุงสุกของข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส มากกว่าที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่า มีผลต่อการยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวหุงสุกอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)โดยคะแนนการยอมรับโดยรวมของข้าวเหนียวหุงสุกมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่เก็บเกี่ยวใหม่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างๆดังนี้ ปริมาณโปรตีน 6.87 %(d.b.) ปริมาณไขมัน 0.61 %(d.b.) ปริมาณเถ้า 1.22 %(d.b.) และปริมาณแอมิโลส 5.11 %(d.b.) ซึ่งจัดอยู่ในประเภทของข้าวแอมิโลสต่ำมาก จากนั้นศึกษาผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ภายใต้การเก็บในถังที่มีการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม และการเป่าด้วยอากาศเย็นที่อุณหภูมิ 15 และ 20°C เปรียบเทียบกับการเก็บในกระสอบ เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงสุด รองลงมาคือ 20 และ 15 องศาเซลเซียส ในขณะที่เก็บในกระสอบมีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นลดลง ส่วนค่าสีของข้าวสาร พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบส่งผลให้ดัชนีความขาวลดลง และค่าความเหลืองของข้าว (b^*) เพิ่มขึ้น สำหรับความชื้นของข้าวเปลือก พบว่า การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ ความชื้นมีค่าลดลง ยกเว้นการเก็บในกระสอบ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส พบว่า การเก็บที่อุณหภูมิต่างๆ เก็บในกระสอบ และระยะเวลาในการเก็บ ไม่มีผลต่อปริมาณแอมิโลส ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าที่ 15 และ 20°C ส่วนการเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีน มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่า อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ความหนืดสูงสุด มีค่าสูงขึ้น และความหนืดที่ลดลง มีค่าลดลง โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดที่ลดลงน้อยที่สุด ส่วนค่าเซตแบค พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บที่ 15 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบมีค่าเซตแบคสูงขึ้น และเมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC พบว่า T_o T_p และ T_c มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยในทุกสภาวะการเก็บรักษา โดยข้าวเปลือกที่เก็บในกระสอบ มีค่า ΔH_{gel} เพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 15, 20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแวดล้อม สำหรับสมบัติด้านการหุงต้ม พบว่า ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น ค่าการดูดซับน้ำ และอัตราการยืดตัวของข้าวลดลง โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการหุงต้มน้อยที่สุด ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียว โดยวิธีทดสอบแบบ TPA พบว่า ความแข็ง ความเกาะติดกัน และพลังงานในการเคี้ยว มีค่า

เพิ่มขึ้น ความเหนียวติดกัน มีค่าลดลง โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อมและเก็บในกระสอบ ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และจากการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 หุงสุก พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิแวดล้อม และเก็บในกระสอบ ทำให้ข้าวเหนียวมีสีเหลือง และมีกลิ่นผิดปกติมากกว่าที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า ความแข็ง และพลังงานในการเคี้ยว มีค่าเพิ่มขึ้น ความเหนียวติดฟัน และความเกาะติดกันมีค่าลดลง โดยข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด การยอมรับโดยรวม พบว่า ข้าวเปลือกที่เก็บที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส มีการยอมรับโดยรวมมากที่สุก โดยระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ทำให้การยอมรับโดยรวมมีค่าลดลง

จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมีและเคมีกายภาพ คุณภาพด้านการหุงต้มและการรับประทานของข้าวที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำ (15 และ 20 องศาเซลเซียส) สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นได้ เช่น สี กลิ่น และเมื่อวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวโดยวิธีทดสอบแบบ TPA และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ให้ผลสอดคล้องกัน คือ ค่าความแข็ง และความเหนียวติดกันของข้าวเหนียวหุงสุกของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับข้าวเหนียวใหม่มากที่สุด

5.2 **ข้อเสนอแนะ**

จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางด้านต่างๆของข้าวเหนียว เกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดข้าว คือ สตาร์ช ไขมัน และโปรตีน โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ได้ระบุว่าการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในเมล็ดข้าว มีผลต่อความนุ่มเหนียวของข้าวสุก ซึ่งจากการทดลอง เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ในโปรตีน พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการเก็บรักษา แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังนั้น อาจมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในเมล็ดข้าว ที่มีผลต่อความนุ่มเหนียวของข้าวเหนียว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. รายงานผลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในจังหวัดมหาสารคาม ของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2551.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 303 หน้า.

งามชื่น คงเสรี. 2545. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร. 115 หน้า.

จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร และทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย. 2548. รายงานวิจัย ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันและแอมิโลสและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.กรุงเทพมหานคร. 44 หน้า.

ธัญญารัตน์ เตชทรัพย์อมร. 2549. ผลของการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน และอุณหภูมิในการเก็บต่อปริมาณสารหอม 2-อะเซทิล-1-พีโรลีน และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa* L. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นราพร ดาลัย และสุนันทา ทองทา. 2551. การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของข้าวเหนียวและข้าวเจ้าระหว่างการเก็บรักษา. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34. วันที่ 31 ตุลาคม – 2 พฤศจิกายน 2552. ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์. กรุงเทพมหานคร.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร. 487 หน้า.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. 2547. สเปกโทรสโกปีด้านการวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 548 หน้า.

บัณฑิต ลีฬหรัตนรักษ์. 2548. ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและสารหอม 2-แอซีติล-1-ไพรโรลีน และการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเพสติงของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญหงส์ จงคิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 184 หน้า.

ปรานอม ขาวเมฆ. 2549. คู่มือหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้ Fourier transform infrared spectrometer. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 194 หน้า.

พิณทิพย์ รัมภกาภรณ์. 2547. การดัดแปรแป้งข้าวโดยการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพลงพิณ ศิวาพรรักษ์. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมิโลส คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พัชรา วีระพงศ์. 2547. ผลของปริมาณแอมิโลสและสภาวะการเก็บของข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อสมบัติทางด้านเคมีฟิสิกส์ของเอกซ์ทรูเดต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัสกร เจียตระกูล, เมธินี เห่วซึ่งเจริญ และศุภศักดิ์ ลิมปิติ. 2546. ผลของอุณหภูมิและความชื้นต่อคุณภาพการสีข้าวขาวดอกมะลิ 105. เครือข่ายข้อมูลวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. 8 หน้า.

เมธินี เห่วซึ่งเจริญ, นริศรา วิชิต และหยาดฝน ทะนงการกิจ. 2548. สมบัติทางกายภาพเคมีและคุณภาพหุงต้มของข้าวระหว่างการเก็บรักษา. โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 18 หน้า.

เมธินี เห่วซึ่งเจริญ, ศุภศักดิ์ ลิมปิติ, ทวีชัย นิมาแสง และพัสกร เจียตระกูล. 2546. การรักษาข้าวขาวดอกมะลิให้คงความหอมด้วยวิธี gran chilling. เครือข่ายข้อมูลวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว. 12 หน้า.

รวิศรา อิ่มภาประเสริฐ. 2549. ผลของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชันร่วมกับการเทมเปอริงและอุณหภูมิในการเก็บต่อปริมาณ 2 AP และคุณภาพการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 *Oryza sativa L*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, นาโอยาชิ อิโนอูชิ, กล้าณรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลานุวัฒน์, รุ่งทิวา วันสุขศรี และบุญทิวา นิลจันทร์. 2546. การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. สิ่งพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ละมุล วิเศษ. 2541. ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วราภรณ์ คำบุญเรือง. 2535. ความรู้เรื่องข้าวและการทำนา. เทคโนโลยีการปลูกข้าวที่อาศัยน้ำฝน. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร. 160 หน้า.

ศันสนีย์ อุดมระติ. 2548. การเกิดเจลาทิไนเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพัตรา งามอุรุเลิศ. 2545. ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภาวดี ขาวสังข์. 2542. การเปลี่ยนแปลงของไขมันในข้าวหอมมะลิเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ lipase ในระหว่างการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 366 หน้า.

เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. 2544. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.กรุงเทพมหานคร. 137 หน้า.

ภาษาอังกฤษ

AACC. 1995. Approved Method of the American Association of Cereal Chemists. 9th ed. St. Paul, MN: AACC.

AOAC. 2006. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. AOAC., Washington DC.

Beta, T. and H. Corke, H. 2001. Noodle quality as relate to sorghum starch properties. Cereal Chemistry.78 (4) : 417-420.

Borompichaichartkul, C., Wiset, L., Tulayatun, V., Tuntratean, S., Thetsupamorn, T., Impaprasert, R. and Waedalor, I. 2007. Comparative study of effects of drying methods and storage conditions on aroma and quality attributes of Thai jasmine rice. Drying Technology An International Journal. 25 : 1185-1192.

Butt, M.S., Anjum, F.M., Rehman, S., Nadeem, M.T., Sharif, M.K. and Anwer, M. 2008. Selected quality attrtbutes of fine basmati rice: effect of storage history and varieties. International Journal of Food Properties. 11 : 698-711.

Chang, Y. H. and Lin, J. H. 2006. Effect of molecular size and structure of amylopectin on the retrogradation thermal properties of waxy rice and waxy cornstarch. Food Hydrocolloids. 21 : 645–653.

Chen, J.J., Lu, S. and Lii, C.Y. 1999. Effect of milling methods on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. Cereal Chemistry. 76(5): 796-798.

Chrastil, J. 1990a. Chemical and physicochemical change of rice during storage at Different Temperature. Journal of Cereal Science. 11 : 71–85.

Chrastil, J. 1990b. Protein-starch interaction in rice grains. Influence of storage on oryzanin and starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 38 : 1804-1809.

Chrastil, J. and Zarins, Z. 1992. Influence of storage on peptide subunit composition of rice oryzenin. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 40 : 927-930.

Copeland, L. Blazek, J. Salman, H. and Tang, M.C. 2009. Form and functionality of starch. Food Hydrocolloids. 23 : 1527-1534.

Dhaliwal, Y.S., Sekhon, K.S. and Nagi, H.P.S. 1991. Enzymatic activities and rheological properties of stored rice. Cereal Chemistry. 68 : 18-21.

Eliasson, A. C. and Krong, N. 1985. Physical properties of amylose-monoglyceride complexes. Journal of Cereal Science. 3 : 239–248.

Fan, J. and Marks, B.P. 1999. Effects of rough rice storage conditions on gelatinization and retrogradation properties of rice flours. Cereal Chemistry. 75 : 894-897.

Fitzgerald, M.A. and Martin, M. 2002. Proteins in rice grains influence cooking properties. Journal of Cereal Science. 36 : 285-294.

Ghiasi, K., Hoseney, R. C and Maston, E.V. 1982. Gelatinization of wheat starch.III. differential scanning calorimetry and light microscope. Cereal Chemistry. 59 : 258-262.

Gujral, H.S. and Kumar, V. 2003. Effect of accelerated aging on the physicochemical and textural properties of brown and milled rice. Journal of Food Engineering. 59 : 117–121.

