รายงานการวิจัย

ผลของสภาวะการผลิตข้าวเหนียวพรีเจลลาทิไนซ์ต่อคุณภาพ
และการยอมรับของผู้บริโภค
Effects of processing conditions of pre-gelatinized glutinous rice on its quality and consumer acceptability

กมลทิพย์ นิคมรัตน์
อิทธิพร แก้วเพ็ง

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
พ.ศ. 2557

รายงานการวิจัย

ผลของสภาวะการผลิตข้าวเหนียวพรีเจลลาทิไนซ์ต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค

Effects of processing conditions of pre-gelatinized glutinous rice on its quality and consumer acceptability

กมลทิพย์ นิคมรัตน์
อิทธิพร แก้วเพ็ง

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
พ.ศ. 2557

ชื่องานวิจัย ผลของสภาวะการผลิตข้าวเหนียวพรีเจลลาทิไนซ์ต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค

ผู้วิจัย กมลทิพย์ นิคมรัตน์ และ อิทธิพร แก้วเพ็ง

คณะ เทคโนโลยีการเกษตร

ปี 2559

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลสภาวะการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ ของข้าวเหนียวพรีเจลลาทิไนซ์และการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 จากจังหวัดนครราชสีมา (ข้าวใหม่) ทำการล้างตัวอย่างข้าวเหนียว (ข้าวเปลือก) ที่ได้รับมาด้วยน้ำสะอาด และแช่ข้าวเหนียวในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อข้าวเหนียวเป็น 2:1 (โดยปริมาตร) เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบเวลาในการแช่ในแต่ละเวลาการทดลองให้เทน้ำทิ้งและนำข้าวเหนียวมานึ่งด้วยหม้อนึ่งที่ควบคุมอุณหภูมิการนึ่งคงที่เป็นระยะเวลา 15, 30 และ 45 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการนึ่ง แล้วไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือจนข้าวเปลือกแห้งสนิท จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีกายภาพของข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการการให้ความร้อนชื้น พบว่า ข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำและการนึ่งในระยะเวลาที่สูงขึ้นทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักสูงกว่าสภาวะการแช่น้ำและการนึ่งในระยะเวลาที่ต่ำกว่า และเมื่อระยะเวลาการแช่น้ำและการนึ่งที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เมล็ดข้าวมีลักษณะสีที่คล้ำลงและมีสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง ข้าวเหนียวชุดควบคุมมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำเท่ากับ 42.26 และตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้เวลาในการแช่ที่ 6 ชั่วโมง จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 4 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ และผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำในตัวอย่างข้าว พบว่าการใช้เวลาในการนึ่ง ที่ 45 นาที จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่ 30 และ 15 นาที ข้าวชุดควบคุมมีกำลังการพองตัวเท่ากับ 5.72 และปริมาณร้อยละการละลายเท่ากับ 0.12 และข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายเพิ่มสูงขึ้น กระบวนการการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียวมีผลอย่างมี

นัยสำคัญต่อคุณสมบัติการเกิดเจลลาทิไนซ์ ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล (T_o) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจล (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (T_c) และพลังงานความร้อนทั้งหมดในการเกิดเจลลาทิไนซ์ (ΔH) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวชุดควบคุม ($P<0.05$) อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลในตัวอย่างข้าวเหนียวชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 61.37 องศาเซลเซียส และข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำและให้ความร้อนชื้นที่ระยะเวลาแตกต่างกันมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลอยู่ในช่วง 62.23-67.65 องศาเซลเซียส โดยข้าวที่แช่ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง และให้ความร้อนชื้นที่ระยะเวลา 45 นาทีมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล (67.65 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลมีค่าสูงที่สุด (78.17 องศาเซลเซียส) การแช่ข้าวเหนียวที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนชื้นสูงขึ้นทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลเพิ่มสูงขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) การให้ความร้อนชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนชื้น ($P<0.05$) ข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการความร้อนชื้นมีความหนืดสูงสุดลดลงเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวชุดควบคุม โดยข้าวเหนียวชุดควบคุมมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 360.75 RVU ระยะเวลาในการแช่และเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อการลดลงของความหนืดสูงสุดของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ระยะเวลาแช่ข้าวเหนียวและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดสูงสุดของข้าวเหนียวลดลง อุณหภูมิของการเกิดเจลของข้าวเหนียวชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 65.23 องศาเซลเซียส ระหว่างกระบวนการการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียว อุณหภูมิของการเกิดเจลของข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยอุณหภูมิของการเกิดเจลของข้าวเหนียวที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลมาจากระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวเป็นปัจจัยสำคัญ ความหนืดสุดท้ายและความหนืดหลังการคืนตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวชุดควบคุม ที่ผ่านการทดสอบโดยเครื่อง X-ray Diffractometer มีค่าความเป็นผลึกเท่ากับร้อยละ 32.25 เมื่อผ่านกระบวนการการให้ความร้อนชื้นค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างแต่ละตัวอย่างนั้นจะลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม จากการทดสอบพบว่าระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละความเป็นผลึกของตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนระยะเวลาในการนึ่งในชุดการทดลองที่มีระยะเวลาในการแช่นำที่เท่ากันนั้นไม่มีผลต่อร้อยละการเป็นผลึกของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง อยู่ในช่วงร้อยละ 19.51-20.14 ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำ 4 ชั่วโมง อยู่ในช่วงร้อยละ 17.21-18.73 ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำ 6 ชั่วโมง อยู่

ในช่วงร้อยละ 16.20-16.54 การให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียวมีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความแข็งของเมล็ดข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวชุดควบคุม ค่าความแข็งของข้าวเหนียวชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 325.50 กรัมแรง ซึ่งค่าความแข็งของข้าวเหนียวที่ผ่านการให้ความร้อนชื้นมีค่าระหว่าง 372.25-415.70 กรัมแรง การทดสอบทางประสาทสัมผัสจากตัวอย่างที่มีการแตกหักน้อยที่สุด 3 ตัวอย่าง คือ ที่เวลาแช่ 2 ชั่วโมง และนึ่ง 15 30 และ 45 นาที พบว่าที่สภาวะแช่ 2 ชั่วโมง นึ่ง 15 นาที มีค่าเฉลี่ยของลักษณะปรากฏสูงสุด และค่าสีไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุม ข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งจะมีค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมมากกว่าชุดควบคุม แต่บางสภาวะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) จากชุดควบคุม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Research Title	Effects of processing conditions of pre-gelatinized glutinous rice on its quality and consumer acceptability
Researcher	Kamonthip Nikomrat and Ittiporn Keawpeng
Faculty	Faculty of Agricultural Technology
Year	2016

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effects of hydrothermal processes on the quality of pre-gelatinized glutinous rice and the consumer acceptability. The glutinous rice (RD6) was obtained from contracted farm from Nakorn-rachasima province, Thailand, which it was fresh harvested rice. Paddy rice were then washed with tap water and soaked at room temperature for 2, 4 and 6 h. The ratio of paddy rice and water was 2:1 (w/w). The moist paddy rice were then steamed in steamer for 15, 30 and 45 min and dried at 60°C with hot air dryer for 4 h or until the moisture content of grain approached 14%. The analysis of properties of glutinous rice grain were investigated, such as, milling qualities, physical properties, physicochemical properties and consumer susceptibility. The hydrothermal processes affected on color and breakage of pre-gelatinized glutinous rice grain. Pre-gelatinized grain with higher soaking period and higher steaming time showed lower lightness and higher breakage susceptibility. The water absorption of untreated sample was 42.26%. However, this value increase with increasing of soaking and steaming periods. The swelling power and water solubility of control glutinous rice sample were 52.72 and 0.12, respectively. Soaking and steaming rice with higher condition increased the swelling power and water solubility of control glutinous rice. The gelatinization properties of pre-gelatinized glutinous rice, such as, pasting temperature (T_o), peak temperature (T_p), conclusion temperature (T_c) and enthalpy (ΔH), were affected from hydrothermal processes with significantly level compared with untreated rice ($P<0.05$). The initial pasting temperature of control sample was

61.37°C and rice from various conditions were ranged between 62.23-67.65°C. The T_o and T_p of 6 h soaked time and 45 min steamed time rice sample were 67.65°C and 78.17°C, respectively. The pasting properties of pre-gelatinized glutinous rice were significantly affected from hydrothermal processes ($P<0.05$). The peak viscosity (PV) decreases with increased soaking and steaming time with significant different compared to control sample ($P<0.05$). The PV and pasting temperature of control sample was 360.75 RVU and 65.23°C. The pasting temperature of processed rice showed significant higher values than untreated sample ($P<0.05$). The final and setback viscosity of processed rice are higher than control. The percent crystallinity of glutinous rice was investigated using X-ray Diffractometer. The raw glutinous rice showed 32.25% of crystallinity. It trend to decrease which affected from soaking time ($P<0.05$). The hardness of cooked glutinous rice is 325.50 g (force). For the processed rice, they showed the hardness value between 372.25-415.70 g (force). The samples were collected from 2 h soaked time and 15, 30 and 45 min steamed conditions which believed as they were the complete with less breakage. Then, the sensory evaluation was performed. From the study, it was recommended that soaking for 2 h and steaming for 15 min is the appropriate condition to produce pre-gelatinized glutinous rice. With this condition, the appearance and color were not different from control and it obtained the highest overall acceptability.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในการให้การสนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัยและเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมไปถึงสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี

กมลทิพย์ นิคมรัตน์
อิทธิพร แก้วเพ็ง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
24 ตุลาคม 2559

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
บทที่ 3 การทดลอง	31
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	27
วิธีการทดลอง	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	30
บทที่ 5 สรุป	43
เอกสารอ้างอิง	44
ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	4
2 รูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากข้าว	15
3 แบบจำลองภายในของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากข้าว	15
4 โครงสร้างของอะไมโลส	16
5 โครงสร้างอะไมโลเพกติน	16
6 การเกิดเจลาทิไนซ์	7
7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	22
8 ลักษณะทางกายภาพของข้าวเหนียวพรีเจลาทิไนซ์ที่ผ่านสภาวะการเตรียมที่แตกต่างกัน	31

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทอินดิคา จาปอนิคา และจาวานิคา	6
2 ปริมาณไขมันต่างๆ ที่พบในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว	11
3 ปริมาณไขมันที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบข้าวขัดขาวบางชนิด	12
4 ปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด	13
5 อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชข้าวบางชนิด	19
6 ข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวนึ่ง	24
7 ผลของกระบวนการแช่และการนึ่งต่อร้อยละของข้าวสารและแกลบของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน	33
8 ผลของกระบวนการแช่และการนึ่งต่อร้อยละการแตกหักของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน	34
9 ร้อยละการดูดซับน้ำ การละลายและกำลังการพองตัว ของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน	36
10 คุณสมบัติด้านความร้อนของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน	38
11 คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน	40
12 ร้อยละความเป็นผลึกและค่าความแข็งของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน	41
13 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียว	42

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ข้าวเหนียว (Waxy rice, Sweet rice หรือ Sticky rice) มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* var. glutinosa หรือ *Oryza glutinousa* จัดว่าเป็นเป็นพืชที่มีการเพาะปลูกและเป็นอาหารหลักของประชาชนในภาคอีสานโดยเฉพาะแถบอีสานตอนบนและภาคเหนือตอนบนมาช้านาน รวมทั้งประเทศเพื่อนบ้านในภาคพื้นเอเชีย เช่นสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เวียดนาม กัมพูชา เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตและความมั่นคงทางอาหารของครัวเรือนในภูมิภาคดังกล่าวซึ่งมีการบริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักในชีวิตประจำวัน ซึ่งข้าวเหนียวจะมีลักษณะของเนื้อเมล็ดเป็นสีขาวขุ่น เมื่อนำไปหุงต้มจะเหนียวเมล็ดเกาะตัวกันดีมาก แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยอะไมโลเพคตินร้อยละ 92-100 และอะไมโลสร้อยละ 0-8 ของน้ำหนักเมล็ด (วาสนา ผลารักษ์, 2523) ข้าวเหนียวพันธุ์ที่นิยมปลูกและบริโภคกันมาคือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (RD 6) เป็นข้าวสายพันธุ์อินดิคา มีปริมาณอะไมโลสในเม็ดแป้งต่ำและ มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงกว่าร้อยละ 90 จากคุณสมบัติข้างต้นนี้ทำให้ข้าวเหนียวเมื่อผ่านการหุงต้มแล้วจะมีความนุ่มเหนียว