Hamaker, B.R. and Griffin, V. K. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. Cereal Chemistry. 70 (4) : 377-380.

Han, X.Z. and Hamaker, B.R. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. Journal of Cereal Science. 34 : 279–284.

Hoseney, R.C. 1986. Principles of cereal science and technology. The American Association of Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.

Indudhara Swamy, Y.M., Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.R. 1978. Change in the physicochemical properties of rice with aging. Journal of the Science of Food and Agriculture. 29 : 627-639.

Iturriaya, L., Lopez, B. and Anon, M. 2004. Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. Food Research International. 37 : 439-447.

Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., Mcpherson, A.E., Wong, K.S., Radosavljevic, M. and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chemistry. 76 : 629-637.

Jaisut, D., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W., Tungtrakul, P., and Soponronnarit, S. 2008. Effects of drying temperature and tempering time on starch digestibility of brown fragrant rice. Journal of Food Engineering. 86 : 251-258.

Jenkins, P.J. and Donald, A.M. 1995. The influence of amylase on the starch granule structure. International Journal of Biological Macromolecules. 17 : 315-321.

Juliano, B.O. 1964. The protein of rice grain. *In* Transaction of the Second Far East Symposium on Nutrition. The Republic of China and United States of America Interdepartmental Committee on Nutrition for National Development National Institute of Health. Bethesda. Maryland.

Juliano, B.O. 1972. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16 (10) : 334-340.

Juliano, B.O. 1985. Rice : Chemistry and Technology. 2d ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

Juliano, B.O., Perez, C.M. and Kaosa-ard, M. 1992. Grain quality characteristic of export rices in selected markets. International Rice Research Institute. Manila, Philippines.

Karim, A. A., Norziah, M. and Seow, C. C. 2000. Review methods for the study of starch retrogradation. Food Chemistry. 71 : 9-36.

Kim, S.K. and D' Appolonia, B.L. 1977. Effect of pentosans on the retrogradation of wheat starch gels. Cereal Chemistry. 54 : 150-156.

Lam, H.S., Proctor, A. and Meullenet, J. 2001. Free fatty acid formation and lipid oxidation on milled rice. Journal of the American Oil Chemists' Society. 78 : 1271-1275.

Lam, H.S. and Proctor, A. 2003. Lipid hydrolysis and oxidation on the surface of milled rice. Journal of the American Oil Chemists' Society. 80 : 563-567.

Li, Y., Shoemaker, C.F., Ma, J., Moon, K. and Zhong, F. 2008. Structure-viscosity relationships for starches from different rice varieties during heating. Food Chemistry. 106 : 1105–1112.

Lu, S., Chen, L. and Lii, C. 1997. Correlations between the fine structure, physicochemical properties, and retrogradation of amylopectins from Taiwan rice varieties. Cereal Chemistry. 74 : 34-39.

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

Morrison, W.R. and Azudin, M.N. 1987. Variation in the amylose and lipid contents and some physical properties of rice starches. Journal of Cereal Science. 5 : 35-44.

Newport Scientific. 1995. Operation manual for the series 4 Rapid Analyser. Newport Scientific Pty, Ltd., Australia.

Noomhorm, A, Kongseree, N. and Apintanapong, M. 1997. Effect of aging on the quality of glutinous rice crackers. Cereal Chemistry. 74 : 12-15.

Noosuk, P., Hill, S.E., Pradipasena, P. and Mitchell, J.R. 2003. Structure-viscosity relationships for thai rice starches. Starch/Starke. 55 : 337-344.

Ong, M.H. and Blanshard, J.M.W. 1995. Texture determinants in cooked parboiled rice I : Rice starch amylase and the fine structure of amylopectin. Journal of Cereal Science. 21 : 251-260.

Pearce, M.D., Marks, B.P. and Meullenet, J.F. 2001. Effects of postharvest parameters on the functional changes during rough rice storage. Cereal Chemistry. 78 : 354-357.

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

Perdon, A.A., Marks, B.P., Siebenmorgen, T.J. and Reid, N.B. 1997. Effects of rough rice storage conditions on the amylograph and cooking properties of medium-grain rice cv. Bengal. Cereal Chemistry. 74 : 864-867.

Phillips, S., Widjaja, S., Wallibridge, A. and Cooke, R. 1988. Rice yellowing during postharvest drying by aeration and during storage. Journal of Stored Products Research. 24 : 173-181.

Phillips, O.G. and Williams, P.A. 2000. Handbook of Hydrocolloids. Woodhead Publishing, New York.

Ranalli, R.P., Howell, T.A. and Siebenmorgen, T.J. 2003. Effects of controlled ambient aeration on rice quality during on-farm storage. Cereal Chemistry. 80 : 9-12.

Sajwan, K.S. and Kaplan, D.I. 1992. Milling quality of rice as influenced by time of harvesting and storage conditions. Tropical Agriculture. 69 : 296-300.

Shelton, D.R. and Lee, W.J. 2000. Cereal carbohydrates. *In* K. Kulp, ed. Handbook of Cereal Science and Technology. 2nd ed. New York : Marcel Dekker.

Shi, Y.C. and Seib, P.A. 1992. The structure of four waxy starches related to gelatinization and retrogradation. Carbohydrate Research. 227 : 131-145.

Singh, N., Kaur, L., Sodhi, N.S. and Sekhon, K.S. 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. Food Chemistry. 89 : 253–259.

Soponronnarit, S., Chiawwet, M., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. and Taechapairoj, P. 2008. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice. Journal of Food Engineering. 85 : 268-276.

Sowbhagya, C. M. and Bhattacharya, K. R. 2001. Changes in pasting behaviour of rice during ageing. Journal of Cereal Science. 34 : 115–124.

Teo, C.H., Karim, A.A., Cheah, P.B., Norziah, M.H. and Seow, C.C. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. Food Chemistry. 69 : 229–236.

Tester, R. F. 1997. Starch : the polysaccharide fractions. Starch Structure and Functionality. The Royal Society of Chemistry, U.K.

Tester, R. F. Karkalas, J. and Qi, X. 2004. Starch-composition, fine structure and architecture. Journal of Cereal Science. 39 : 151-165.

Tsugita. T., Ohta. T. and Kato. H. 1983. Cooking flavor and texture of rice stored under different condition. Agricultural Biology and Chemistry. 47(3) : 543-549.

Unnevehr, L.J., Duff, B. and Juliano, B.O. 1992. Consumer demand for rice grain quality :introduction and major findings. International rice research institute. P.O. Box 933, Manila, Philippines.

Vandeputte, G.E., Vermeylen, R., Geeroms J. and Delcour, J.A. 2003. Rice starches. III. Structure aspects provide in sight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. Journal of Cereal Science. 38: 61-68.

Wang, Y.J. and Wang, L. 2002. Structures of four waxy rice starches in relation to thermal, pasting and texture properties. Cereal Chemistry. 79 (2) : 252-256.

Whistler, R.L. and Daniel, J. R. 1984. Molecular structure of starch. *In* R.L., Whistlers, J.N., Bemiller, and E.F., Phaschall, (eds.). Starch: Chemistry and Technology. 2nd ed. Florida. Academic Press, Inc. pp. 153-178.

Wimberly, J.E. 1983. Technical handbook for the paddy rice postharvest industry in developing countries. International rice research institute. Manila, Philippines.

Xie, L., Chen, N., Duan, B., Zhu, Z. and Liao, X. 2008. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. Journal of Cereal Science. 47 : 372-379.

Yang, Y. and Tao, W. 2008. Effects of lactic acid fermentation on FT-IR and pasting properties of rice flour. Food Research International. 41 : 937-940.

Zhao, S., Xiong, S., Qiu, C. and Xu, Y. 2007. Effect of microwaves on rice quality. Journal of Stored Products Research. 43 : 496-502.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2002. Ageing of stored rice : changes in chemical and physical attributes. Journal of Cereal Science. 35 : 65-78.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2003. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. Food Research International. 36 : 625-634.

Zhou, Z. Robards, K. Helliwell, S. and Blanchard, C. 2007. Effect of storage temperature on cooking behavior of rice. Food Chemistry. 105 : 491-497.

Zobel, H. F. 1984. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pasted. *In* R. L. Whistler, J. N. Bemiller, and P. Eugene (eds), Starch: Chemistry and Technology. Florida: Academic Press. pp 285-305.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2006)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

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

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟุริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1นอร์มัลที่ standardized ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมพามาเลท 0.1นอร์มัล
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
5. สารเร่งปฏิกิริยา (selenium reagent mixture)
6. อินดิเคเตอร์ (เตรียมโดยละลายเมธิลเรดปริมาณ 0.125 กรัม และเมธิลลีนบลู 0.0825 กรัม ในเอธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 90 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ลงในหลอดย่อยโปรตีน เติมสารเร่งปฏิกิริยา ประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟุริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
2. ย่อยตัวอย่างไปใน digestion unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส หรือย่อยเป็นเวลาประมาณ 45 นาที และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ต่อขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด เข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
4. ต่อหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	70	มิลลิลิตร
Boric acid	45	มิลลิลิตร

H_2O	50	มิลลิลิตร
Time	4	นาที

5. รองรับสารที่กลั่นตามระยะเวลาที่กำหนด

6. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้

7. ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้ในขวดรูปชมพู่ด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกมาตรฐานเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติซึ่งจะเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสารละลายสีชมพู

8. ทำ blank โดยใส่น้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และเติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยโปรตีน จากนั้นวิเคราะห์ blank ดังวิธีการทดลองข้อ 2

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4 \times \text{Factor}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

เมื่อ

V_a คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรต (Normal)

Factor มีค่าเท่ากับ 5.95 ใช้สำหรับตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2006)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

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

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้วให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วย crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

2. เผาตัวอย่างโดยใช้เตาไฟฟ้าในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน

3. เผาตัวอย่างต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าเป็นสีขาว

4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2006)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. Soxhlet (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)
2. เครื่อง evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Tokyo Aikakikai, Japan)

วิธีวิเคราะห์

1. อบขวดก้นกลมที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 ประมาณ 3 กรัม ใส่ใน thimble
3. ใส่ปิโตรเลียมอีเธอร์ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมที่ผ่านการอบ และชั่งน้ำหนักแล้ว
4. ประกอบขวดก้นกลมเข้ากับชุดสกัดไขมัน สกัดไขมันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ระเหยปิโตรเลียมอีเธอร์แล้วนำขวดก้นกลมไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. ทำให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณไขมันดังสมการ

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักขวดก้นกลมหลังการสกัดไขมัน} - \text{น้ำหนักขวดก้นกลมก่อนการสกัดไขมัน}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสปรากฏ (apparent amylose content) (Juliano, 1972)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectronic 20)
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารเคมี

1. เอทธิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 95 %

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่ง NaOH หนัก 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

3. สารละลายกรดแอซีติกล้วน ความเข้มข้น 1 นอร์มัล เตรียมโดยตวงกรด แอซีติกล้วน (glacial acetic acid) ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร

4. แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (pure potato amylose) (Sigma, USA)

5. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยชั่งไอโอดีน (I_2) 0.2 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.0 กรัม ผสมสารทั้งสองให้เข้ากันแล้วละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 0.1000 กรัม ใส่ในขวด (flask) ขนาด 50 มิลลิลิตรที่แห้งสนิท

2. เติมเอทธิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก ระวังอย่าให้แป้งขึ้นมาเกาะตามผนังขวด

3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล ปริมาตร 9 มิลลิลิตร พร้อมทั้งล้างแป้งที่เกาะอยู่ตามผนังขวด

4. ต้มสารละลายแป้งที่อยู่ในขวด โดยให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

5. ถ่ายแป้งลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำล้าง 2-3 ครั้งเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน

6. ปิเปตน้ำแป้งปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

7. เติมสารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

8. เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

9. ทำ blank โดยนำขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรมาเติมสารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

10. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าการดูดกลืนแสงของ blank เป็น 0

11. นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าปริมาณแอมิโลสโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

การสร้างกราฟมาตรฐาน (standard curve)

1. ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่งจำนวน 0.0400 กรัม ใส่ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และดำเนินการตามวิธีการทดลองข้อ 2-4 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ใช้เป็นสารละลายมาตรฐาน

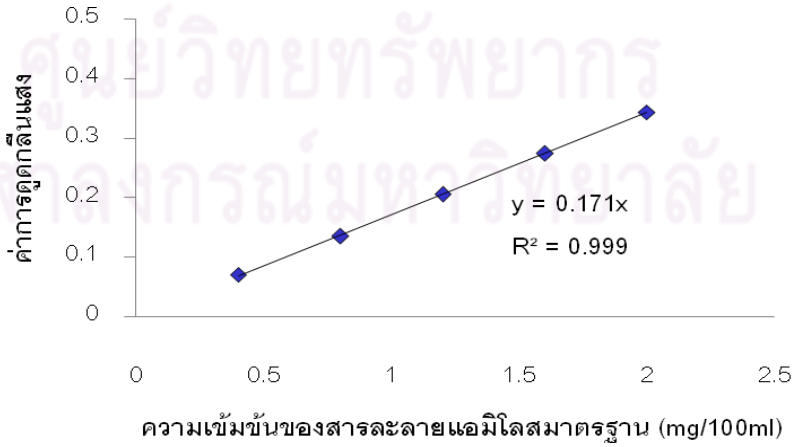
2. ปิเปตแบ่งสารละลายมาตรฐาน 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดกำหนดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดแอซีติก ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วที่มีสารละลายมาตรฐานตามลำดับ เติมสารละลายไอโอดีน 2.0 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยการเติมน้ำกลั่น เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

3. วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

4. เขียนกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายแอมิโลสมาตรฐาน (แกน X) และค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณแอมิโลส (\%)} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่อ่านได้จากสารละลายแอมิโลสมาตรฐาน} \times 10 \text{ (mg / 100 ml)}}{5 \times \text{น้ำหนักแป้งแห้ง}}$$



รูปที่ ก.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแอมิโลสมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.5 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

ชั่งน้ำหนักข้าวขาวที่ได้จากการขัดสีแล้ว ซึ่งเป็นเมล็ดข้าวที่มีความยาวไม่ต่ำกว่า 80% ของข้าวเต็มเมล็ด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องคัดแยก (Aspirator)
2. เครื่องกะเทาะเปลือกชนิดลูกกลิ้งยาง (Satake รุ่น THU-35, Japan)
3. เครื่องขัดขาวชนิดหินขัด (Satake รุ่น TM05, Japan)
4. เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว (Satake รุ่น TRG-05A, Japan)
5. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น CP320S, Germany) ชั่งน้ำหนักสูงสุด 3200 กรัม

รูปที่ ก.2 เครื่องกะเทาะเปลือกชนิดลูกกลิ้งยาง

รูปที่ ก.3 เครื่องขัดขาวชนิดหินขัด

รูปที่ ก.4 เครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว

วิธีวิเคราะห์

1. ทำความสะอาดข้าวเปลือก โดยผ่านเครื่องคัดแยก เพื่อดูดเอาเมล็ดลีบ ระแง้ (แขนงหรือกิ่งที่เชื่อมเมล็ดข้าวกับรวงข้าว) และสิ่งเจือปนต่างๆ ออกจากเมล็ดข้าวเปลือก ส่วนหิน กรวด ทราย หรือเหล็ก คัดแยกออกด้วยมือ

2. ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ตัวอย่างละ 250 กรัม บันทึกค่าไว้

3. กะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกจนเปลือกหลุดออกหมด

4. ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องที่ได้จากการกะเทาะเปลือกออกแล้วบันทึกค่าไว้

5. ขัดขาวข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาวชนิดหินขัด เป็นเวลา 40 วินาที ทิ้งข้าวสารไว้ให้เย็น

6. ชั่งน้ำหนักข้าวสารที่ได้จากการขัดขาว แล้วบันทึกค่าไว้

7. แยกส่วนที่เป็นข้าวต้น และข้าวหักออกจากกันด้วยเครื่องคัดขนาดเมล็ดข้าว

8. ชั่งน้ำหนักข้าวต้นที่ได้ แล้วบันทึกค่าไว้

9. คำนวณเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวต้น}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \times 100$$

ก.6 การวัดค่าสีของข้าวสาร

อุปกรณ์และเครื่องมือ

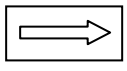
1. เครื่อง Chroma meter (Minolta Chroma Meter รุ่น CR300, Japan)

วิธีวิเคราะห์

1. กดปุ่ม ON พร้อมกับกดปุ่ม ALL DATA โดยกดค้างไว้จนหน้าจอเครื่องมีข้อความขึ้นมา

2. กดปุ่ม ENTER

3. กดปุ่ม INDEX SET แล้วเลือกแหล่งแสงโดยกดปุ่ม ไปเรื่อยๆจนเจอข้อความ D65 บนหน้าจอ

4. กดเลือก D65 โดยใช้ปุ่ม  แล้วกดปุ่ม ENTER

5. กดปุ่ม CALIBRATE แล้วใส่ค่า Y, x, y (Y = 93.2, x = 0.3157, y = 0.3321)

6. วางหัววัดลงบนแผ่นสีมาตรฐาน (สีขาว) แล้วกดปุ่มที่หัววัด 1 ครั้ง เครื่องจะวัด 3 ซ้ำ

7. กดปุ่ม COLOR SPACE

8. เกลี่ยเมล็ดข้าวสารประมาณ 10 กรัม ลงบนกระดาษขาว

9. วางหัววัดลงบนเมล็ดข้าวสาร ให้แนบสนิทไปกับเมล็ดข้าวสาร แล้วกดปุ่มที่หัววัด 1 ครั้ง

10. เครื่องจะแสดงค่า *L** *a** และ *b** ที่วัดได้ เมื่อ

ค่า *L** คือ ค่าแสดงความเข้มสว่างของสี ซึ่งค่า *L** มีค่ามากแสดงว่าสีสว่างมาก โดยที่ระดับค่า *L** ที่เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ และระดับค่า *L** ที่เท่ากับ 100 จะเป็นสีขาว

ค่า *a** คือ ค่าแสดงระดับสีแดง เขียว เมื่อ *a** มีค่าเป็นบวกแสดงลักษณะสีแดง ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงลักษณะสีเขียว เมื่อห่างจากจุด 0 มากแสดงค่าถึงค่าสีแดงและสีเขียวที่มากขึ้น

ค่า *b** คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง น้ำเงิน เมื่อ *b** มีค่าเป็นบวกแสดงลักษณะสีเหลือง ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงลักษณะสีน้ำเงิน เมื่อห่างจากจุด 0 มากแสดงค่าถึงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงินที่มากขึ้น

11. เมื่อวัดตัวอย่างเสร็จในแต่ละตัวอย่าง สามารถหาค่าเฉลี่ย ค่ามากสุด น้อยสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ โดยกดปุ่ม STATISTIC แล้วกดปุ่ม ENTER เครื่องจะพิมพ์ผลทางสถิติออกมาให้

12. ก่อนวัดตัวอย่างต่อไป กดปุ่ม ALL DATA CLEAR และปุ่ม ENTER เพื่อลบข้อมูลเก่า

ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก

ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC (2006) โดยใช้อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ใช้เมล็ดข้าวเปลือกประมาณ 30 กรัม อบแห้งนาน 72 ชั่วโมง

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น 600, Germany)
2. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งของ Sartorius รุ่น CP3202s, Germany ชั่งน้ำหนักสูงสุด 3200 กรัม
3. ถ้วยอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร
4. desiccator

วิธีวิเคราะห์

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมเปล่าที่แน่นอนเก็บไว้

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือก ประมาณ 30 กรัม ลงในถ้วยอะลูมิเนียม

3. บันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอนเก็บไว้

4. อบถ้วยอะลูมิเนียมที่มีเมล็ดข้าวเปลือกในตู้อบลมร้อน และตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 103±2 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาของถ้วยอะลูมิเนียมไว้

5. เมื่อครบ 72 ชั่วโมง นำถ้วยอะลูมิเนียมที่มีเมล็ดข้าวเปลือกออกจากตู้อบพร้อมปิดฝาถ้วยอะลูมิเนียม ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

6. ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า และคำนวณหาปริมาณความชื้นตามสูตรดังนี้

$$\text{ความชื้น (\% w.b.)} = \frac{\text{(น้ำหนักตัวอย่างข้าวก่อนอบ – น้ำหนักตัวอย่างข้าวหลังอบ)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างข้าวก่อนอบ}} \times 100$$

ก.8 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Zhao *et al*., 2007)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer)

สารเคมี

1. เอทธิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) 95 %
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล
3. อินดิเคเตอร์ (เตรียมโดยละลาย phenolphthalein 1 กรัม ในเอธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้งข้าว 10 กรัม ใส่ในขวด (flask) ขนาด 125 มิลลิลิตรที่แห้งสนิท

2. เติมเอทธิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร ปิดจุดให้สนิท เขย่านาน 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้นอนก้นประมาณ 3 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง ขณะกรองให้ปิดด้วยกระจกนาฬิกาบนกรวยแก้วเพื่อป้องกันตัวทำละลายระเหย

3. ปิเปตสารที่กรองได้ 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวด (flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ จากนั้นไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนถึงจุดยุติซึ่งจะเปลี่ยนจากสารละลายขาวใสกลายเป็นสีชมพู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ทำ blank โดยใช้เอทธิลแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร จากนั้นวิเคราะห์ blank ดังวิธีการทดลองข้อ 3

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ (as \% palmitic acid)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 256.42 \times 100}{W \times 1000}$$

เมื่อ

V_a คือ ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b คือ ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตรเตรต (Normal)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