การบริโภคข้าวเหนียวนิยมบริโภคในรูปของข้าวเหนียวหุงสุกทั้งเมล็ด โดยพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานข้าวเหนียวขัดสี (ข้าวเหนียวขาว) มากกว่าข้าวเหนียวกล้อง เนื่องจากมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดี ขาวสะอาดน่ารับประทานและใช้เวลาในการหุงต้มน้อยกว่าข้าวเหนียวกล้อง แต่อย่างไรก็ตามการรับประทานข้าวเหนียวกล้องจะให้คุณค่าทางโภชนาการที่สูงกว่าข้าวเหนียวขาว ซึ่งสามารถป้องกันโรคเหน็บชาเนื่องจากการขาดวิตามินบี 1 โรคมะเร็ง โรคอ้วน โรคหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งมีรายงานการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและการรักษาคุณค่าทางโภชนาการให้สามารถอยู่ได้นานคือการทำข้าวนึ่ง

ข้าวนึ่งคือข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำ นึ่งด้วยไอน้ำและทำให้แห้งก่อนการขัดสี เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดข้าว ระหว่างการทำข้าวนึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวในหลายรูปแบบ ในขั้นตอนการขัดสีโดยเฉพาะในข้าวใหม่ พบว่ามีการแตกหักของข้าวและเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานจะทำให้มีการปนเปื้อนของแมลงได้ง่าย จึงมีแนวความคิดในการประยุกต์ใช้วิธีการนึ่งข้าวเพื่อลดการแตกหักของข้าวและลดการปนเปื้อนของข้าวเนื่องจากแมลงระหว่างการเก็บรักษาข้าวได้ และในระหว่างการแช่นี้วิตามินบางส่วนจะแพร่เข้าไปในเนื้อเมล็ดพร้อมกับน้ำ

ปัจจุบันการหุงสุกข้าวเหนียวเพื่อบริโภคจะต้องนำข้าวเหนียวที่ผ่านการขัดสีมาแช่น้ำก่อนทำการนึ่ง เพื่อให้เมล็ดข้าวเหนียวเกิดการดูดซับน้ำและทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว กระบวนการนี้จะช่วยให้เมล็ดข้าวเหนียวสุกง่ายและหลังจากการหุงสุกจะมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มมากกว่าเมล็ดข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการแช่ อย่างไรก็ตามกระบวนการการแช่ข้าวเหนียวก่อนการนำมาหุงด้วยการนึ่งจะต้องอาศัยระยะเวลานานและส่งผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญที่จะช่วยลดระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวเพื่อความสะดวกต่อผู้บริโภค โดยมีแนวคิดที่นำข้าวเหนียวมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นเพื่อให้แป้งเกิดเจลาทิไนซ์บางส่วนและมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนนั้นมีผลกระทบต่อสารที่สำคัญในข้าว จึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพของข้าวเหนียวพรีเจลาทิไนซ์และการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลสภาวะการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ ของข้าวเหนียวพรีเจลลาทิไนซ์และการยอมรับของผู้บริโภค

1.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวเหนียวพรีเจลลาทิไนซ์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตข้าวนึ่งจากข้าวเหนียว

1.3.2 เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวต่อผู้ที่สนใจ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีกายภาพของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียว

1.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวนึ่งจากข้าวเหนียว

บทที่ 2
ทฤษฎี

1. ความหมายของข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกในตระกูลหญ้า (Family: Gramineae) สกุลออไรซ่า (Genus: Oryza) ปัจจุบันมีทั้งหมด 24 ชนิด เป็นข้าวปลูกเพื่อบริโภค 2 ชนิดคือข้าวปลูกเอเชีย ออไรซ่า ซาไทวา (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวปลูกแอฟริกา (*O. glaberrima* Steud.) ส่วนที่เหลือเป็นข้าวป่าทั้งหมด (มรกต ตันติเจริญ และ ศิริพร จำรัสเลิศลักษณ์, 2547)

2. โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

2.1 เปลือกนอก หรือ แกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก น้ำหนักเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าว องค์ประกอบส่วนใหญ่ภายใน hull ได้แก่ ลิกนิน (ร้อยละ 30), เซลลูโลส (ร้อยละ 25) และเถ้า (ร้อยละ 21) ดังนั้นส่วนนี้จึงมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ แต่มีความสำคัญในการป้องกันเมล็ดจากเชื้อราและแมลงในระหว่างการเก็บรักษา (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

2.2 ส่วนที่บริโภคได้ หรือข้าวกล้อง (caryopsis, brown rice, dehull rice, husked rice or cargo rice) ประกอบด้วย

2.2.1 เยื่อหุ้มผล (pericarp หรือ fruit coat) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้อง ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ เอพิคาฟ (epicarp), มีโซคาฟ (mesocarp) และเอโดคาฟ (endocarp) เยื่อหุ้มผลเหล่านี้มีลักษณะเป็น เยื่อใย (fibrous) ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

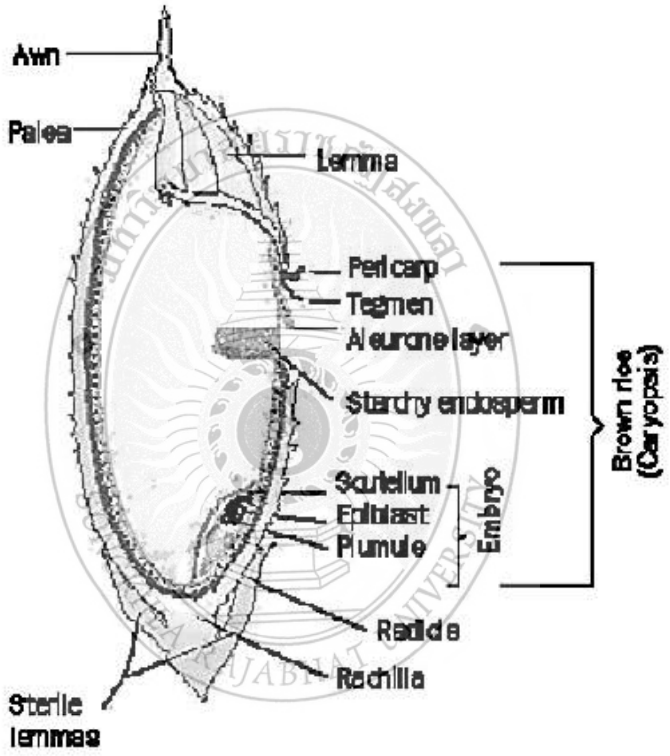
2.2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ tegmen) เป็นเซลล์ชั้นเดียว หนาประมาณ 0.5 ไมครอน อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไปประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นชั้นที่มีไขมันอยู่มาก

2.2.3 ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น ลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวเมล็ดป้อม-สั้นจะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น และชั้นแอลิวโรนเป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ภายในชั้นแอลิวโรน ประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน วิตามินและมีแป้งเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้องซึ่งไม่ได้ขัดสีเอาชั้นแอลิวโรนออกไปจึงรู้สึกกระด้างกว่าข้าวสาร

2.2.4 เนื้อเมล็ด หรือ เนื้อข้าว (Endosperm) เป็นส่วนเนื้อของเมล็ดข้าว (ประมาณร้อยละ 80 ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตหรือแป้ง แป้งข้าวจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (starch compound) กลุ่มแป้งหลายๆกลุ่มจะอยู่รวมกัน โดยมีโปรตีน

(protein body) แทรกอยู่และไขมันเล็กน้อย แป้งข้าวแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin)

2.2.5 จมูกข้าวหรือคัพภะ (embryo) เป็นส่วนเล็กๆอยู่ที่มุมล่างของเมล็ด ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน (radicle), ต้นอ่อน (plumule), เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza), เยื่อหุ้มต้นอ่อน (caleoptile), ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมไปด้วยโปรตีนและไขมันส่วนต่างๆ ยกเว้น แป้ง วิตามิน B1 B2 และไนอาซิน ซึ่งวิตามินเหล่านี้จะถูกขัดออกไป เมื่อผ่านกระบวนการขัดขาว (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา : Juliano (1985)

3. การจำแนกประเภทของข้าว

3.1 การจำแนกข้าวตามลักษณะการกำเนิด

3.1.1 ข้าวปลูก (cultivated rice) เกิดจากการเพาะปลูกของมนุษย์ ซึ่งข้าวปลูกยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ชนิด ตามสถานที่เพาะปลูก คือ

3.1.1.1 โอไรซา กลาเบอร์ริมา นิยมปลูกในทวีปแอฟริกาฝั่งตะวันตก

3.1.1.2 โอไรซา ซาไตวา นิยมปลูกในทวีปต่างๆทั่วโลก

3.1.2 ข้าวป่า (wild rice) เกิดจากการเจริญอยู่ในธรรมชาติและพบได้ทั่วในภูมิภาคเอเชียอาคเนย์ (ไพศาล สังโวลี, 2543)

3.2 การจำแนกข้าวตามสภาพภูมิประเทศและวิธีปลูก

3.2.1 ข้าวไร่ (upland rice) คือข้าวที่ปลูกในที่ดอนหรือเชิงเขาที่มีความชุ่มชื้นพอสมควร

3.2.2 ข้าวนาสวน (lowland rice) คือข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่วๆไปที่มีน้ำขังแต่ลึกไม่เกิน 1 เมตร

3.2.3 ข้าวนาเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ (floating rice) คือข้าวที่ปลูกได้ในที่น้ำลึกเกินกว่า1 เมตร ขึ้นไปและมีความสามารถในการยืดตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2527)

3.3 การจำแนกข้าวตามลักษณะความไวต่อความสั้นยาวของช่วงแสงต่อวัน

3.3.1 ข้าวไวแสง คือพันธุ์ข้าวที่ออกดอกออกรวงตามความยาวของช่วงเวลากลางวันที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้อายุไม่แน่นอน ถ้าปลูกในช่วงที่มีกลางวันยาวหรือช่วงการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ในช่วงกลางวันยาวจะท้าให้อายุของข้าวยาวนาน แต่ถ้าปลูกในช่วงกลางวันสั้นอายุของข้าวจะเบาและข้าวไวแสงจะมีระดับความไวต่อช่วงแสงแตกต่างกัน ข้าวพวกนี้อาจเรียกได้ว่า ข้าวออกดอกตามฤดูกาล

3.3.2 ข้าวไม่ไวแสง คือข้าวที่ช่วงแสงต่อวันไม่มีอิทธิพลในการกำหนดเวลาออกดอก ข้าวพวกนี้จึงเป็นข้าวที่สามารถปลูกได้ตลอดปีไม่ว่าจะเป็นนาปีหรือนาปรัง ข้าวนี้มีกำหนดอายุวัน ออกดอกแน่นอนโดยนับตั้งแต่วันตกกล้าไปถึงวันออกดอกหรือจะเรียกข้าวพวกนี้ว่า ข้าวออกดอกตามอายุก็ได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2527)

3.4 การจำแนกข้าวตามอายุการเก็บเกี่ยว

3.4.1 ข้าวเบา (early varieties) หมายถึง ข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น เก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าพันธุ์อื่นๆ ในท้องที่เดียวกันหากเป็นพันธุ์ที่ไวแสงจะสุกและเก็บเกี่ยวได้ประมาณเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน หากเป็นพันธุ์ไม่ไวแสงอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100-120 วัน

3.4.2 ข้าวกลาง (medium varieties) หมายถึง ข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยวปานกลางจะออกดอกและเก็บเกี่ยวได้ประมาณเดือนธันวาคมถึงมกราคม หากเป็นพันธุ์ที่ไม่ไวแสงจะมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 130-160 วัน โดยปกติจะให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์เบา

3.4.3 ข้าวหนัก (late varieties) หมายถึง ข้าวที่อายุเก็บเกี่ยวมากโดยจะออกดอกและเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่มกราคมหรือหลังจากนั้นหากเป็นพันธุ์ไม่ไวแสงจะมีอายุประมาณ 180 วัน ซึ่งพันธุ์พวกนี้โดยปกติจะมีผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เบาและพันธุ์กลาง (ปราณีต จิระสุทัศน์, 2531)

3.5 การจำแนกข้าวตามลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา

ข้าวโอไรซา ซาไตวา (Oryza sativa) แบ่งย่อยได้เป็น 3 พวก ดังตารางที่ 1 โดยอาศัยความแตกต่างในด้านสัณฐานวิทยาและการปรับตัวในการเจริญเติบโตที่สภาพแวดล้อมต่างกัน

3.5.1 อินดิคา (indica) จะพบทั่วไปในเอเชียเขตร้อน ปลูกมากในประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย พม่า อินเดีย ลาว เวียดนาม ศรีลังกา เป็นข้าวต้นสูง ฟางอ่อน เมล็ดยาว

เรียว ข้าวอินดิคาจะมีความผันแปรของพันธุ์มาก เช่น ความต้องการน้ำซึ่งขึ้นได้ทั้งในที่ดอนจนถึงที่ลุ่มน้ำขังลึกถึง 5 เมตร

3.5.2 จาปอนิคา (japonica) จะพบในเขตอบอุ่น เช่น ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี จีนตอนเหนือและตะวันออก จะมีความผันแปรของพันธุ์น้อยกว่าข้าวอินดิคาเป็นข้าวต้นเตี้ย เมล็ดน้อย

3.5.3 จาวานิคา (javanica) เป็นข้าวที่พบในประเทศอินโดนีเซียบางท้องที่เท่านั้น อาจมีปลูกบ้างในฟิลิปปินส์ อินเดีย มีลักษณะคล้ายจาปอนิคา (ปราณีต จิระสุทัศน์, 2531)

ตารางที่ 1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทอินดิคา จาปอนิคา และจาวานิคา

ลักษณะ	ชนิดข้าว		
	อินดิคา	**จาปอนิคา**	**จาวานิคา**
รูปร่างและสีใบ	กว้าง สีเขียวอ่อน	แคบ สีเขียวแก่	กว้าง แข็ง สีเขียวอ่อน
เมล็ด	ยาว ค่อนข้างแบน	สั้น กลม	กว้างหนา
การแตกกอ	แตกกอมาก	แตกกอปานกลาง	แตกกอน้อย
ล้าต้น	สูง อ่อน	เตี้ย แข็ง	สูงแข็ง
หางของเมล็ด	สั้นมาก	สั้นมาก – ยาว	สั้นมาก – ยาว
ขนของข้าวเปลือก	สั้น	ขนมากและยาว	ขนยาว
การร่วงของเมล็ด	เมล็ดร่วงง่าย	เมล็ดร่วงยาก	เมล็ดร่วงยาก
ร้อยละของอะไมโลส	23 - 31	20 - 25	10 – 24

ที่มา : ประพาส วีระแพทย์ (2526), ชาญ มงคล (2536)

3.6 การจำแนกข้าวตามชนิดและปริมาณของแป้งในเมล็ด

3.6.1 ข้าวเจ้า (non-glutinous rice, non-sticky rice, non-waxy rice)

ข้าวเจ้าจะมีส่วนของเมล็ดใสกว่าข้าวเหนียวเมื่อนำไปหุงต้มจะไม่ค่อยเกาะตัวจะร่วนซุยไม่เหนียวติดกัน ในการหุงต้องการน้ำในปริมาณที่มากกว่าข้าวเหนียว แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพคตินร้อยละ 64 - 92 และมีปริมาณของอะไมโลสร้อยละ 8 - 36 ของน้ำหนักเมล็ด ซึ่งปริมาณของอะไมโลสในข้าวเจ้าจะสูงกว่าข้าวเหนียวข้าวเจ้าบางพันธุ์ เมื่อหุงต้มแล้วจะพบว่ามี ความนุ่มและการเกาะตัวดีใกล้เคียงกับข้าวเหนียว เช่น ข้าวพวกจาปอนิคา แต่คุณลักษณะอื่นๆ ในการหุงต้มและลักษณะทางเคมียังคงมีลักษณะเป็นข้าวเจ้าอยู่ ความนุ่มของข้าวเจ้าจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสในเมล็ด ปริมาณโปรตีน อายุการเก็บรักษา ปริมาณน้ำใน การหุงต้ม เป็นต้น (วาสนา ผลารักษ์, 2523) ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าท้าให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะอ่อนนุ่มหรือแข็งกระด้างต่างกันไป เรียกว่า มีคุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) ต่างกัน กล่าวคือข้าวพันธุ์ที่ยิ่งมีอะไมโลสมากจะยิ่งมีเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่แข็งมาก (ชาญ มงคล, 2536)

3.6.2 ข้าวเหนียว (glutinous rice, sticky rice, waxy rice)

ข้าวเหนียวจะมีลักษณะของเนื้อเมล็ดเป็นสีขาวขุ่น เมื่อนำไปหุงต้มจะเหนียว เมล็ดเกาะตัวกันดีมาก แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพคตินและมีอะไมโลสเป็นส่วนน้อย หรืออาจไม่มีเลยในเมล็ดจะประกอบไปด้วยอะไมโลเพคตินร้อยละ 92 - 100 และอะไมโลส ร้อยละ 0 - 8 ของน้ำหนักเมล็ด เมล็ดข้าวเหนียวเมื่อนำไปนึ่งจีความนุ่มของแต่ละพันธุ์ไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่พันธุ์ที่มีความนุ่มน้อยกว่าจะเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณของอะไมโลส อยู่สูงกว่า นอกจากนี้อาจเป็นเพราะปริมาณโปรตีนในเมล็ด อายุการเก็บรักษาและสภาพที่เก็บรักษาด้วย (วาสนา ผลารักษ์, 2523)

3.7 การจำแนกข้าวตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ในแต่ละประเทศมีความนิยมข้าวที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เช่น ชาวญี่ปุ่น เกาหลี ชอบข้าวเมล็ดป้อม แต่คนไทยนิยมข้าวเมล็ดยาวเรียว มาตรฐานข้าวตามประกาศของกระทรวงพาณิชย์กำหนดขนาดเมล็ด ดังนี้ (งามชื่น คงเสรี, 2542)

ชั้นของเมล็ดข้าว	**ขนาด (มิลลิเมตร)**
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (Extra-long grain)	มากกว่า 7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (Long grain)	6.6 – 7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 (Medium grain)	6.2 – 6.6
ข้าวเมล็ดสั้น (Short grain)	สั้นกว่า 6.2

การจำแนกขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องโดยเทียบจากUSDA Standard เป็นดังนี้

USDA Scale	**ความยาว (มิลลิเมตร)**
ยาวมาก (Very Long – VL)	มากกว่า 7.50
ยาว (Long – L)	7.06 – 7.50
ค่อนข้างยาว (Medium Long – ML)	6.61 – 7.059
ปานกลาง (Medium – M)	6.101 – 6.609
ค่อนข้างสั้น (Medium short – MS)	5.51 – 6.10
สั้น (Short – S)	น้อยกว่า 5.50

รูปร่างเมล็ดข้าวอาจจำแนกตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเป็น 3 พวก ดังนี้

รูปร่างเมล็ด (grain shape)	**ความยาว / ความกว้าง**
เรียว (Slender – SL)	มากกว่า 3.0 ขึ้นไป
ปานกลาง (Intermediate – I)	2.1 – 3.0
ป้อม (Bold – B)	น้อยกว่า 2.0

3.8 การจำแนกข้าวตามการปรับปรุงพันธุ์

3.8.1 ข้าวพันธุ์พื้นเมือง (land race varieties) เป็นข้าวที่เกษตรกรปลูกมาตั้งแต่สมัยโบราณติดต่อกันมาเรื่อยๆ ในอดีตจะถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติและต่อมาเกษตรกรอาจทำการคัดเลือกโดยวิธีง่ายๆ ไม่มีการเปรียบเทียบพันธุ์ตามหลักวิชาการเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะเหมาะสมกับการต่อสู้กับธรรมชาติ เช่น ต้นสูง เมล็ดมี หาง ปรับตัวได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อย นอกจากนี้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมักไวต่อช่วงแสง (ประณีต จิระสุทัศน์, 2531) ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยนับว่าเป็นความหลากหลายทางด้านพันธุกรรม (genetic diversity) เป็นฐานพันธุกรรมที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ได้พันธุ์ดีในอนาคต ถ้าพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีคุณภาพดีหรือทนทานต่อสภาพแวดล้อมดีได้สูญพันธุ์ไป ก็จะไม่สามารถสร้างพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของตลาดต่อไปได้ การตั้งชื่อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยจะเป็นการตั้งชื่อตามความพอใจของเจ้าของพันธุ์ โดยไม่ได้ประเมินคุณลักษณะประจำพันธุ์ทางด้านวิชาการมาก่อน ดังนั้นโอกาสที่จะซ้ำกันจึงเป็นไปได้ สำหรับการตั้งชื่อพันธุ์จะตั้งตามสถานที่ แหล่งที่พบหรือสถานที่ที่เก็บรวบรวมมา ตามลักษณะรูปพรรณสัณฐานที่พบ ตามจังหวัดตามชื่อคน ชื่อดอกไม้ ผลไม้ สัตว์ สิ่งของ และชื่อที่บ่งบอกความหมายเป็นต้น (ฉวีวรรณ วุฒิญาโณ, 2543)

3.8.2 ข้าวพันธุ์ดี (high yield varieties) เป็นข้าวที่ทางราชการได้ปรับปรุงและขยายพันธุ์ออกเผยแพร่สู่เกษตรกร ข้าวพันธุ์ดีโดยทั่วไป หมายถึง พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีความต้านทานโรคและแมลงดี มีอายุ พอเหมาะ สามารถปรับตัวเองเข้ากับสภาพท้องที่ที่ปลูกได้ดี มีเมล็ดได้มาตรฐาน มีคุณภาพหุงต้มดี ข้าวพันธุ์ดีอาจเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่นักวิชาการคัดเลือกมาจากพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรปลูกอยู่มาคัดเลือกและทดสอบลักษณะต่างๆที่ต้องการ แล้วคัดไว้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหรืออาจเป็นพันธุ์ข้าวที่ผสมพันธุ์ขึ้นมาใหม่แล้วทำการคัดเลือกและคัดลักษณะที่ต้องการไว้หลายชั่วอายุ จนพันธุกรรมคงที่ไม่กระจายตัว แล้วนำไปเปรียบเทียบผลผลิต ถ้าผลผลิตดีและลักษณะอื่นๆ ที่ต้องการดีตามจุดมุ่งหมายก็นำออกส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก (ประณีต จิระสุทัศน์, 2531)

4. คุณภาพของข้าว

4.1 คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่างๆ ของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา หรือชั่ง ตวง วัดได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด (grain weight) สีข้าวกล้อง (pericarp color) สีข้าวเปลือก (hull color) ขนาดรูปร่างเมล็ด (grain dimension) ลักษณะท้องไข่ (chalkiness) ความใสของเมล็ด (grain translucency) ความขาวของข้าวสาร (whiteness of milled rice) และคุณภาพการสี (milling quality) (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

4.1.1 น้ำหนักเมล็ด เป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุด และควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่ น้ำหนักเมล็ดจะแปรไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ยและสภาพภูมิอากาศก็มีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดด้วย จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก

100 เมล็ดของพันธุ์ข้าวไทยจำนวน 344 พันธุ์ พบว่ามีน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง 1.16 - 4.17 กรัม ข้าวพันธุ์ดีของไทยที่รัฐบาลส่งเสริมให้ปลูกจะมีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดระหว่าง 2.25 - 3.67 กรัม (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534) น้ำหนักเมล็ดสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

4.1.1.1 น้ำหนักต่อปริมาตร ประเมินเป็นกรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อถัง

4.1.1.2 น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด ประเมินเป็นน้ำหนัก 100 เมล็ด หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

Webb (1980) กล่าวว่า น้ำหนักเมล็ด หมายถึง น้ำหนักเป็นกรัมของเมล็ดข้าว 100 หรือ 1,000 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ถ้าเป็นข้าวเปลือกเมล็ดสั้นในจำนวน 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 20 - 23 กรัม และข้าวกล้องเมล็ดสั้น 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 16 - 20 กรัม ส่วนข้าวขัดขาวเมล็ดสั้น 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 15 - 18 กรัม ในขณะที่ข้าวเปลือกข้าวกล้องและข้าวขัดขาวเมล็ดปานกลาง 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 23 – 25, 18 - 22 และ 17-21 กรัม ตามลำดับสำหรับข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขัดขาวเมล็ดยาว 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 26 – 30, 22 - 24 และ 20-23 กรัม ตามลำดับ