256.42 คือ มวลโมเลกุลของ palmitic acid (กรัม/โมล)

ก. 9 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน วิเคราะห์ด้วย Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) (Li *et al*., 2008)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (Perkin-Elmer รุ่น Spectrum One, USA)

2. เครื่องอัด (Hydraulic press)

3. สากและโกร่งอะเกต (agate mortar)

รูปที่ ก.5 สากและโกร่งอะเกต (agate mortar)

สารเคมี

โปแตสเซียมโบรไมด์ (KBr)

วิธีวิเคราะห์

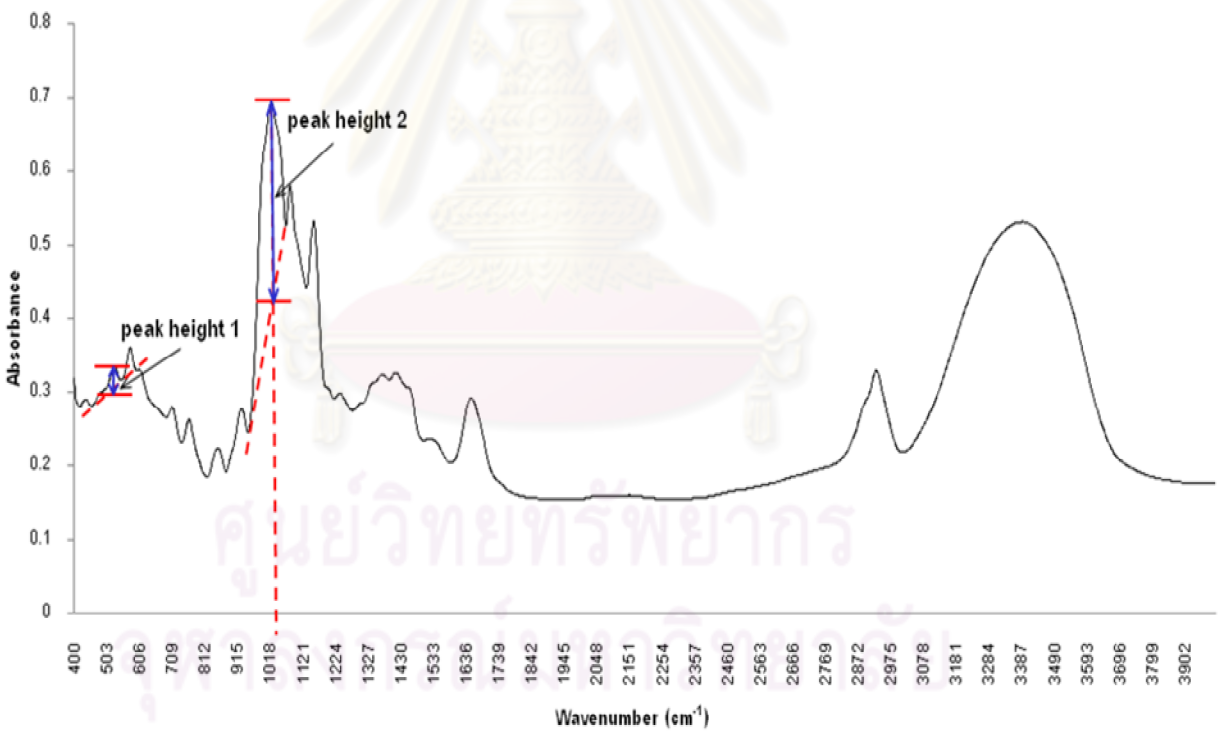
1. ชั่งแป้งข้าว 1-2 มิลลิกรัม ใส่ในโกร่งอะเกต แล้วบดให้ละเอียด

2. เติมโปแตสเซียมโบร์ไมด์ 100 – 150 mg ในอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวกับโปแตสเซียมโบร์ไมด์ 1:100 บดแป้งข้าวกับโปแตสเซียมโบร์ไมด์ ให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด

3. อัดส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องอัด ที่แรงอัด 10 ตัน ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที จะได้ตัวอย่างที่มีลักษณะแผ่นกลมบางใส (pellet)

4. เมื่อได้ตัวอย่างที่อัดเป็นแผ่นแล้ว วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง FT-IR โดยตั้งค่ารายละเอียดดังนี้ Resolution เท่ากับ 4.0 cm^{-1} และจำนวน scan 16 ครั้ง

5. เมื่อได้ spectrum ออกมา คำนวณหา ratio of absorbance height ของหมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลง เทียบกับหมู่ฟังก์ชันที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยการลากเส้น base line และลากเส้นตรงตั้งฉากกับแนวแกน X วัดความสูงของ peak ในช่วงการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดที่ต้องการจะทราบค่า



รูปที่ ก.6 spectrum ของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR

การคำนวณ

$$\text{Ratio of absorbance height} = \frac{\text{peak height 1}}{\text{peak height 2}}$$

เมื่อ

peak height 1 คือ ช่วงการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลง

peak height 2 คือ ช่วงการดูดกลืนคลื่นอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ก.10 สมบัติทางความหนืด วิเคราะห์ด้วย Rapid Visco Analyser (RVA) (AACC, 1995)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

เครื่อง Rapid Visco Analyzer (Super 3, Newport Scientific Instruments and Engineering, Australia)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งแป้งข้าวปริมาณ 3±0.01 กรัมใส่ลงในอุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก และตวงน้ำปริมาตร 25.0±0.1 มิลลิลิตร ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมทรงกระบอก

2. ใส่แป้งลงในถ้วยอะลูมิเนียมทรงกระบอก ใช้ใบพายเขย่าตัวอย่างในถ้วยอะลูมิเนียมทรงกระบอกขึ้นลง 10 ครั้ง แต่ถ้าแป้งยังคงอยู่บนผิวหน้าหรือติดบนใบพาย ให้เขย่าตัวอย่างซ้ำอีกครั้ง

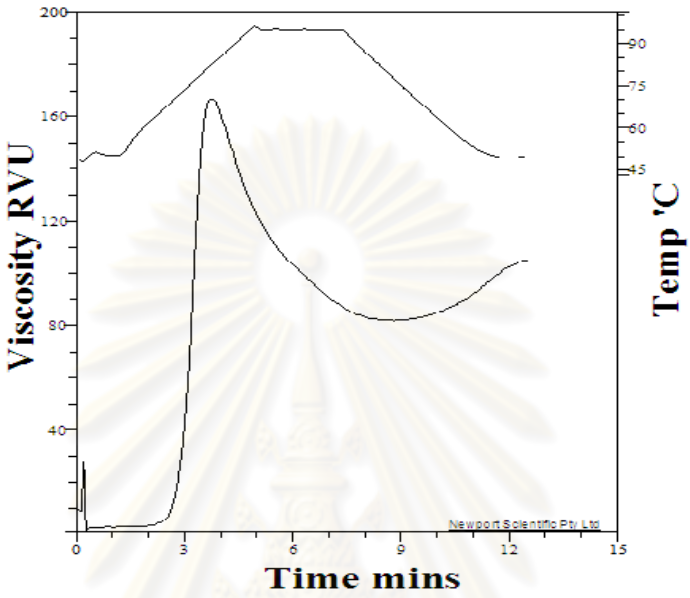
3. ใส่ใบพายในถ้วยทรงกระบอกและสวมใบพายเข้ากับที่ยึดโดยให้ใบพายอยู่กึ่งกลางถ้วย แล้วเริ่มต้นการวิเคราะห์โดยกดมอเตอร์ของเครื่องมือลง และมีสิ่งที่ต้องระวังคืออย่าผสมแป้งกับน้ำนานกว่า 1 นาทีก่อนการวิเคราะห์ ซึ่งภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับแป้งข้าว มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของแป้งข้าว

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (นาที:วินาที)
50.0 (อุณหภูมิเริ่มต้น)	
50.0	1:00
95.0	4:45
95.0	7:15
50.0	11:06
สิ้นสุดการทดสอบ	12:30

สำหรับความเร็วรอบเริ่มต้นที่ใช้คือ 960 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 วินาที แล้วจึงใช้ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาทีคงที่ตลอดการทดสอบ

4. บันทึกอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) เป็นความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและต่ำสุด และค่าเซตแบค (setback) เป็นความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ ก.7 RVA curve ของตัวอย่างแป้งข้าวเหนียว กข 6

ก. 11 สมบัติทางความร้อน วิเคราะห์ด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Chang and Lin, 2006)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin-Elmer รุ่น Dimond-DSC, USA) ที่เชื่อมต่อกับ Pyris ™ operation software และ purge ด้วยแก๊สไนโตรเจน

2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Ohaus รุ่น Explorer, Switzerland)

3. Aluminum volatile sample pan (Perkin-Elmer, kit number 0219-0062, USA)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้งผสมน้ำกลั่น อัตราส่วนแป้ง : น้ำ เท่ากับ 1:3 ใส่ลงใน DSC volatile sample pan น้ำหนักแป้งและน้ำรวม 15 มิลลิกรัม

2. ปิดผนึก pan ด้วยเครื่องปิดผนึกให้สนิท แล้วเก็บ pan ที่ปิดผนึกแล้ว ไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน เพื่อให้ความชื้นภายใน pan เข้าสู่ภาวะสมดุล

3. ใส่ pan ในช่อง sample และใส่ pan เปล่าที่ปิดผนึกสนิทใส่ในช่อง reference ของเครื่อง DSC จากนั้นวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง DSC โดยกำหนดภาวะในการวิเคราะห์ ดังนี้

- คงไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที
- เพิ่มอุณหภูมิจาก 25 เป็น 85 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส/นาที
- คงไว้ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

4. คำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาทิไนซ์ โดยใช้ระบบ Autocalculation ของ Pyris ^{TM} operation software และบันทึกค่าต่างๆ ได้แก่

- อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาทิไนซ์ (onset temperature, T_o หน่วย องศาเซลเซียส)
- อุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนซ์สูงสุด (peak temperature, T_p หน่วย องศาเซลเซียส)
- อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทิไนซ์ (conclusion temperature, T_c หน่วย องศาเซลเซียส)
- ค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาทิไนซ์ (enthalpy, ΔH_{gel} หน่วย J/g dry flour)

ก.12 ระยะเวลาในการหุงต้ม (ดัดแปลงจากวิธีของ Singh *et al*., 2005)

ดัดแปลงจากวิธีของ Singh และคณะ (2005) โดยเปลี่ยนจากการให้ความร้อนโดยการต้มเป็นการนึ่งข้าว โดยการใช้ความร้อนของไอน้ำทำให้ข้าวสุก

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หม้อนึ่งอะลูมิเนียม
2. กระจกนาฬิกา
3. เตาไฟฟ้า (hot plate)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักข้าวสารประมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 12 ชั่วโมง
2. เทลงบนตระแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำ ห่อข้าวเหนียวด้วยผ้าขาวบาง ใส่ลงในหม้อนึ่งอะลูมิเนียมที่ต้มน้ำจนเดือด นาน 4 นาที
3. เมื่อครบกำหนดเวลา เทเมล็ดข้าวลงบนกระจกนาฬิกา เกลี่ยเมล็ดข้าวให้กระจาย นำกระจกอีกแผ่นมาวางทับเมล็ดข้าวและกดให้แบนเพื่อตรวจดูภายในของเมล็ดข้าว ถ้าปรากฏว่า