4.1.2 สีข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งมีส่วนในการตั้งชื่อพันธุ์ในอดีต เช่น ขาวพวง ขาวนางเนย เนื่องจากมีเปลือกสีฟางหรือสีขาว เหลืองหอม เหลืองข้างรั้ว เนื่องจากมีเปลือกสีน้ำตาลหรือสีเหลือง เป็นต้น เปลือกเมล็ดข้าวจะมีผลต่อสีของข้าวสารนึ่ง คือ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีสีเข้ม ข้าวสารนึ่งก็จะมีสีเข้มด้วย สีข้าวเปลือกที่พบจะมีสีขาว (white) ฟาง (straw) น้ำตาลอ่อนถึงเข้ม (light to dark brown) ร่องน้ำตาล (brown furrow) กระน้ำตาล (brown spot) น้ำตาลแดง (reddish brown) ม่วง (purple) และดำ (black) เป็นต้น (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

4.1.3 สีข้าวกล้อง เกิดจากสารสีที่เยื่อหุ้มผล (pericarp) ส่วนเนื้อในเมล็ดของข้าวทุกชนิดมีสีขาวเสมอ จากการสำรวจพันธุ์ข้าวต่างๆ ในธนาคารเชื้อพันธุ์ข้าวของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี พบว่าข้าวกล้องมี 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ (ม่วง) ส่วนใหญ่มีสีขาวข้าวกล้องที่มีสีแดงและม่วง มีสารสีพวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin pigment) ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดร้านานหรือใช้แรงกดมากเพื่อทำให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออกเป็นผลทำให้ข้าวหักมากมีปริมาณข้าวสารน้อย ดังนั้นข้าวกล้องที่มีสีอ่อนจึงเป็นที่นิยม เช่น สีขาวหรือน้ำตาล (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

4.1.4 ขนาดรูปร่างเมล็ด หมายถึง ความยาว ความกว้าง ความหนา และความป้อมหรือเรียวของเมล็ด ข้าวพวกอินดิคาจะมีรูปร่างเมล็ดเรียว ค่อนข้างป้อม ข้าวพวก จาวานิคามีเมล็ดกว้างและหนา ส่วนข้าวพวกจาปอนิคามีเมล็ดสั้น และกลม (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

4.1.5 ลักษณะท้องไข่ หมายถึง จุดขาวขุ่นคล้ายชอล์กที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ด เป็นลักษณะที่เกิดจากการจับตัวอย่างหลวมๆ ของเม็ดสตาร์ช (starch granule) กับเม็ดโปรตีน (protein body) ในเนื้อเมล็ดลักษณะนี้ควบคุมโดยพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ลักษณะท้องไข่

เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพและราคาของข้าว ข้าวที่เป็นท้องไข่มากเมื่อนำไปสีจะมีข้าวหักมากและไม่เป็นข้าวเกรดสูง เช่น ข้าวร้อยละ 100 เพราะข้าวเกรดสูงจะมีท้องไข่ได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ข้าวท้องไข่มีชื่อเรียกต่างๆกัน เช่น ข้าวท้องปลาซิว ข้าวทองขาวหรือข้าวจ๊อกกี้ เป็นต้น (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

การเกิดท้องไข่อาจเกิดได้หลายตำแหน่ง เช่น (งามชื่น คงเสรี, 2542)

White belly	เกิดทางด้านข้าง หรือด้านท้อง หรือด้านเดียวกับคัพภะ
White center	เกิดที่ใจกลางเมล็ด
White back	เกิดทางด้านหลังหรือด้านตรงข้ามคัพภะ

ลักษณะการเป็นท้องไข่	**ค่าท้องไข่**
เป็นน้อย (Slightly chalky – Sch)	ไม่เกิน 1
เป็นปานกลาง (Moderately chalky – Mch)	1 - 1.5
เป็นค่อนข้างมาก (Chalky – Ch)	1.6 - 2.0
เป็นมาก (Very chalky – Vch)	2.1 ขึ้นไป

4.1.6 ความใสของเมล็ด ความใสหรือขุ่นของเมล็ด หมายถึง ความทึบแสง (opaque) หรือความใส (translucence) ของเนื้อเมล็ด ซึ่งจะสังเกตความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า ส่วนในเมล็ดข้าวเหนียวจะมีลักษณะขุ่นอย่างเดียว (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

4.1.7 ความขาวของข้าวสาร ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี (degree of milling) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดเกรดของข้าว อายุการเก็บข้าว โดยข้าวที่เก็บไว้ นานๆ จะมีสีคล่ำเก่าข้าวใหม่ นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวสารที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล่ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

4.1.8 คุณภาพการสี ปริมาณข้าวสารและต้นข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพการสี ซึ่งการทดสอบมีขั้นตอน ดังนี้

1. ทำความสะอาดข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องเป่า
2. กะเทาะเปลือกออกโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกข้าวและแยกแกลบออก
3. ขัดข้าวกล้องเป็นข้าวสารโดยใช้เครื่องสีขนาดเล็กจะได้ข้าวสาร
4. แยกหาปริมาณต้นข้าวและข้าวหักด้วยเครื่องแยกเมล็ดและคัดด้วยมือซ้ำอีกครั้ง

การตรวจสอบคุณภาพการสีมักกระท้าเมื่อได้ข้าวสายพันธุ์ดีเด่น ซึ่งมีลักษณะคงที่และข้อมูลที่ได้น้าไปใช้ประกอบการพิจารณาพันธุ์ในการคัดข้าวเปลือกข้าวส่วนใหญ่มี ปริมาณแกลบประมาณร้อยละ 20 – 22 ปริมาณแกลบของข้าวพันธุ์ ต่างๆ อาจแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 18 - 26 ปริมาณรำถูกขัดออกประมาณร้อยละ 8 - 10 ที่เหลือเป็นข้าวสารประมาณร้อยละ 70 ในส่วนของข้าวสารจะมีต้นข้าว (เมล็ดที่มีขนาดยาวกว่า 8/10 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ด) และข้าวหักปนอยู่ ข้าวที่มีคุณภาพการสีดีควรสีได้ต้นข้าวไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 - 50 ขึ้นไป พันธุ์

ข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาว หรือเมล็ดยาวที่มีรูปร่างป้อมและเมล็ดมีท้องไข่มาก มักมีต้นข้าวต่ำเมื่อผ่านการสี เช่น พันธุ์ข้าวขึ้นน้ำส่วนใหญ่มีท้องไข่มากและมีคุณภาพการสีต่ำ นอกจากนี้พันธุ์ข้าวที่มีรูปร่างเมล็ดผิดปกติ เช่น ปลายแหลมมากมีคัพภะหรือจมูกข้าวใหญ่จะหักง่ายในระหว่างการสี พันธุ์ข้าวที่มีเปลือกบางย้อมสีได้ข้าวสารมาก การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การนวด การตากแห้งที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไปก็ทำให้ เมล็ดข้าวร้าวก่อนสีและทำให้คุณภาพการสีต่ำ การสีข้าวที่มีความชื้นสูงก็ท้าให้เมล็ดหักง่ายเช่นกัน (งามชื่น คงเสรี, 2542)

4.2 คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวได้ แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้าและเส้นใยอาหาร มีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร

4.2.1 ไขมัน

ปริมาณไขมันในส่วนต่างๆของข้าวจะมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) จะเห็นว่าข้าวกล้องมีปริมาณไขมันมากกว่าข้าวขัดขาว กล่าวคือ ไขมันจะอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด ดังนั้นจะเห็นจากปริมาณไขมันปริมาณไขมันในร่ำมีสูงถึงร้อยละ 18.3 ข้าวกล้องมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 3 คล้ายคลึงกับธัญชาติอื่นๆ ไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในอยู่ในส่วนด้านนอกหรือบริเวณเยื่อหุ้มของเมล็ดมากกว่าส่วนด้านในใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีทำให้ข้าวขัดขาวเหลือไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.3 - 0. 5 (Hoseney, 1986) ปริมาณของไขมันที่พบในข้าวแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์ เนื่องมาจากปัจจัยทางพันธุกรรม สิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกและกระบวนการขัดสี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณไขมันต่างๆ ที่พบในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว

ชนิดไขมัน	ปริมาณไขมันในส่วนต่างๆของเมล็ดข้าว				
	แกลบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดข้าว	รำ	คัพภะ
ปริมาณไขมันทั้งหมด (wt%)	0.4	2.7	0.8	18.3	30.2
ชนิดกรดไขมัน (wt%)					
ปาล์มมิติก	18	23	33	23	24
โอเลอิก	42	35	21	37	36
ไลโนเลอิก	28	38	40	36	37
อื่นๆ	12	4	6	4	3

ที่มา : Juliano (1977)

สำหรับในสตาร์ชข้าวไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาร์ช 3 ลักษณะ คือ ไขมันอยู่ชิดกับโปรตีน ซึ่งอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอกหรืออาจอยู่รวมกับโครงสร้างอะไมโล-เพคตินสายนอก เช่น สาย A หรือ B ส่วนผิวของเม็ดสตาร์ชลักษณะที่สองไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช

โดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ชและลักษณะที่สามอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชแต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (Morrison, 1988)

ตารางที่ 3 ปริมาณไขมันที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบข้าวขัดขาวบางชนิด

พันธุ์ข้าว	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ขาวดอกมะลิ	2.38	0.25
ปทุมธานี	2.29	0.21
สังข์หยดพัทลุง	2.18	0.10
เล็บนกปัตตานี	2.56	0.42
เฉี้ยงพัทลุง	2.42	0.27
เหนียวแพร	2.84	0.38
เหนียวสันป่าตอง	2.39	0.33

ที่มา : กรมการข้าว (2550)

ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่ คือ ไตรกลีเซอไรด์รองลงมาคือ ฟอสฟอลิปิด ไกลโคไลปิด และเทอร์พีนอยส์ ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบโมโนแอซิลซึ่งกลุ่มของโมโนแอซิลจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าสำหรับไขมันภายในเม็ดสตาร์ชและสตาร์ชยังมีไลโซเล-ซิทินและกรดไขมันอีกด้วย (Henry and Kettlewell, 1996)

ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดสตาร์ชจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของสตาร์ช โดยเฉพาะความสามารถในการพองตัวการละลายและการจับตัวกับน้ำของสตาร์ช เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียกไขมันจะรวมตัวกับอะไมโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฉื่อย ทำให้ แป้งเปียกทึบแสง ขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้ง ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

Hibi *et al*. (1990) ศึกษาผลของไขมันต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ชในข้าวหุงสุกและระหว่างการเก็บรักษาข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชข้าวที่ผ่านการหุงแล้วเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นแบบ V-Type ต่างจากลักษณะ A-Type ของข้าวที่ไม่ได้หุงสุกซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรวมตัวกันของอะไมโลสกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เมื่อเก็บรักษานานขึ้นตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสตาร์ชจาก V-Type ไปเป็นแบบ B-Type ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดรีโทรกราเดชั่นของสตาร์ชเกิดขึ้นจากการคลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับอะไมโลส

4.2.2 โปรตีน

โปรตีนพบมากในส่วนที่เป็นเอมบริโอมีอยู่ประมาณร้อยละ 8.3 - 9.6 ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำแต่มีคุณภาพสูงกว่าโปรตีนในธัญพืชชนิดอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ดีและเป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย โปรตีนที่พบแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ตามคุณสมบัติการละลายในตัวทำละลาย ได้แก่ ออริเซนิน (Oryzenin) คือโปรตีนที่สามารถละลายได้ในตัวละลายด่างเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในข้าว (ร้อยละ 80 - 85) อัลบลูมิน (Albumin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ โกลบูลิน (Globulin) เป็นโปรตีนละลายในแอมโมเนียมซัลเฟต และโพรลามิน (Prolamin) คือโปรตีนที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ (กุณฑลิยา ครุฑกะ, 2544)

ปริมาณของโปรตีนที่พบในข้าวแต่ละชนิดจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์เนื่องมาจากปัจจัยทางพันธุกรรม สิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกและกระบวนการขัดสี จะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงเพราะโปรตีนส่วนมากจะพบที่ผิวของเมล็ดข้าวและอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนมาก ซึ่งจะเกิดการสูญเสียในระหว่างการขัดสี จึงพบปริมาณโปรตีนในข้าวขัดขาวต่ำกว่าในข้าวกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด

พันธุ์ข้าว	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ขาวดอกมะลิ	7.16	6.27
ปทุมธานี	8.44	7.08
สังข์หยดพัทลุง	7.41	6.72
เล็บนกปัตตานี	7.20	6.32
เฉี้ยงพัทลุง	7.08	6.37
เหนียวแพร	7.08	5.35
เหนียวสันป่าตอง	7.08	5.55

ที่มา : กรมการข้าว (2550)

ภายในเม็ดสตาร์ชจะมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยโปรตีนจะเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของเม็ดสตาร์ช คือ ทำให้ เกิดประจุบนผิวของเม็ดสตาร์ช มีผลต่อการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัวและอัตราการเกิดเจลาทิไนเซชั่นต่างกันออกไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

Chrastil (1990) ทดลองหาอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนออริซานินกับสตาร์ชข้าวในขณะเก็บรักษา พบว่าความเหนียวของข้าวหุงสุกมีผลมาจากการเกาะเกี่ยวกันของออริซานินกับโมเลกุลสตาร์ชทั้งในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยทดลองในลักษณะระบบจำลองจากการสกัดสตาร์ช อะไมโลส และสตาร์ชที่ปราศจากออริซานินแล้วเติมออริซานิน

เปรียบเทียบลักษณะที่เติมกับไม่เติม เปรียบเทียบกับข้าวปกติที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 และ 40 องศา-เซลเซียส พบว่ามีความสัมพันธ์ กับโปรตีนและความเหนียวของข้าว โดยในโครงสร้างของโปรตีนส่วนที่มีพันธะซัลไฟด์คู คือซิสทีนที่เกาะเกี่ยวกับเม็ดสตาร์ชจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้ความหนืดต่ำความเหนียวลดลงปริมาณโปรตีนมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าว กล่าวคือ ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงดูดซึมน้ำได้ช้ากว่าเนื่องจากโปรตีนที่อยู่รอบโมเลกุลของสตาร์ชจะขัดขวางการดูดซึมน้ำดังนั้นการดูดซึมน้ำจึงเกิดอย่างช้าๆ นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนสูงยังทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2536; น้ำฝน ศีตะจิตต์, 2548) และนอกจากนี้ปริมาณโปรตีนยังมีความสำคัญกับความเหนียวของข้าว คือ ในระหว่างการหุงต้มข้าวทำให้โปรตีนออริเซนิน (Oryzenin) และสตาร์ชบางส่วนถูกทำลาย ซึ่งทั้งสองส่วนนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกันได้เกิดโปรตีนออริเซนินกับสตาร์ชมากทำให้มีความเหนียวมาก แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นานความสามารถในการเกิดพันธะระหว่างโปรตีนออริ-เซนินกับสตาร์ชลดลง ทำให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียวลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน (Ramesh *et al.*, 2000)

4.2.3 คาร์โบไฮเดรต

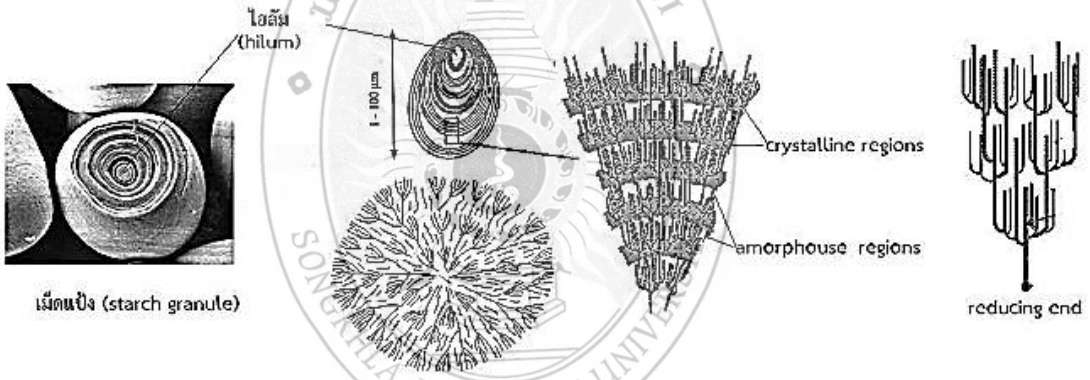
คาร์โบไฮเดรตในข้าวพบอยู่ในรูปสตาร์ช น้ำตาล เซลลูโลส และเฮมิ-เซลลูโลสโดยคาร์โบไฮเดรตที่พบส่วนมากอยู่ในรูปของสตาร์ชประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักแป้งสตาร์ชจะประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นหน่วยย่อยที่สำคัญ

4.2.3.1 สตาร์ช

สตาร์ช ชั้นในเมล็ดนี้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักคือ สตาร์ชโดยมีอยู่ถึง 90% ในรูปเมล็ดสตาร์ชข้าวซึ่งมีรูปทรงหลายเหลี่ยมอัดแน่นรวมกันเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ชขนาด 3-9 ไมครอนหรือเดี่ยว ขนาด 2-4 ไมครอน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสและเป็นโฮโมพอลิ- แซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ภายในเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูแคน 2 ชนิดผสมกัน คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกติน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

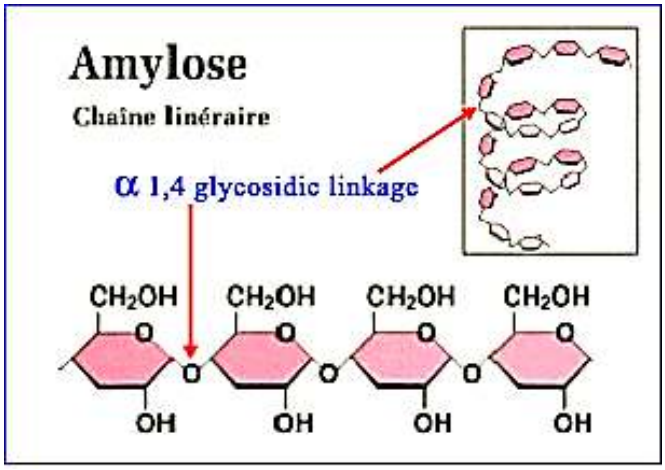
ภาพที่ 2 รูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากข้าว
ที่มา : Cheng และ Lai (1991)



ภาพที่ 3 แบบจำลองภายในของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากข้าว
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ (2557)

4.2.3.2 อะไมโลส

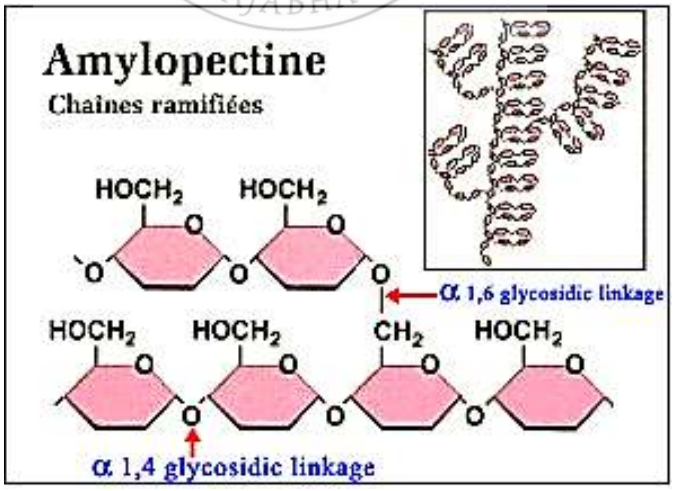
อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา-1,4-กลูโคซิดิก (α-1,4-glucosidic linkage) ดังภาพที่ 4 สตาร์ชแต่ละชนิดมีระดับพอลิเมอร์ไรเซชัน (degree of polymerization : DP) ของอะไมโลสต่างกัน โครงสร้างของอะไมโลสอยู่ในเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว (Whistler and Daniel, 1984)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของอะไมโลส
ที่มา : สืบค้นจาก science.srru.ac.th (2557)

4.2.3.3 อะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4- กลูโคซิดิก และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีระดับพอลิเมอร์ไรเซชันอยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิก หน่วยกลูโคสที่มีพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิกมีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกทินทั้งหมด ดังภาพที่ 5



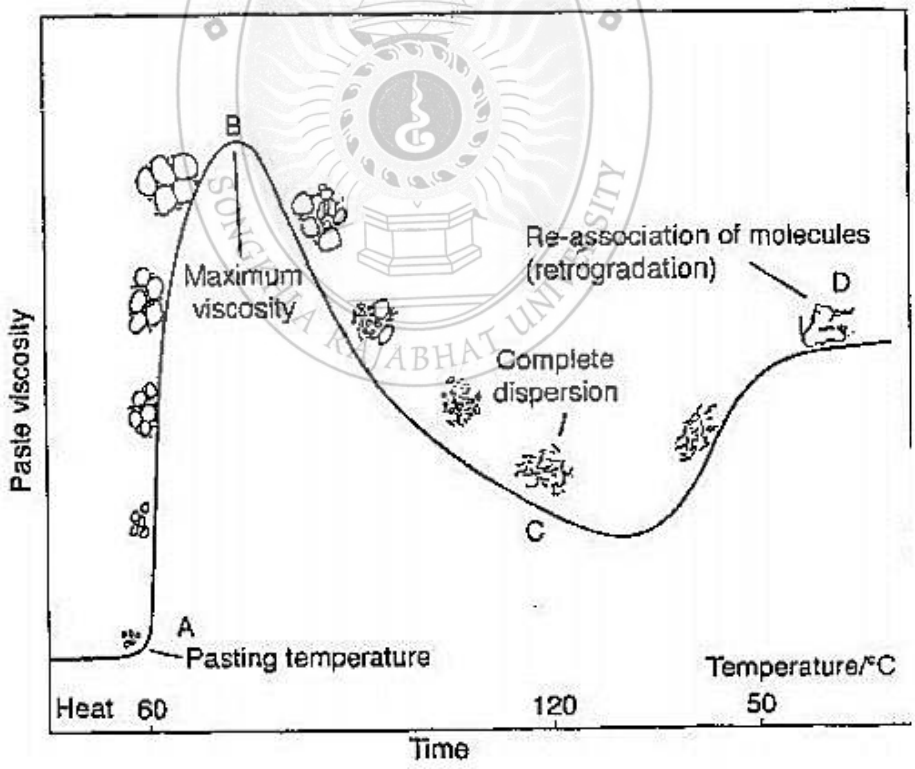
ภาพที่ 5 โครงสร้างอะไมโลเพกติน
ที่มา : สืบค้นจาก science.srru.ac.th (2557)

โครงสร้างของอะไมโลเพกทินส่วนหนึ่งแสดงลักษณะที่เป็นผลึก (crystallite region) ส่วนที่สองแสดงลักษณะอสัณฐาน (amorphous region) โดยมีอะไมโลสอยู่ในทั้งสภาพอิสระ สภาพที่อยู่ร่วมกับลิพิด และอยู่ร่วมกับอะไมโลเพกทินเป็นเกลียว

5. การเปลี่ยนแปลงของข้าวเมื่อได้รับความร้อน

5.1 การเกิดเจลาทิไนซ์

เจลาทิไนเซชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารละลายสตาร์ชได้รับความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) คือพันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัวดูดน้ำและพองตัว ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดและใสขึ้น ความหนืดที่เปลี่ยนไปสามารถวิเคราะห์ได้ด้วย เครื่องวัดความหนืดของแป้ง (Brabender Visco Amylograph), เครื่องวัดพฤติกรรมทางด้านความข้นหนืดและการคืนตัวกลับของแป้ง (Rapid Visco Analyzer) และเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถผันกลับได้สตาร์ชจะสูญเสียความสามารถในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ และสูญเสียความเป็นผลึก (Slade and Levine, 1988) อุณหภูมิที่สารละลายนี้เริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเจลาติไนซ์



ภาพที่ 6 การเกิดเจลาทิไนซ์
ที่มา : สืบค้นจาก www.foodnetworksolution.com (2557)

5.2 อุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน

การตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันของเมล็ดข้าวทำได้ด้วยการวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (กรมการข้าว, 2552) และด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ใช้ ในการเกิดเจลาทิไนเซชันด้วยเครื่อง DSC ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลง (Onset, T_o) ค่าอุณหภูมิสูงสุด (Peak, T_p) ค่าอุณหภูมิสุดท้าย (Endset, T_c) และค่าพลังงานเอลทาลปี (Enthalpy) ของการเกิดเจลาทิไนเซชัน ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน เช่น การจัดเรียงตัวและความแข็งแรงของโมเลกุลของสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมีนอกจากนี้สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินและปริมาณฟอสฟอรัสก็มีผลต่อการเกิดเจลาทิไนเซชันด้วย (Tester, 1997) แต่พบว่าขนาดโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินไม่มีผลต่อค่าพลังงานเอนทาลปีในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (Chiang and Yeh, 2002) อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งจะแตกต่างกับสตาร์ชโดยที่สตาร์ชมีค่า T_o, T_p, และ T_c ต่ำกว่าของแป้งเนื่องจากแป้งมีองค์ประกอบทางเคมี เช่น ไขมันและโปรตีนสูงกว่าสตาร์ช แต่สตาร์ชมีค่าเอนทาลปีสูงกว่าของแป้ง