ข้าวเมล็ดใดยังเป็นไต โดยมีลักษณะเป็นจุดขุ่นขาวของแป้งดิบปรากฏภายในเมล็ด ให้ถือว่าเป็นข้าวที่ยังไม่สุกสมบูรณ์

4. ทำเหมือนข้อ 1-3 โดยปรับระยะเวลาการหุงต้มข้าวเป็น 5, 6, 7, 8….. นาที หรือจนกว่าจะถึงระยะเวลาในการหุงต้มที่ทำให้เมล็ดข้าวสุกสมบูรณ์

ก.13 ค่าการดูดซับน้ำ (Water Uptake) และอัตราการยืดตัว(Elongation Ratio)
(ดัดแปลงจากวิธีของ Gujral and Kumar, 2003)

ดัดแปลงจากวิธีของ Gujral and Kumar (2003) โดยเปลี่ยนจากการให้ความร้อนโดยการต้มเป็นการนึ่งข้าวโดยการใช้ความร้อนของไอน้ำทำให้ข้าวสุก

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หม้อนึ่งอะลูมิเนียม
2. เตาไฟฟ้า (hot plate)
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. เวอร์เนียคาลิปเปอร์

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักข้าวสารประมาณ 10 กรัม บันทึกข้อมูล และสุ่มเมล็ดข้าวสาร 30 เมล็ด วัดความยาวด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ บันทึกข้อมูลและหาค่าเฉลี่ย

2. แช่ข้าวสาร 10 กรัม โดยเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 12 ชั่วโมง

3. เทลงบนตระแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำ ห่อข้าวเหนียวด้วยผ้าขาวบาง ใส่ลงในหม้อนึ่งอะลูมิเนียมที่ต้มน้ำจนเดือด นาน 8 นาที

4. เมื่อครบกำหนดเวลา ชั่งน้ำหนักข้าวสุก บันทึกข้อมูล และสุ่มตัวอย่างข้าวสุก 30 เมล็ด วัดความยาวด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ บันทึกข้อมูลและหาค่าเฉลี่ย

5. คำนวณหาค่าการดูดซับน้ำ (Water Uptake) และการยืดตัว (Elongation Ratio) ดังนี้

$$\text{Water Uptake (\%)} = \frac{W_c - W_{uc}}{W_{uc}} \times 100$$

เมื่อ Wuc คือน้ำหนักข้าวสาร

Wc คือน้ำหนักข้าวสุก

$$\text{Elongation Ratio (\%)} = \frac{X_L - Y_L}{Y_L} \times 100$$

เมื่อ Y_L คือความยาวเฉลี่ยของข้าวสาร 30 เมล็ด

X_L คือความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก 30 เมล็ด

ก.14 การวัดเนื้อสัมผัสของข้าว โดยใช้เครื่อง Instron universal materials testing machine (Gujral and Kumar, 2003)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Instron universal materials testing machine รุ่น 5565, Canton, Massachusetts, USA
2. หม้อนึ่งอะลูมิเนียม
3. เตาไฟฟ้า (hot plate)

วิธีวิเคราะห์

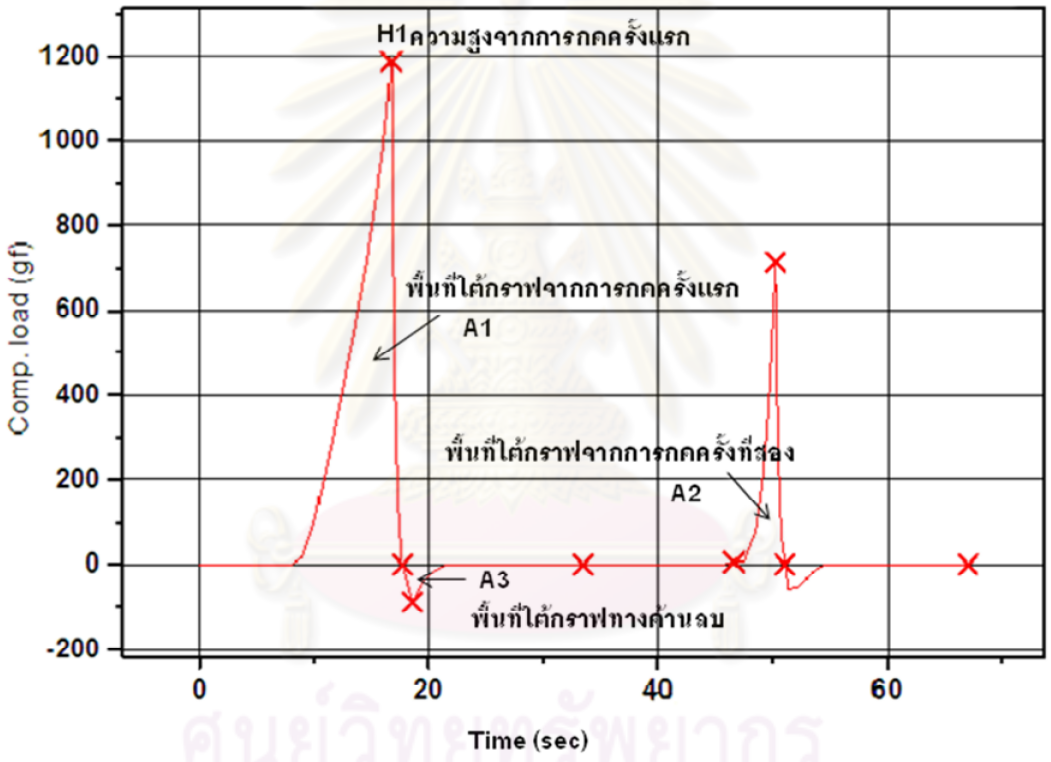
1. ชั่งน้ำหนักข้าวสารประมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 12 ชั่วโมง
2. เทลงบนตระแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำ ห่อข้าวเหนียวด้วยผ้าขาวบาง ใส่ลงในหม้อนึ่งอะลูมิเนียมที่ต้มน้ำจนเดือด
3. วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวสุกขณะร้อนด้วยเครื่อง Instron universal materials testing machine โดยใช้หัววัดชนิดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ตั้งค่า strain ไว้ที่ 60% หัววัดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3.0 มิลลิเมตรต่อวินาที วัดตัวอย่างข้าวเหนียวสุก 10 กรัม หนาประมาณ 3.0 เซนติเมตร ยาวประมาณ 3.0 เซนติเมตร วางบนฐานของเครื่องวัดทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 ครั้ง จะได้กราฟ TPA แสดงในรูปที่ ก.8 ซึ่งค่าเนื้อสัมผัสที่ได้จากกราฟ ได้แก่

- ค่าความแข็ง (Hardness) คือ ค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการกดแรก (H1)

- ค่าความเหนียวติดกัน (Adhesiveness) คือ งานที่ใช้ในการถอนหัววัดออกจากตัวอย่าง แสดงถึงความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการเกาะติดกับองค์ประกอบอื่น เช่น ฟัน ปาก (Area 3)

- ค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้กราฟที่สองต่อพื้นที่ใต้กราฟแรก แสดงถึงความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการเกาะติดกันเองภายในของผลิตภัณฑ์ (Area 2/Area 1)

- พลังงานในการเคี้ยว (Chewiness) คือ ค่าที่ได้จากผลคูณของค่าความแข็ง ความเกาะติดกัน และความยืดหยุ่น แสดงถึงแรงที่ใช้ในการเคี้ยวผลิตภัณฑ์ในปาก



รูปที่ ก.8 กราฟ TPA ที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 หุงสุกด้วยเครื่อง Instron universal materials testing machine

ภาคผนวก ข
แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสข้าวเหนียวหุงสุก ด้วยวิธีการทดสอบเชิงพรรณนา (Descriptive analysis with scaling)

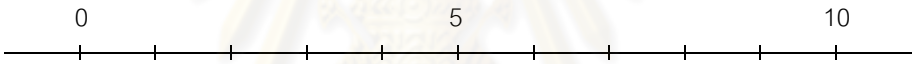
ผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวหุงสุก

ชื่อ ..... วันที่ .....

ตอนที่ 1 กรุณาพิจารณาลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของตัวอย่างทั้งหมด โดยทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วลากเส้นตั้งฉากกับเส้นสเกลในแนวนอนที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุดพร้อมทั้งใส่รหัสกำกับตัวอย่างไว้บนเส้นที่ท่านลาก

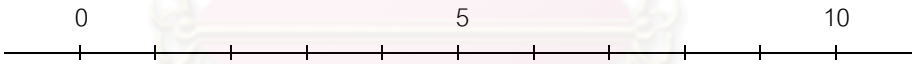
รหัสตัวอย่าง ....

1. สี



ขาวใส สีเหลืองมาก

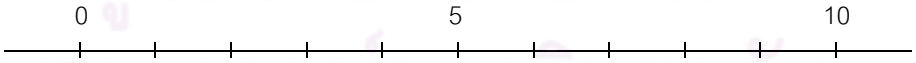
2. กลิ่น



ไม่มีกลิ่น มีกลิ่นผิดปกติมาก

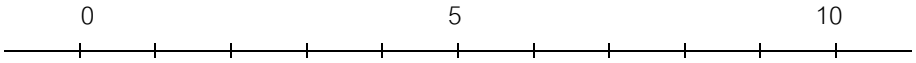
3. เนื้อสัมผัส

3.1 ความแข็ง (Hardness)



เหนียวนุ่ม แข็งมาก

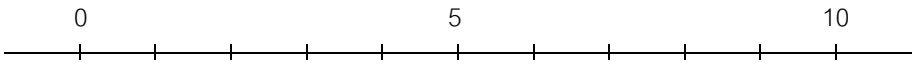
3.2 ความเหนียวติดฟัน (Adhesiveness)



ไม่เหนียวติดฟัน เหนียวติดฟันมาก

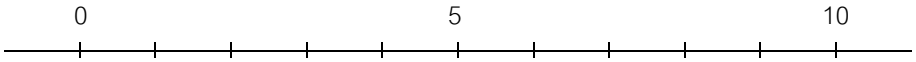
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ความเกาะติดกัน (Cohesiveness)



ไม่เกาะติดกัน เกาะติดกันมาก

3.4 การเคี้ยว (Chewiness)

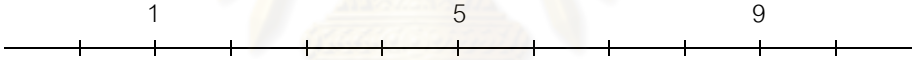


ไม่มีการเคี้ยว เคี้ยวมาก

ตอนที่ 2 กรุณาระบุคะแนนการยอมรับของตัวอย่างทั้งหมด โดยทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา แล้วลากเส้นตั้งฉากกับเส้นสเกลในแนวนอนที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุดพร้อมทั้งใส่รหัสกำกับตัวอย่างไว้บนเส้นที่ท่านลาก

รหัสตัวอย่าง ....