Normand และ Marshall (1989) ศึกษาการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของเมล็ดข้าวและแป้งข้าวด้วย DSC พบว่าเมล็ดข้าวจะแสดงการเปลี่ยนแปลงการดูดความร้อนสองครั้ง โดยในครั้งแรกเกิดในช่วงอุณหภูมิ 60 -70 องศาเซลเซียส พีคที่ได้จะเล็กและแคบ ช่วงที่สองเกิดที่ 80 - 90 องศาเซลเซียส พีคที่ได้จะใหญ่กว่าแต่แป้งข้าวจะดูดความร้อนเพียงครั้งเดียวเนื่องจากโครงสร้างไม่สมบูรณ์ เพราะโครงสร้างบางส่วนของแป้งข้าว เช่น ผนังเซลล์ถูกทำลายในระหว่างการบดแห้งดังนั้นค่าเอนทาลปีในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของเมล็ดข้าวสูงกว่าแป้งข้าวประมาณร้อยละ 40

Li และ Yeh (2001) ศึกษาการพองตัวของสตาร์ชจากธัญพืชจากรากและหัวในช่วงอุณหภูมิจาก 55 – 95 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีการพองตัวสูงสุด สตาร์ชข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูงมีการพองตัวต่ำสุดและพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งสตาร์ชสาคูและสตาร์ชข้าวโพดเหนียวมีการพองตัวสูงถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเริ่มลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น

Noosuk *et al*. (2003) ศึกษากำลังในการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ข้าวไทยพันธุ์ กข6 พันธุ์หอมมะลิ และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (กข6) มีกำลังในการพองตัวสูงที่สุด (ร้อยละ 33.54 - 34.92) และมีความสามารถในการละลายต่ำ (ร้อยละ 6.00 - 8.50) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ อื่น กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหล่านั้นลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการละลายมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสลดลง การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเป็นผลเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย จากนั้นโมเลกุล ของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ การมีปริมาณอะไมโลสในปริมาณมากช่วยเสริมให้อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระในสายโมเลกุลของสตาร์ชมีค่าลดลงและทำให้การพองตัวของ

เม็ดสตาร์ชต่ำลง แต่สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงก็จะมีปริมาณอะไมโลส ที่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ชสูงด้วย

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และคณะ (2546) ศึกษาการเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชข้าวไทยจำนวน 16 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ105 ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 90 เหลืองประทิว 123 กข 23 กข 6 เหนียวสันป่าตอง พิษณุโลก 1 สุพรรณบุรี 1 พิษณุโลก 2 เฉี้ยงพัทลุง สังข์หยด ขาวห้าร้อย กข 15 และเจ๊กเชย ด้วยเครื่อง DSC ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชข้าวให้ผลสอดคล้องกับอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ที่ตรวจสอบด้วยเครื่อง Rapid visco-analyzer (RVA) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาทิไน-เซชันของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะสูงกว่าในสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เพราะโครงสร้างของอะไมโลสในสตาร์ชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้ โมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเกลียวม้วน ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงส่งผลให้ เกิดเจลาทิไนเซชันที่อุณหภูมิสูงกว่า

ดังนั้นสตาร์ชข้าวแต่ละชนิดจึงมีเจลาทิไนเซชันต่างกัน ดังตารางที่ 5 จะเห็นว่าข้าวเหนียวมี T_o ที่ต่ำกว่าข้าวเจ้าคืออยู่ในช่วง 49.00 - 67.29 องศาเซลเซียส ในขณะที่ข้าวเจ้ามี T_o อยู่ในช่วง 66.00 - 66.84 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันมีความสำคัญต่อการแปรรูปข้าว

ตารางที่ 5 อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชข้าวบางชนิด

พันธุ์ข้าว		T_o (C^o)	T_p (C^o)	T_c (C^o)	H (J/g)	อ้างอิง
Waxy rice	RD 6	60.74	67.75	74.32	14.15	Lumdubwong *et al*., (2005)
	RD 8	62.43	67.75	74.62	14.40	Lumdubwong *et al*., (2005)
	HY 71	61.30	66.58	73.77	16.50	Lumdubwong *et al*., (2005)
	SMJ	61.58	67.62	74.26	16.53	Lumdubwong *et al*., (2005)
	PR 103	67.29	71.94	78.04	11.88	Sodhi and Singh (2003)
	IR 65	49.00	67.60	84.70	15.00	Sodhi and Singh (2003)
	IR 29	52.00	68.50	83.70	13.80	Tester and Morrisson (1990)
	MalagkitSungsong	51.00	67.60	85.30	14.40	Tester and Morrisson (1990)
	Inilang-ilang	65.00	76.70	90.50	17.20	Tester and Morrisson (1990)
	Perurutong NBA	64.00	77.20	93.50	18.40	Tester and Morrisson (1990)
	Nathasiq	64.70	78.80	93.50	17.80	Tester and Morrisson (1990)
Non waxy rice	PR 114	66.38	70.09	74.75	8.97	Sodhi and Singh (2003)
	IR 8	66.33	69.74	74.08	8.55	Sodhi and Singh (2003)
	PR 113	66.00	69.75	75.08	9.49	Sodhi and Singh (2003)
	PR 106	66.84	70.07	74.27	8.16	Sodhi and Singh (2003)

5.3 การเกิดรีโทรกราเดชัน

การเกิดรีโทรกราเดชั่นหรือการคืนตัวเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุลอะไมโลส หลังจากผ่านการเกิดเจลาทิไนซ์แล้วสายโมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่และยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (Zhou *et al*., 2002) เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีกมีความคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือ การคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้นโมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า ซินเนอรีซีส (Syneresis) ปรากฏการณทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของสตาร์ชเมื่อลดอุณหภูมิของสารละลายลงอย่างช้าๆจะเกิดตะกอน แต่ถ้าลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจล

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน ได้แก่ ปริมาณอะไมโลสปริมาณน้ำและอุณหภูมิ โดยปริมาณและขนาดอะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีความสำคัญต่อการคืนตัวของสตาร์ช สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีอะไมโลสต่ำ เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงเกิดการเชื่อมต่อกันได้ง่ายกว่า จนเป็นโครงสร้างที่หนาแน่นเป็นเจลหรือตะกอน (สุนันทา ทองทา, 2549) ปริมาณน้ำในเจลของสตาร์ชมีความสำคัญมากต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งการเกิดในเจลของสตาร์ชจะเกิดขึ้นได้ในเจลที่ประกอบด้วยสตาร์ชระหว่างร้อยละ 10 - 80 และเกิดสูงสุดในเจลที่ประกอบด้วยสตาร์ชร้อยละ 50 - 55 (Eliasson และ Gudmundsson, 1996)

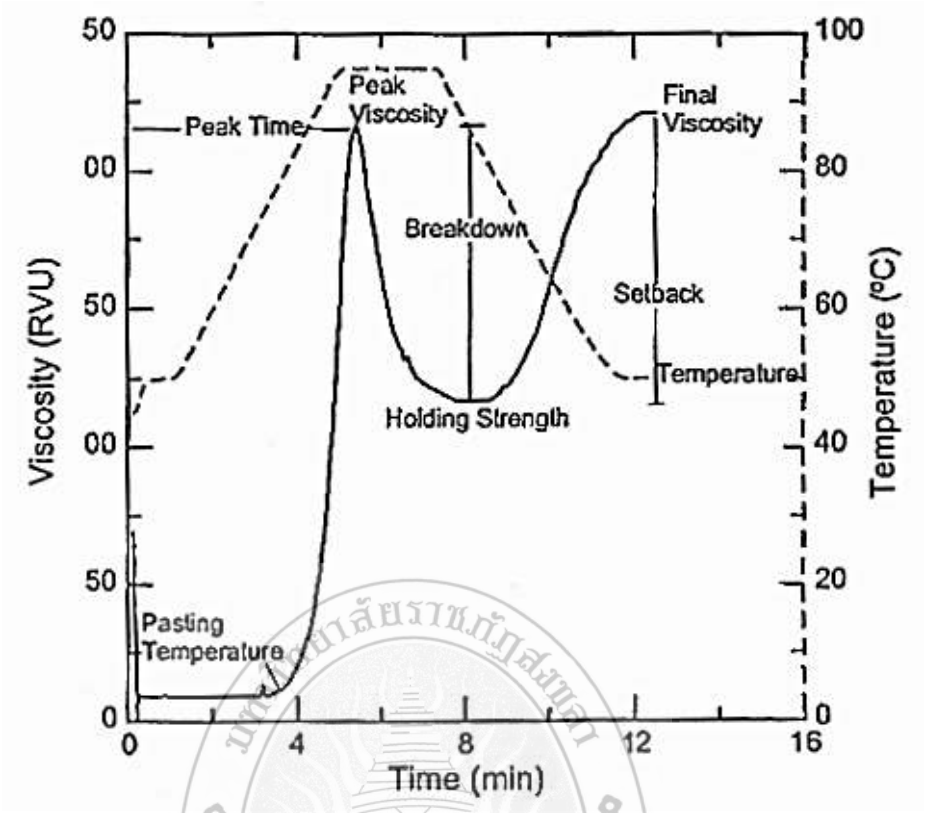
Kim *et al*., (1997) ศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นของแป้งต่างกันคือร้อยละ 10 และ 50 เป็นเวลา 1, 3 และ 6 วัน ด้วยเครื่อง DSC พบว่าแป้งข้าวที่มีความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 50) มีค่าการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าแป้งที่มีความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 10) และแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าและเร็วกว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการรับประทานของข้าว เนื่องจากข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำและยังมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการแปรรูปอีกด้วยเพราะสตาร์ชที่มีอะไมโลสสูง จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสามารถในการคืนตัวมากขึ้น ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง

Vandeputte *et al*., (2003) ศึกษาผลของโครงสร้างของอะไมโลเพคตินต่อการเกิดรีโทรกราเดชันและเนื้อสัมผัสของเจลจากสตาร์ชข้าว ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยข้าวเหนียวที่มี T_p ต่ำจำนวน 5 พันธุ์ ข้าวเจ้าที่มี T_p ต่ำ 3 พันธุ์ ข้าวเจ้าที่มี T_p ปานกลาง 4 พันธุ์ และข้าวเจ้าที่มี T_p สูงจำนวน 3 พันธุ์ตรวจระดับการเกิดรีโทรกราเดชันด้วย DSC และเนื้อสัมผัสของเจล (ตัวอย่างเข้มข้นร้อยละ 8) ผลการทดลองพบว่าการเกิดรีโทรกราเดชันและเนื้อสัมผัสของเจลมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอะไมโลสบริสุทธิ์ (AAM) อะไมโลสอิสระ (FAM) อะไมโลสไลปิดคอมเพล็กซ (LAM) และความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคติน ตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ (Ambient) จะมีการเกิดรีโทรกราเดชันที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณ AAM และ FAM แต่การเก็บ

รักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบว่าการเกิดรีโทรกราเดชันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ AAM และ FAM นอกจากนี้ปริมาณของ LAM มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดรีโทรกราเดชัน เนื่องจากการเกิดผลึกใหม่ร่วมกันระหว่างไขมันกับอะไมโลสสตาร์ช ข้าวที่มีองค์ประกอบของสายอะไมโลเพคตินในช่วง DP 6 - 9 และ DP > 25 จะส่งผลให้การเกิดรีโทรกราเดชันต่ำลง ในขณะที่สายของอะไมโลเพคติน เท่ากับ DP 12 - 22 จะสนับสนุนการเกิดรีโทรกราเดชัน ผลการศึกษาเนื้อสัมผัสของเจลพบว่าความแน่นเนื้อและความแข็งของเจลมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความยืดหยุ่นลดลงเมื่อมีปริมาณของ AAM และ FAM เพิ่มขึ้นและขนาดของอะไมโลเพคตินไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของเจล

5.4 ความหนืดของแป้ง (Viscoamylograph)

อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดของแป้งสุกสามารถวัดโดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งแสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อน เมื่อให้ความร้อนเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ความหนืดเริ่มต้นเพิ่มขึ้นความหนืดจะสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เรียกความหนืดที่จุดสูงสุดนี้ว่า peak viscosity แสดงถึงความสามารถในการรวมตัวของน้ำแป้งเอง อะมิโลเพคตินมีความสามารถรวมตัวกับน้ำสูงปัจจัยที่มีผลต่อ peak viscosity ได้แก่ อายุการเก็บรักษา (Aging) ปริมาณโปรตีน และปริมาณอะมิโลส โดยทั่วไปแป้งจากข้าวจะมี peak viscosity ต่ำกว่าแป้งอย่างอื่น ยกเว้นแป้งข้าวเหนียว (waxy starch) หลังจากเกิด peak viscosity แล้วความหนืดจะลดลงเนื่องจากการแตกตัวของเม็ดแป้ง อะมิโลสจะถูกปล่อยออกมากับสารละลาย และอาจมีบางส่วนที่เป็นอะมิโลเพคตินด้วย ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่ ขั้นสลายตัวหรือเรียกว่า breakdown ค่า breakdown มีความสัมพันธ์กับอะมิโลส เมื่อเข้าสู่ระยะการทำให้น้ำแป้งเย็นตัวลง ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีกเป็นความหนืดที่เกิดจากโครงสร้างของแป้งที่เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (retrogradation) ช่วงอุณหภูมิทีแป้งคืนตัวเรียกว่า setback ส่วน peak viscosity มีหน่วยเป็น RVU ค่านี้สามารถใช้ในการคาดคะเนความแข็งกระด้างของข้าวสุกได้อัตราส่วนระหว่างอะมิโลสต่ออะมิโลเพคตินมีผลต่อการเกิด setback เมื่อระดับอะมิโลสสูงทำให้ setback สูงขึ้นตาม (Leach *et al*., 1959 ; จารนัย พาณิชย์กุล, 2537) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
ที่มา : จารนัย พาณิชย์กุล (2537)

5.6 ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว

ปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีสำคัญต่อคุณภาพเมล็ดข้าวทั้งทางตรงและทางอ้อม คือปริมาณความชื้นของข้าวทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสาร ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญในการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งบอกถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อและผู้ขายเกี่ยวข้องกันโดยตรงในการกำหนดราคาซื้อ - ขาย และในทางอ้อมนั้นความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าวหรือบ่งบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

Juliano (1985) ได้ทำการทดลอง พบว่าข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำระดับความชื้นของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 13 ซึ่งจะเก็บรักษาได้ดีภายในเวลา 6 เดือน และถ้าข้าวมีความชื้นร้อยละ 12 จะทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น นอกจากนี้ความชื้นของข้าวยังมีผลต่อคุณภาพการสีของข้าวเปลือกโดยเป็นปัจจัยสำคัญตั้งแต่การเก็บเกี่ยวข้าวความชื้นที่เหมาะสม (ร้อยละ 22 - 26) การตากข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้นลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา (ความชื้นไม่สูงกว่าร้อยละ 14) จนถึงเวลาการสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นที่เหมาะสมก็จะทำให้ข้าวที่เต็มเมล็ดสูงและหักน้อย

6. ข้าวนึ่ง

6.1 ข้าวนึ่ง (Parboiled rice)

ข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำและอบแห้งด้วยความร้อนและทำให้แห้งก่อนการสี ข้าวที่นิยมนำมาทำข้าวนึ่ง คือ ที่ลักษณะเรียวยาวเนื่องจากน้ำและความร้อนสามารถเข้าถึงใจกลาง Endosperm ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้กระบวนการแช่และให้ความร้อนทำได้ง่ายและรวดเร็ว วิธีดังกล่าวจะมีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวทั่วไป เนื่องจากสารอาหารที่อยู่บริเวณผิวของเมล็ดละลายน้ำซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าวระหว่างขั้นตอนการผลิตข้าวนึ่ง ข้าวนึ่งเป็นที่นิยมมากในประเทศอินเดีย ปากีสถาน บังคลาเทศ อัฟริกา และประเทศทางตะวันออกกลาง ประเทศไทยมีการทำข้าวนึ่งมาช้านานแล้วโดยส่งออกเป็นสินค้าออกปีละหลายแสนตันเพราะความต้องการของตลาดโลกสูง ข้าวนึ่งเป็นกระบวนการให้ความร้อนแบบชื้น (Hydrothermal) ซึ่งทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชภายในเมล็ดข้าวเปลี่ยนรูปจากผลึก (Crystalline form) ให้เป็นรูปอสัณฐาน (Amorphous form) อันเป็นผลมาจากการพองตัวแบบย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible swelling) และการเชื่อมกัน (Fusion) ของเม็ดสตาร์ช (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

7. คุณภาพของข้าวนึ่ง

คุณภาพของข้าวนึ่งทางกายภาพ พิจารณาจากสิ่งจากต่างๆ ได้แก่ สี เป็นสีเหลืองทองหรือน้ำตาลอ่อนกลิ่นหุงสุกแล้วควรมีกลิ่นน้อยที่สุด คุณภาพการขัดสี สีได้เนื้อ มีข้าวหักน้อยมาก ลักษณะเมล็ดใส แกร่ง ไม่มีท้องไข่ ขนาดรูปร่างเมล็ดเหมือนข้าวธรรมดา ลักษณะข้าวสุก หุงสุกแล้วเมล็ดร่วนไม่ติดกัน (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)

7.1 คุณภาพด้านการขัดสี เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการทำข้าวนึ่งมาขัดสีจะได้ข้าวเต็มเมล็ดมากขึ้นเกือบร้อยละ 100 เนื่องจากสตาร์ชที่เป็นเจลแล้วจะเรียงตัวกันหรืออาจจับกับโปรตีนบางส่วน เกิดการเชื่อมรอยร้าวทำให้ผิวของข้าวใสและแข็งแรงขึ้น ไม่แตกง่ายในขณะขัดสี แต่ต้องใช้พลังงานในการขัดสีมากขึ้น ผลของการขัดสีท้าให้สูญเสียแร่ธาตุ น้ำตาลและวิตามินน้อยกว่าการขัดสีข้าวเปลือกธรรมดา

7.2 คุณภาพด้านการเก็บรักษา ข้าวนึ่งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมันได้ง่าย เนื่องจากลิพิดถูกทำลายด้วยความร้อนและในสภาพการเก็บที่มืดมีอากาศถ่ายเทจะช่วยให้เกิดการเหม็นหืนช้ากว่าการเก็บที่สว่างและในถุงที่ปิดมิดไม่มีอากาศถ่ายเทการสูญเสียวิตามินบีน้อยกว่าข้าวธรรมดาและข้าวนึ่งจะทนต่อการทำลายของแมลงกัดกินเมล็ดข้าวหลายชนิด จึงเก็บข้าวนึ่งได้นานกว่าข้าวธรรมดา

7.3 White belly ในเมล็ดข้าวนึ่งบางครั้งจะพบลักษณะขุ่นขาวทึบแสงภาย ในเมล็ดข้าว ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อข้าวเกิดการ Gelatinization ไม่ทั่วทั้งเมล็ด ลักษณะขุ่นขาวดังกล่าวเรียกว่า White belly (บุปผา นุชนาถ, 2547)

ตารางที่ 6 ข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวนึ่ง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. การนึ่งและการอบแห้งทำให้เปลือกข้าวแตกกะเทาะเปลือกง่ายกว่าข้าวธรรมดา	1. ใช้เวลาในการขัดสีมากว่าข้าวธรรมดา
2. คุณภาพการขัดสีดีกว่าข้าวหักน้อยกว่าข้าวธรรมดา	2. ข้าวนึ่งใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวธรรมดา
3. เก็บรักษาได้นานกว่าข้าวธรรมดาเพราะ Enzyme lipase ถูกทำลาย	3. มีกลิ่นและรสไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค
4. ข้าวนึ่ง นึ่งแล้วเมล็ดจะใสไม่เป็นท้องไข่	4. ข้าวนึ่งเพาะไม่งอก แต่ข้าวธรรมดาเพาะงอก
5. มีวิตามินบีและอีสูงกว่าข้าวสารธรรมดา (พันธุ์เดียวกัน)	5. มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าข้าวธรรมดา
6. หุงขึ้นหม้อกว่าข้าวธรรมดา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชทำให้การดูดซึมดีขึ้นและขยายตัวทางด้านปริมาตรเพิ่มขึ้น	6. กระบวนการผลิตทำให้สีของเมล็ดข้าวที่ได้มีสีคล้ำลง เนื่องจากสีของเปลือกข้าวซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวระหว่างปฏิกิริยาเมลลาร์ด
7. ย่อยง่ายกว่าข้าวธรรมดาเพราะแป้งสุกไปครั้งหนึ่งแล้วสายโซ่ของ Glucose ถูกทำลายไปแล้ว	7. เศษรำมีไขมันมากท้าให้เกิดการอุดตันบนตะแกรงร่อนขณะขัดสีเอารำออก เพราะว่ามีไขมันจาก Endosperm แพร่ออกมาสะสมอยู่ในชั้นของรำมากขึ้น
8. รำข้าวนึ่งมีน้ำมันร้อยละ 25 – 30 ในขณะที่ข้าวธรรมดามีเพียงร้อยละ 15 – 20	8. สารที่เป็นตัวยับยั้งการเหม็นหืน เช่น โทโคเฟอรอล (Tocopherol) จะถูกทำลายระว่างการให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวทำให้เกิดการเหม็นหืนด้วยกระบวนการออกซิเดชั่น
9. เชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในเมล็ดข้าวจะถูกทำลายในระหว่างการให้ความร้อน	
10. ข้าวนึ่งที่หุงสุกแล้วเมล็ดข้าวสุกคงรูปร่างไม่แฉะและเละติดกัน ไม่สูญเสียสานอาหารในน้ำต้มและสามารถเก็บได้นานกว่าข้าวขาว	

ที่มา : เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข (2536)

8. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำข้าวนึ่ง

8.1 วัตถุดิบ เมล็ดข้าวเปลือกควรมีสีของเปลือกและสีชั้นเปลือกรำอ่อน เช่น สีขาว (ฟาง) หรือสีน้ำตาล เมล็ดอยู่ในสภาพที่สะอาด ไม่มีรอยแมลงกัดกินหรือเชื้อราทำลาย

8.2 ต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาการแช่ให้พอเหมาะ เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นและสีที่ไม่ดีของข้าวนึ่ง ในการแช่ควรทำให้มีการหมุนเวียนของน้ำและข้าวด้วย เพื่อป้องกันความร้อนสะสมซึ่งจะทำให้เกิดเมล็ดผิดปกติ (Deform grain)

8.3 อุณหภูมิและเวลาขณะนึ่งต้องควบคุมให้พอเหมาะ ไม่ควรให้สูงเกินไปเพราะจะมีผลต่อสีข้าวนึ่ง ลักษณะเมล็ดผิดปกติ และข้าวสารแข็งเกินไปเมื่อใช้เวลานาน

8.4 การทำให้แห้ง ต้องเป็นไปอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ ถ้าใช้ความร้อนสูงเกินไปและทำให้แห้งรวดเร็ว ข้าวจะแตกร้าว ขัดสีแล้วหักมากขึ้น

8.5 ความชื้นของข้าวนึ่งไม่ควรเกิน ร้อยละ 14 เมื่อเก็บไว้ในยุ้งฉางหรือโกดัง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการทำลายของจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อราต่างๆ (บุปผา นุชนาถ, 2547)

9. กรรมวิธีการผลิตข้าวนึ่ง

9.1 การแช่ (Soaking or Steeping) ในขั้นนี้จะทำให้ช่องว่าง (Void space) บริเวณเปลือกข้าว (Hull) และในเมล็ดข้าว (Kernel) มีน้ำแทนที่อากาศ เม็ดสตาร์ชจะพองตัวขึ้นทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น ความชื้นซึ่งทำให้เมล็ดสตาร์ชพองตัวได้นั้นเพียงพอที่จะเกิดการ Gelatinization ได้ การเร่งให้เมล็ดข้าวดูดความชื้น (ร้อยละ 30 – 35) ได้อย่างรวดเร็วมีความจำเป็นมากเพราะการแช่ข้าวในน้ำมากเกินไปจะทำให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวทำงานเร็วขึ้นและเกิดกระบวนการหมักขึ้นได้

การแช่เมล็ดข้าวเปลือกในอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 3 – 6 ชั่วโมงหรือที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1 – 3 ชั่วโมง จึงทำให้เมล็ดข้าวเปลือกดูดความชื้นได้พอเหมาะ สีของข้าวนึ่งที่ได้จะเหมาะสมกับความต้องการของตลาดมากที่สุด