การยอมรับโดยรวม



ไม่ยอมรับมากที่สุด เฉยๆ ยอมรับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 ลักษณะทางประสาทสัมผัส คำจำกัดความ และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนาของข้าวเหนียวหุงสุก

ตารางที่ ข.1 อธิบายคำศัพท์ คำจำกัดความ และวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงพรรณนาของข้าวเหนียวหุงสุก

คุณลักษณะ	คำจำกัดความ	วิธีประเมิน
1. สี	ระดับความขาวของตัวอย่างที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา	ประเมินโดยการมองตัวอย่างโดยรวมภายในถ้วยด้วยสายตา
2. กลิ่น	กลิ่นของเมล็ดข้าวสุก	ประเมินโดยการดมตัวอย่าง (น้อย-มาก)
3. ความแข็ง (Hardness)	แรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างด้วยฟันกราม	วางตัวอย่างไว้ระหว่างฟันกรามและกดตัวอย่าง 1 ครั้งด้วยฟันกราม ประเมินแรงที่ใช้ในการกัด (น้อย-มาก)
4. ความเหนียวติดฟัน (Adhesiveness)	แรงที่ใช้ในการแยกฟันออกจากกันในระหว่างการเคี้ยว	วางตัวอย่างไว้ในปาก เคี้ยวตัวอย่างด้วยฟันกราม และประเมินแรงที่ใช้ในการแยกฟันออกจากกัน (น้อย-มาก)
5. ความเกาะติดกัน (Cohesiveness)	ระดับการเกาะติดกันของตัวอย่าง	วางตัวอย่าง ไว้ระหว่างฟันกรามและกดตัวอย่างลง ประเมินแรงที่ใช้ในการกดตัวอย่างแต่ไม่ให้ขาดออกจากกัน (หลวม-แน่น)
6. การเคี้ยว (Chewiness)	จำนวนครั้งของการเคี้ยวตัวอย่างจนกลืนได้	วางตัวอย่างไว้ในปาก และนับจำนวนครั้งในการเคี้ยวด้วยอัตราคงที่ (1 ครั้ง/ 1 วินาที) จนตัวอย่างนั้นสามารถจะกลืนได้ (น้อย-มาก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น
-	0	44.86±1.62^{bcde}
15 °C	2	46.98±0.73^{ab}
	4	43.33±0.87^{e}
	6	45.33±1.36^{abcde}
20 °C	2	45.68±0.07^{abcd}
	4	44.88±2.06^{bcde}
	6	46.14±0.81^{abc}
อุณหภูมิแวดล้อม	2	46.85±0.58^{ab}
	4	47.54±1.47^{a}
	6	47.20±0.96^{ab}
กระสอบ	2	46.51±0.78^{ab}
	4	43.51±1.34^{de}
	6	43.91±1.65^{cde}

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 ค่า L^* a^* b^* และดัชนีความขาวของข้าวสารพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	L^*	a^*	b^*	ดัชนีความขาว
-	0	82.44±0.11^{a}	0.44±0.12^{ab}	7.86±0.10^{f}	80.75±0.10^{a}
15 ˚C	2	82.08±0.10^{ab}	0.30±0.02^{bcdef}	7.72±0.27^{f}	80.48±0.15^{a}
	4	81.69±0.36^{ab}	0.39±0.10^{abcd}	8.35±0.49^{ef}	79.87±0.46^{ab}
	6	78.45±0.34^{d}	0.40±0.13^{abc}	10.09±0.52^{bc}	76.19±0.51^{d}
20 ˚C	2	82.49±0.47^{a}	0.25±0.09^{bcdef}	7.56±0.35^{f}	80.93±0.57^{a}
	4	82.02±0.32^{ab}	0.20±0.07^{def}	8.21±0.18^{f}	80.23±0.23^{a}
	6	78.63±0.49^{d}	0.26±0.05^{bcdef}	10.23±0.82^{b}	76.29±0.66^{d}
อุณหภูมิแวดล้อม	2	81.63±0.87^{ab}	0.14±0.06^{ef}	7.96±0.19^{f}	79.97±0.88^{ab}
	4	81.08±0.14^{bc}	0.12±0.03^{f}	9.03±0.08^{de}	79.03±0.10^{bc}
	6	78.19±0.41^{d}	0.56±0.21^{a}	11.02±0.08^{a}	75.56±0.33^{d}
กระสอบ	2	82.11±0.70^{ab}	0.20±0.09^{def}	8.03±0.68^{f}	80.38±0.88^{a}
	4	80.42±1.16^{c}	0.24±0.05^{cdef}	9.43±0.35^{cd}	78.26±1.16^{c}
	6	78.70±0.77^{d}	0.34±0.12^{bcde}	11.18±0.48^{a}	75.94±0.90^{d}

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ค.3 ปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณความชื้น %(w.b.)
-	0	14.66±1.95[bc]
15 °C	2	13.77±0.08[c]
	4	12.47±0.05[d]
	6	10.99±0.03[ef]
20 °C	2	13.75±0.07[c]
	4	11.76±0.42[def]
	6	10.92±0.09[f]
อุณหภูมิแวดล้อม	2	12.51±0.24[d]
	4	12.09±0.02[de]
	6	10.72±0.14[f]
กระสอบ	2	15.09±0.20[b]
	4	14.63±0.31[bc]
	6	16.91±0.97[a]

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.4 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในจังหวัดมหาสารคาม ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2550 ถึงพฤษภาคม 2551

เดือนที่เก็บ	อุณหภูมิ(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ(%RH)
ธันวาคม (เดือนที่ 0)	24.87	68.45
มกราคม (เดือนที่ 2)	23.31	67.58
มีนาคม (เดือนที่ 4)	27.25	64.94
พฤษภาคม (เดือนที่ 6)	28.02	80.32

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2552)

ตารางที่ ค.5 ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณแอมิโลส[ns] (g/100g dry flour)
-	0	5.11±0.13
15 °C	2	4.99±0.13
	4	4.97±0.08
	6	4.91±0.13
20 °C	2	4.88±0.20
	4	5.20±0.15
	6	5.19±0.13
อุณหภูมิแวดล้อม	2	4.89±0.15
	4	5.08±0.20
	6	4.98±0.08
กระสอบ	2	4.95±0.13
	4	4.93±0.20
	6	5.17±0.13

[A] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	กรดไขมันอิสระ(%)
-	0	0.14±0.01[h]
15 °C	2	0.16±0.01[fg]
	4	0.16±0.01[fg]
	6	0.23±0.01[b]
20 °C	2	0.16±0.01[fg]
	4	0.15±0.01[gh]
	6	0.23±0.02[b]
อุณหภูมิแวดล้อม	2	0.19±0.01[cd]
	4	0.18±0.01[de]
	6	0.27±0.02[a]
กระสอบ	2	0.17±0.00[ef]
	4	0.20±0.01[c]
	6	0.26±0.01[a]

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 Ratio of absorbance height ของการเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบเป็นเวลา 6 เดือน[A)]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	Ratio of absorbance height[ns]
-	0	0.042±0.016
15 °C	2	0.045±0.013
	4	0.060±0.010
	6	0.067±0.021
20 °C	2	0.051±0.002
	4	0.060±0.009
	6	0.073±0.008
อุณหภูมิแวดล้อม	2	0.045±0.034
	4	0.069±0.014
	6	0.074±0.006
กระสอบ	2	0.065±0.000
	4	0.068±0.015
	6	0.082±0.016

[A] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.8 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน [A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลา (เดือน)	สมบัติด้านความหนืด			
		PT (°C)	PV (RVU)	BD (RVU)	SB (RVU)
-	0	68.07±0.08^{c}	172.64±9.07^{f}	89.75±6.91^{fg}	23.61±0.59^{cdef}
15°C	2	68.87±0.03^{abc}	185.50±4.05^{de}	99.28±1.82^{bc}	21.64±0.75^{g}
	4	68.60±0.56^{bc}	184.53±2.29^{de}	92.61±1.54^{efg}	24.80±0.53^{bcde}
	6	68.45±1.01^{bc}	178.17±2.57^{ef}	87.83±0.75^{g}	23.25±1.64^{defg}
20°C	2	68.62±0.49^{bc}	186.67±2.55^{de}	96.61±2.07^{cde}	22.78±0.62^{fg}
	4	69.15±0.48^{ab}	199.64±1.35^{bc}	97.89±0.53^{bcd}	24.92±0.60^{bcd}
	6	69.18±0.45^{ab}	180.81±7.71^{ef}	79.94±2.32^{h}	24.47±1.59^{bcdef}
อุณหภูมิแวดล้อม	2	68.33±0.49^{bc}	179.89±7.49^{ef}	93.25±5.20^{def}	22.97±1.11^{efg}
	4	68.60±0.52^{bc}	198.11±0.71^{bc}	91.72±0.81^{efg}	25.86±0.56^{b}
	6	68.48±0.64^{bc}	182.19±7.10^{e}	82.08±2.39^{h}	25.44±1.73^{bc}
กระสอบ	2	68.00±0.05^{c}	202.92±2.09^{b}	110.88±1.63^{a}	24.92±0.75^{bcd}
	4	68.88±0.03^{abc}	212.46±0.38^{a}	102.25±0.42^{b}	29.79±0.21^{a}
	6	69.68±0.08^{a}	191.38±1.13^{cd}	79.80±2.63^{h}	28.59±0.67^{a}

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.9 T_o,T_p,T_c และ ΔH_{gel} ของการเกิดเจลาทิไนซ์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน [A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลา (เดือน)	อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ (°C)			ΔH_{gel} (J/g dry flour)
		T_o [ns]	T_p	T_c	
-	0	63.15±0.89	71.64±0.18^{bc}	78.47±0.57^{c}	8.35±0.19^{a}
15°C	2	64.02±0.16	71.48±0.14^{c}	78.33±0.04^{c}	9.34±0.78^{ab}
	4	63.96±0.60	71.83±0.25^{bc}	79.26±0.34^{abc}	10.39±0.75^{b}
	6	64.40±0.75	72.38±0.53^{ab}	79.22±0.53^{abc}	9.27±0.69^{ab}
20°C	2	63.89±0.54	71.84±0.52^{bc}	78.75±0.16^{c}	8.69±0.20^{a}
	4	64.31±0.16	72.01±0.27^{bc}	79.19±0.15^{abc}	9.76±0.58^{ab}
	6	63.42±1.00	72.11±0.30^{abc}	79.21±0.25^{abc}	8.58±0.65^{a}
อุณหภูมิแวดล้อม	2	63.92±0.42	71.91±0.32^{bc}	78.91±0.53^{bc}	9.05±0.89^{a}
	4	63.55±0.55	71.71±0.19^{bc}	79.11±0.14^{abc}	9.26±0.16^{ab}
	6	63.83±0.67	72.30±0.32^{ab}	79.23±0.27^{abc}	9.12±0.85^{ab}
กระสอบ	2	63.54±0.83	72.05±0.89^{abc}	79.86±1.18^{ab}	10.26±0.27^{b}
	4	63.73±0.06	71.64±0.16^{bc}	79.16±0.05^{abc}	10.30±0.37^{b}
	6	64.23±0.95	72.80±0.54^{a}	79.99±1.10^{a}	10.53±1.96^{b}

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.10 ระยะเวลาในการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	ระยะเวลาในการหุงต้ม (นาที)
-	0	8.00±0.00 [h]
15 °C	2	9.00±0.33 [g]
	4	10.89±0.84 [ef]
	6	13.44±1.02 [c]
20 °C	2	9.00±0.58 [g]
	4	12.00±0.88 [d]
	6	14.56±0.51 [b]
อุณหภูมิแวดล้อม	2	9.00±0.33 [g]
	4	11.56±0.19 [de]
	6	15.11±0.19 [ab]
กระสอบ	2	10.00±0.00 [f]
	4	12.33±0.58 [d]
	6	16.00±0.00 [a]

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.11 ค่าการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	ค่าการดูดซับน้ำ(%)
-	0	54.46±0.89[b]
15 °C	2	56.52±0.45[a]
	4	52.78±0.66[c]
	6	52.57±0.25[c]
20 °C	2	56.12±0.84[a]
	4	52.35±0.33[c]
	6	52.13±0.79[c]
อุณหภูมิแวดล้อม	2	54.58±0.41[b]
	4	52.29±0.40[c]
	6	50.84±0.58[de]
กระสอบ	2	52.31±0.62[c]
	4	51.78±0.44[cd]
	6	50.22±0.50[e]

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.12 อัตราการยืดตัวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	อัตราการยืดตัว(%)
-	0	21.89±0.49[a]
15 °C	2	21.47±0.48[ab]
	4	21.67±0.06[a]
	6	20.71±0.42[bcd]
20 °C	2	21.22±0.80[abc]
	4	20.31±0.52[d]
	6	19.18±0.48[e]
อุณหภูมิแวดล้อม	2	20.43±0.04[cd]
	4	20.17±0.49[d]
	6	18.95±0.08[e]
กระสอบ	2	20.25±0.71[d]
	4	20.20±0.66[d]
	6	18.65±0.22[e]

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.13 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (เดือน)	Hardness (gf)	Adhesiveness (gf-mm)[ns]	Cohesiveness	Chewiness (gf)[ns]
-	0	1055.79±57.30^{f}	418.4±41.49	0.11±0.02^{d}	53.95±18.31
15 ^{o}C	2	1179.43±77.15^{e}	349.29±84.15	0.15±0.05^{cd}	52.77±9.23
	4	1288.08±80.78^{de}	327.59±14.35	0.17±0.04^{bc}	62.39±25.63
	6	1394.07±100.39^{bcd}	327.62±61.14	0.21±0.01^{ab}	64.62±23.37
20 ^{o}C	2	1201.86±77.98^{e}	351.12±83.06	0.17±0.04^{bc}	52.25±13.97
	4	1388.80±65.15^{bcd}	312.53±69.84	0.19±0.04^{abc}	61.15±30.04
	6	1440.39±95.42^{bc}	265.37±55.45	0.19±0.03^{abc}	68.42±30.91
อุณหภูมิแวดล้อม	2	1329.01±77.3^{cd}	304.41±74.28	0.19±0.05^{abc}	58.03±13.12
	4	1476.48±70.59^{ab}	258.63±81.19	0.19±0.03^{abc}	71.14±49.67
	6	1581.81±110.14^{a}	270.54±56.24	0.19±0.03^{abc}	77.33±41.12
กระสอบ	2	1291.90±57.12^{de}	307.57±99.44	0.20±0.01^{abc}	51.26±20.36
	4	1419.57±68.11^{bc}	285.56±87.83	0.23±0.03^{a}	62.21±10.9
	6	1475.73±124.25^{ab}	253.33±112.67	0.19±0.03^{abc}	70.01±44.82

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[ns] หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.14 คะแนนการทดสอบเชิงพรรณนาในการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน[A,B]

สภาวะการเก็บรักษา	ระยะเวลา (เดือน)	ลักษณะทางประสาทสัมผัส						
		สี	กลิ่น	ความแข็ง	ความเหนียวติดฟัน	ความเกาะติดกัน	การเคี้ยว	การยอมรับโดยรวม
-	0	1.86±0.43^{d}	1.32±0.47^{ef}	2.43±0.51^{g}	7.09±0.33^{a}	6.50±0.46^{abcd}	6.11±0.46^{c}	8.45±0.60^{a}
15°C	2	2.08±0.51^{d}	1.29±0.47^{ef}	2.37±0.53^{g}	6.82±0.45^{ab}	6.35±0.61^{cd}	6.47±0.47^{bc}	7.01±0.52^{b}
	4	2.79±0.43^{c}	2.28±0.38^{a}	2.99±0.37^{def}	6.35±0.44^{cd}	6.57±0.48^{abcd}	6.59±0.42^{ab}	6.23±0.64^{def}
	6	2.94±0.44^{c}	1.64±0.52^{cde}	3.43±0.40^{cd}	6.16±0.36^{cd}	6.40±0.50^{bcd}	6.58±0.4^{ab}	6.43±0.47^{cde}
20°C	2	2.63±0.41^{c}	1.19±0.44^{f}	2.95±0.53^{ef}	6.52±0.53^{bc}	6.89±0.47^{a}	6.64±0.41^{ab}	6.75±0.6^{bc}
	4	2.88±0.42^{c}	2.08±0.58^{ab}	2.95±0.57^{ef}	6.32±0.48^{cd}	6.82±0.36^{ab}	6.60±0.43^{ab}	6.29±0.37^{cdef}
	6	2.95±0.46^{c}	1.66±0.40b^{cde}	3.59±0.34^{bc}	6.37±0.44^{cd}	6.44±0.38^{abcd}	6.34±0.50^{bc}	6.49±0.47^{cd}
อุณหภูมิแวดล้อม	2	2.74±0.54^{c}	1.45±0.66^{def}	2.92±0.55^{f}	6.55±0.49^{bc}	6.16±0.53^{d}	6.55±0.66^{b}	6.23±0.54^{def}
	4	2.97±0.38^{c}	1.81±0.42^{bcd}	3.13±0.46^{def}	6.33±0.42^{cd}	6.63±0.41^{abc}	6.28±0.36^{bc}	5.87±0.52^{f}
	6	3.56±0.46^{b}	1.97±0.50^{abc}	3.87±0.46^{b}	5.97±0.37^{d}	6.33±0.35^{cd}	6.99±0.45^{a}	5.86±0.42^{f}
กระสอบ	2	2.65±0.50^{c}	1.42±0.31^{def}	3.02±0.46^{def}	6.20±0.63^{cd}	6.22±0.53^{cd}	6.29±0.53^{bc}	6.20±0.70^{def}
	4	3.01±0.40^{c}	1.90±0.48^{abc}	3.39±0.51^{cde}	6.50±0.48^{bc}	6.31±0.38^{cd}	6.32±0.45^{bc}	5.96±0.54^{ef}
	6	4.43±0.47^{a}	1.82±0.43^{bcd}	4.38±0.62^{a}	5.98±0.45^{d}	6.15±0.44^{d}	6.97±0.42^{a}	5.38±0.47^{g}

[A] อักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[B] ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ ง.1 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของร้อยละข้าวต้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	71.615	11	6.510	4.708	0.001
Intercept	75035.82	1	75035.819	54261.828	0.000
Storage condition (A)	32.511	3	10.837	7.837	0.001
Storage duration (B)	17.155	2	8.578	6.203	0.007
A * B	21.949	6	3.658	2.645	0.041
Error	33.188	24	1.383		
Total	75140.62	36			
Corrected Total	104.803	35			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่า b^* และดัชนีความขาวของข้าวสารพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
b^*	Corrected Model	55.347	11	5.032	26.639	0.000
	Intercept	2960.085	1	2960.085	15671.732	0.000
	Storage condition (A)	5.272	3	1.757	9.304	0.000
	Storage duration (B)	49.213	2	24.606	130.274	0.000
	A * B	0.863	6	0.144	0.761	0.607
	Error	4.533	24	0.189		
	Total	3019.966	36			
	Corrected Total	59.881	35			
Whiteness index	Corrected Model	138.186	11	12.562	29.445	0.000
	Intercept	222381.41	1	222381.410	521250.540	0.000
	Storage condition (A)	6.294	3	2.098	4.918	0.008
	Storage duration (B)	128.859	2	64.43	151.02	0.000
	A * B	3.033	6	0.505	1.185	0.347
	Error	10.239	24	0.427		
	Total	222529.83	36			
	Corrected Total	148.425	35			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	119.494	11	10.863	96.194	0.000
Intercept	6053.514	1	6053.514	53604.881	0.000
Storage condition (A)	81.300	3	27.100	239.976	0.000
Storage duration (B)	12.612	2	6.306	55.841	0.000
A * B	25.581	6	4.264	37.754	0.000
Error	2.710	24	0.113		
Total	6175.719	36			
Corrected Total	122.204	35			

ตารางที่ ง.4 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	0.460	11	0.042	1.935	0.085
Intercept	904.506	1	904.506	41886.034	0.000
Storage condition (A)	0.094	3	0.031	1.447	0.254
Storage duration (B)	0.126	2	0.063	2.926	0.073
A * B	0.240	6	0.040	1.849	0.132
Error	0.518	24	0.022		
Total	905.484	36			
Corrected Total	0.978	35			

ตารางที่ ง.5 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของปริมาณกรดไขมันอิสระของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	0.059	11	0.005	51.062	0.000
Intercept	1.408	1	1.408	13340.632	0.000
Storage condition (A)	0.010	3	0.003	30.526	0.000
Storage duration (B)	0.048	2	0.024	225.342	0.000
A * B	0.002	6	0.000	3.237	0.018
Error	0.003	24	0.000		
Total	1.470	36			
Corrected Total	0.062	35			

ตารางที่ ง.6 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงพันธะไดซัลไฟด์ของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	0.003	11	0.000	1.163	0.398
Intercept	0.097	1	0.097	421.582	0.000
Storage condition (A)	0.001	3	0.000	0.947	0.449
Storage duration (B)	0.002	2	0.001	4.427	0.036
A * B	0.000	6	0.000	0.183	0.976
Error	0.003	12	0.000		
Total	0.102	24			
Corrected Total	0.006	23			