การแช่ข้าวเปลือกทำให้แร่ธาตุและวิตามินที่ละลายน้ำได้บริเวณผิวของเมล็ดข้าวละลายน้ำและซึมเข้าสู่ตัวเมล็ด แต่ถ้าเปลือกแยกออกก็จะทำให้สูญเสียวิตามินและแร่ธาตุบางส่วนไปในน้ำ

9.2 การนึ่ง (Steaming) เมื่อเมล็ดสตาร์ชภายใน Endosperm ของเมล็ดข้าวดูดซึมน้ำไว้เพียงพอแล้วก็มาถึงขั้นตอนการให้ความร้อนเพื่อทำให้สตาร์ชเกิดการ Gelatinization โดยต้องให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ Gelatinization เป็นอย่างน้อย การให้ความร้อนที่นิยมใช้อยู่ในรูปของไอน้ำมากกว่ารูปอื่นๆ การนึ่งต้องทำให้ข้าวเปลือกทั้งเมล็ดได้ รับไอน้ำอย่างสม่ำเสมอและต้องได้รับอุณหภูมิและเวลาในการนึ่งเท่าๆกัน ปกติถ้านึ่งภายใต้ความดันจะให้เวลาประมาณ 15 – 30 นาที (100 – 105 องศาเซลเซียส)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะการละลายกลุ่มโปรตีนในข้าวจะลดลงขึ้นอยู่กับเวลาในการแช่และความดันไอน้ำโดยถ้าเวลาแช่นานความดันไอสูงจะทำให้สกัดโปรตีนได้น้อยลงแสดงว่าโปรตีนละลายได้น้อยลง

9.3 การอบแห้ง (Drying) เป็นกระบวนการสุดท้ายของการทำข้าวนึ่ง ข้าวเปลือกหลังจากนึ่งเสร็จแล้วจะมีความชื้นสูงถึง ร้อยละ 35 มาตรฐานเปียก ซึ่งไม่สามารถเก็บและขัดสีได้ จึงจำเป็นที่จะต้องลดความชื้นของข้าวนึ่งลงจนถึงจุดเหมาะสมเพื่อเก็บรักษาและการขัดสี โดยปกติความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษาจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 14 – 16 มาตรฐานเปียก

การอบแห้งจะต้องค่อยๆทำเป็นระยะไม่ทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดการแตกร้าวเนื่องจากเกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิวกับใจกลางของเมล็ดที่มากเกินไป (บุปผา นุชนาถ, 2547)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3

การทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ

1. ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 (ที่มา จ.นครราชสีมา) อายุหลังการเก็บเกี่ยว 1 เดือน
2. วัสดุที่ใช้ในวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ และการวิเคราะห์ทางด้านเคมีกายภาพ
3. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านเคมีกายภาพ
4. ถุงโพลีโพรพิลีน ขนาด 8×14 นิ้ว

อุปกรณ์

1. ถังพลาสติกที่ใช้แช่ข้าวเปลือก
2. หม้อนึ่ง
3. ผ้าขาวบาง
4. ตู้อบลมร้อน รุ่น venticell ยี่ห้อ mmgroup
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius
7. เครื่องสีข้าว
8. เครื่องปั่นไฟฟ้า ยี่ห้อ Tefal รุ่น HB713
9. เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab
10. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง รุ่น Spectronic®20 ยี่ห้อ GENESYS™
11. เครื่องมือวัดขนาดของเมล็ดข้าวโดยใช้เวอร์เนียร์
12. เตาเผา รุ่น mufflesize 2 ยี่ห้อ Gaiienkamp
13. ตู้ดูดความชื้น
14. เครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ทางด้านเคมีกายภาพ
15. อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น ช้อน ถาดที่ร่อนแป้ง หม้อนึ่งที่มีขนาด 2 ชั้นและชามผสม เป็นต้น

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่าง

ทำการล้างตัวอย่างข้าวเหนียว (ข้าวเปลือก) ที่ได้รับมาด้วยน้ำสะอาด และแช่ข้าวเหนียวในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อข้าวเหนียวเป็น 2:1 (โดยปริมาตร) เป็นเวลา 2 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบเวลาในการแช่ในแต่ละเวลาการทดลองให้เทน้ำทิ้งและนำข้าวเหนียวมานึ่งด้วยหม้อนึ่งที่ควบคุมอุณหภูมิการนึ่งคงที่ เป็นระยะเวลา 15 30 และ 45 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการนึ่ง แล้วไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือจนข้าวเปลือกแห้งสนิท เก็บตัวอย่างการทดลองในถุงพลาสติกใสนำไปกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องสีขนาดเล็ก (ที่มีความสามารถในการขัดสีข้าวปริมาณ 1 กก.) ชั่งน้ำหนักหลังการกะเทาะเปลือกเก็บตัวอย่างการทดลองในถุงพลาสติกใสเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. การวิเคราะห์คุณภาพการขัดสี

2.1 วิเคราะห์ปริมาณร้อยละของข้าวกล้องและปริมาณร้อยละของแกลบ
2.2 วิเคราะห์การแตกหักของข้าว
2.3 วิเคราะห์น้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดข้าว

2. การวิเคราะห์ทางกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าสี โดยการวัดค่าสี ในระบบ CIE Lab โดยใช้เครื่อง Hunter Lab ซึ่งจะแสดงการรายงานผลในรูปแบบค่า L*, a* ,b*

3. การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ

3.1 การดูดซับน้ำ (Noomhorm *et al*., 1997)
3.2 ร้อยละการละลายและการพองตัว (Noomhorm *et al*., 1997)
3.3 ระดับการเกิดเจลลาทิไนซ์ของข้าวด้วยเครื่อง DSC (Different Scanning Calorimeter) (Teo *et al.*, 2000)

3.4 คุณสมบัติการเกิดเจลด้วยเครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer) (Zhou *et al*., 2003)

3.5 การวัดโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวด้วยเครื่อง XRD (Prasert and Suwannaporn, 2009)

3.6 ค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer

4. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่ผ่านการคัดเลือกจากร้อยละของการแตกหักด้วยวิธีการนับจำนวน 3 ชุดการทดลอง เตรียมตัวอย่างโดยการแช่ในน้ำในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1:2 เป็นเวลา 15 นาที และทำให้สุกด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 20 นาที (ไพโรจน์ และคณะ, 2548) เปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม (ข้าวเหนียวที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้น เตรียมข้าวเหนียวด้วยวิธีการแช่น้ำ 3 ชั่วโมง นึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที) (สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว, 2557) นำข้าวเหนียวที่สุกแล้วมาทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี Multi sample different test โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 15 คน ในด้าน สี ความเหนียว การเกาะตัว และความนุ่ม และทดสอบการยอมรับโดยใช้วิธีการประเมินความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) ในด้าน ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (Meilgaard *et al*., 1999)

5. การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองถูกออกแบบและใช้วิธีการสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) ตลอดทั้งการทดลอง จำนวนซ้ำการทดลอง 3 ซ้ำวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance) ANONA โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan’s multiple range tests (Steel & Torrie, 1980) การวิเคราะห์ทางสถิติอาศัยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป(SPSS for windows, SPSS lanc., Chicaco, IL, USA).

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการนึ่งในสภาวะเวลาการแช่น้ำและเวลาในการนึ่งที่แตกต่างกันมากะเทาะเปลือกและขัดสีในระดับการขัดสีที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ คุณภาพทางด้านเคมีกายภาพ และคุณภาพของการขัดสีพบว่า ข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำและการนึ่งในระยะเวลาที่สูงขึ้นทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักสูงกว่าสภาวะการแช่น้ำและการนึ่งในระยะเวลาที่ต่ำกว่า และเมื่อระยะเวลาการแช่น้ำและการนึ่งที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เมล็ดข้าวมีลักษณะสีที่คล้ำลงและมีสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง (ชุดควบคุม) ภาพที่ 8 แสดงลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะที่แตกต่างกัน ข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำนานขึ้นและระยะเวลาการนึ่งที่นานขึ้น ทำให้การแตกหักของเมล็ดข้าวหลังการกะเทาะเปลือกเปิดขึ้นมากกว่าข้าวที่ผ่านการแช่น้ำและให้ความร้อนชื้นสั้นกว่า ข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นมีสีเหลือง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ข้าวที่ผ่านการแช่น้ำและให้ความร้อนนานกว่าจะมีค่าความสว่างลดลง มีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ เพชรรัตน์ ใจบุญ (2553) ที่ได้รายงานผลของการแช่ข้าวเหนียวกึ่งนึ่งขาวที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดว่าข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำและการอบแห้งมีค่าความสว่าง (L) ลดลง ค่าความเป็นสีเหลือง (b) และค่าความเป็นสีแดง (a) มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวชุดควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบภายในเมล็ดข้าว ซึ่งเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด โดยสภาวะที่เหมาะสมของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน ซึ่งมีความร้อนเป็นตัวช่วยเร่งในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล จึงส่งผลให้ข้าวเหนียวที่ผ่านการแช่น้ำและผ่านการอบแห้งมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น (Soponronnarit *et al*., 2006)

เวลาที่ใช้ในการนึ่ง (นาที)	เวลาที่ใช้ในการแช่ (ชั่วโมง)		
	2	4	6
ชุดควบคุม			
15			
30			
45			

ภาพที่ 8 ลักษณะทางกายภาพของข้าวเหนียวพรีเจลาทิไนซ์ที่ผ่านสภาวะการเตรียมที่แตกต่างกัน

เมื่อนำตัวอย่างข้าวเปลือกชุดควบคุมและชุดข้าวเปลือกนึ่งที่สภาวะต่างๆ มากะเทาะเปลือก พบว่าตัวอย่างข้าวชุดควบคุมให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องและแกลบเท่ากับ 73.39 และ 26.61 ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างข้าวนึ่งในสภาวะต่างๆ โดยส่วนใหญ่ให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องที่สูงกว่าและร้อยละแกลบที่ต่ำกว่าตัวอย่างชุดควบคุม ยกเว้นข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการแช่ที่ 2

ชั่วโมงและนึ่งด้วยไอน้ำทุกระยะเวลาการทดลอง โดยชุดข้าวที่ผ่านการแช่ 2 ชั่วโมง และการนึ่ง 15 นาที ให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องสูงสุดคือ 75.16 และร้อยละแกลบต่ำสุดคือ 24.84 ปริมาณร้อยละของข้าวกล้องและปริมาณแกลบดังแสดงในตารางที่ 7 ร้อยละของข้าวกล้องที่ได้มีความสอดคล้องกับปริมาณร้อยละข้าวหัก กล่าวคือในชุดการทดลองที่มีการแตกหักของข้าวมากจะทำให้เศษข้าวที่หักบางส่วนสูญเสียไปพร้อมกับเปลือกข้าวระหว่างการกะเทาะเปลือก เนื่องจากแรงลมที่เกิดจากการเป่าแกลบและรำข้าวออกจากเครื่องสีข้าว

ขั้นตอนการกะเทาะเปลือกข้าวทำเพื่อนำเปลือกของข้าวออกไปโดยที่ให้ปริมาณการแตกหักของข้าวน้อยที่สุด โดยทั่วไปภายในข้าวจะมีช่องว่างของอากาศระหว่างเม็ดสตาร์ช การแช่ข้าวเปลือกจะทำให้น้ำซึมผ่านผิวเปลือกแข็งเข้าสู่เนื้อในเมล็ดโดยเข้าไปแทนช่องว่างอากาศภายในเมล็ด การนึ่งในช่วงแรกทำให้เกิดความร้อนเพื่อให้น้ำกระจายเข้าสู่ช่องว่างของอากาศระหว่างเม็ดสตาร์ชได้ดีขึ้น ในเวลาต่อมาผลของความร้อนที่อุณหภูมิเพียงพอทำให้เกิดเจลาทิไนซ์ของสตาร์ช ปรากฏการณ์นี้ทำให้ลักษณะภายในของข้าวนึ่งมีการเชื่อมต่อกันของเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลาทิไนซ์และปิดช่องว่างระหว่างเม็ดสตาร์ชได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณข้าวหักจากข้าวนึ่งนั้นมีปริมาณน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวชุดควบคุม แต่เวลาในการแช่และการนึ่งควรจะคำนึงถึงความเหมาะสมเพราะการทำให้ข้าวเกิดเจลาทิไนซ์มากเกินไปจะทำให้ข้าวนึ่งมีลักษณะแข็งจนเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าข