ตารางที่ ง.7 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
PT	Corrected Model	6.582	11	0.598	2.444	0.033
	Intercept	170088.88	1	170088.88	694728.691	0.000
	Storage condition (A)	1.381	3	0.460	1.880	0.160
	Storage duration (B)	1.554	2	0.777	3.174	0.060
	A * B	3.647	6	0.608	2.483	0.052
	Error	5.876	24	0.245		
	Total	170101.34	36			
	Corrected Total	12.458	35			
PV	Corrected Model	3840.898	11	349.173	20.068	0.000
	Intercept	1302170	1	1302170	74840.359	0.000
	Storage condition (A)	1929.182	3	643.061	36.959	0.000
	Storage duration (B)	1488.060	2	744.030	42.762	0.000
	A * B	423.656	6	70.609	4.058	0.006
	Error	417.583	24	17.399		
	Total	1306429	36			
	Corrected Total	4258.481	35			
BD	Corrected Model	2921.328	11	265.575	53.708	0.000
	Intercept	310328.842	1	310328.842	62758.483	0.000
	Storage condition (A)	356.922	3	118.974	24.060	0.000
	Storage duration (B)	2049.534	2	1024.767	207.241	0.000
	A * B	514.872	6	85.812	17.354	0.000
	Error	118.675	24	4.945		
	Total	313368.845	36			
	Corrected Total	3040.004	35			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.7 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
SB	Corrected Model	181.422	11	16.493	15.958	0.000
	Intercept	22414.581	1	22414.581	21687.682	0.000
	Storage condition (A)	105.486	3	35.162	34.022	0.000
	Storage duration (B)	68.261	2	34.130	33.024	0.000
	A * B	7.675	6	1.279	1.238	0.322
	Error	24.804	24	1.034		
	Total	22620.808	36			
	Corrected Total	206.227	35			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.8 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
T_o	Corrected Model	3.173	11	0.288	0.725	0.705
	Intercept	146996.84	1	146996.84	369416.140	0.000
	Storage condition (A)	0.680	3	0.227	0.569	0.641
	Storage duration (B)	0.095	2	0.048	0.119	0.888
	A * B	2.398	6	0.400	1.004	0.445
	Error	9.550	24	0.398		
	Total	147009.560	36			
	Corrected Total	12.723	35			
T_p	Corrected Model	4.266	11	0.388	2.179	0.054
	Intercept	186654.241	1	186654.241	1048766.6	0.000
	Storage condition (A)	0.342	3	0.114	0.640	0.596
	Storage duration (B)	2.740	2	1.37	7.698	0.003
	A * B	1.184	6	0.197	1.109	0.386
	Error	4.271	24	0.178		
	Total	186662.779	36			
	Corrected Total	8.537	35			
T_c	Corrected Model	6.344	11	0.577	1.986	0.078
	Intercept	225740.600	1	225740.600	777187.540	0.000
	Storage condition (A)	2.930	3	0.977	3.362	0.035
	Storage duration (B)	1.220	2	0.610	2.100	0.144
	A * B	2.194	6	0.366	1.259	0.313
	Error	6.971	24	0.290		
	Total	225753.910	36			
	Corrected Total	13.315	35			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.8 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆและเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
ΔH_{gel}	Corrected Model	15.299	11	1.391	2.082	0.065
	Intercept	3280.387	1	3280.387	4909.687	0.000
	Storage condition (A)	10.223	3	3.408	5.100	0.007
	Storage duration (B)	2.619	2	1.310	1.960	0.163
	A * B	2.457	6	0.409	0.613	0.718
	Error	16.036	24	0.668		
	Total	3311.722	36			
	Corrected Total	31.335	35			

ตารางที่ ง.9 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของระยะเวลาในการหุงต้มของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	200.129	11	18.194	58.333	0.000
Intercept	5104.626	1	5104.626	16366.81	0.000
Storage condition (A)	12.554	3	4.185	13.417	0.000
Storage duration (B)	184.079	2	92.040	295.104	0.000
A * B	3.495	6	0.583	1.868	0.128
Error	7.485	24	0.312		
Total	5312.240	36			
Corrected Total	207.614	35			

ตารางที่ ง.10 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าการดูดซับน้ำของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	122.155	11	11.105	36.935	0.000
Intercept	100644.253	1	100644.300	334737.920	0.000
Storage condition (A)	33.805	3	11.268	37.478	0.000
Storage duration (B)	77.197	2	38.599	128.377	0.000
A * B	11.153	6	1.859	6.182	0.001
Error	7.216	24	0.301		
Total	100773.624	36			
Corrected Total	129.371	35			

ตารางที่ ง.11 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของอัตราการยืดตัวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	30.309	11	2.755	11.808	0.000
Intercept	14788.587	1	14788.587	63374.376	0.000
Storage condition (A)	13.783	3	4.594	19.688	0.000
Storage duration (B)	14.851	2	7.425	31.821	0.000
A * B	1.676	6	0.279	1.197	0.342
Error	5.600	24	0.233		
Total	14824.496	36			
Corrected Total	35.910	35			

ตารางที่ ง.12 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Hardness	Corrected Model	773716.355	11	70337.850	9.546	0.000
	Intercept	1.13E+08	1	1.13E+08	15334.841	0.000
	Storage condition (A)	251034.421	3	83678.140	11.357	0.000
	Storage duration (B)	508034.012	2	254017.006	34.476	0.000
	A * B	14647.922	6	2441.320	0.331	0.917
	Error	353660.497	48	7367.927		
	Total	1.14E+08	60			
	Corrected Total	1127376.852	59			
Adhesiveness	Corrected Model	64756.456	11	5886.951	0.989	0.470
	Intercept	5440738.546	1	5440738.546	913.850	0.000
	Storage condition (A)	31660.109	3	10553.370	1.773	0.165
	Storage duration (B)	24661.798	2	12330.899	2.071	0.137
	A * B	8434.549	6	1405.758	0.236	0.963
	Error	285775.077	48	5953.647		
	Total	5791270.079	60			
	Corrected Total	350531.532	59			
Cohesiveness	Corrected Model	.022	11	0.002	1.641	0.117
	Intercept	2.128	1	2.128	1743.208	0.000
	Storage condition (A)	0.007	3	0.002	1.975	0.130
	Storage duration (B)	0.004	2	0.002	1.582	0.216
	A * B	0.011	6	0.002	1.493	0.201
	Error	0.059	48	0.001		
	Total	2.209	60			
	Corrected Total	0.081	59			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.12 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Chewiness	Corrected Model	3691.444	11	335.586	0.394	0.952
	Intercept	235374.814	1	235374.814	276.508	0.000
	Storage condition (A)	781	3	260.333	0.306	0.821
	Storage duration (B)	2803.988	2	1401.994	1.647	0.203
	A * B	106.456	6	17.743	0.021	1.000
	Error	40859.54	48	851.24		
	Total	279925.798	60			
	Corrected Total	44550.984	59			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนการทดสอบเชิงพรรณนาในการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
สี	Corrected Model	41.219	20	2.061	12.044	0.000
	Intercept	1056.430	1	1056.430	6173.866	0.000
	Panelists	5.350	9	0.594	3.474	0.001
	Storage condition (A)	9.786	3	3.262	19.064	0.000
	Storage duration (B)	18.103	2	9.052	52.899	0.000
	A * B	7.979	6	1.330	7.772	0.000
	Error	16.940	99	0.171		
	Total	1114.589	120			
	Corrected Total	58.159	119			
กลิ่น	Corrected Model	19.495	20	0.975	5.777	0.000
	Intercept	350.465	1	350.465	2077.211	0.000
	Panelists	7.572	9	0.841	4.986	0.000
	Storage condition (A)	0.184	3	0.061	0.363	0.780
	Storage duration (B)	9.505	2	4.752	28.167	0.000
	A * B	2.235	6	0.372	2.208	0.048
	Error	16.703	99	0.169		
	Total	386.663	120			
	Corrected Total	36.198	119			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนการทดสอบเชิงพรรณนาในการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
ความแข็ง	Corrected Model	35.442	20	1.772	8.474	0.000
	Intercept	1264.577	1	1264.577	6047.312	0.000
	Panelists	5.183	9	0.576	2.754	0.006
	Storage condition (A)	7.012	3	2.337	11.177	0.000
	Storage duration (B)	21.194	2	10.597	50.675	0.000
	A * B	2.054	6	0.342	1.637	0.145
	Error	20.702	99	0.209		
	Total	1320.721	120			
	Corrected Total	56.145	119			
ความเหนียวติดฟัน	Corrected Model	11.379	20	0.569	3.040	0.000
	Intercept	4818.085	1	4818.085	25746.796	0.000
	Panelists	4.960	9	0.551	2.945	0.004
	Storage condition (A)	0.915	3	0.305	1.630	0.187
	Storage duration (B)	3.235	2	1.618	8.645	0.000
	A * B	2.268	6	0.378	2.020	0.070
	Error	18.526	99	0.187		
	Total	4847.989	120			
	Corrected Total	29.905	119			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนการทดสอบเชิงพรรณนาในการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
ความเกาะติดกัน	Corrected Model	8.989	20	0.449	2.193	0.006
	Intercept	4971.360	1	4971.360	24252.383	0.000
	Panelists	2.508	9	0.279	1.360	0.217
	Storage condition (A)	3.808	3	1.269	6.193	0.001
	Storage duration (B)	1.338	2	0.669	3.264	0.042
	A * B	1.334	6	0.222	1.085	0.377
	Error	20.293	99	0.205		
	Total	5000.642	120			
	Corrected Total	29.282	119			
การเคี้ยว	Corrected Model	11.841	20	0.592	3.304	0.000
	Intercept	5148.300	1	5148.300	28727.916	0.000
	Panelists	5.540	9	0.616	3.435	0.001
	Storage condition (A)	0.116	3	0.039	0.215	0.886
	Storage duration (B)	1.766	2	0.883	4.927	0.009
	A * B	4.420	6	0.737	4.110	0.001
	Error	17.742	99	0.179		
	Total	5177.883	120			
	Corrected Total	29.583	119			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.13 ความแปรปรวน (ANOVA) จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนการทดสอบเชิงพรรณนาในการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่างๆ และเก็บในกระสอบ เป็นเวลา 6 เดือน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ต่อ)

Dependent variable	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
การยอมรับโดยรวม	Corrected Model	25.978	20	1.299	5.191	0.000
	Intercept	4646.030	1	4646.030	18567.196	0.000
	Panelists	5.530	9	0.614	2.456	0.014
	Storage condition (A)	11.709	3	3.903	15.598	0.000
	Storage duration (B)	6.249	2	3.124	12.486	0.000
	A * B	2.490	6	0.415	1.659	0.139
	Error	24.773	99	0.250		
	Total	4696.781	120			
	Corrected Total	50.751	119			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ปัทมา เล้าประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร จากคณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยรังสิต เมื่อปีการศึกษา 2548 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

ปัทมา เล้าประเสริฐ, ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และ ละมุล วิเศษ. 2552. ผลของการเก็บข้าวในถังแบบมีการเป่าอากาศต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและคุณภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6. ใน การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 (ภาคบรรยาย). วันที่ 10-11 กันยายน 2552 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย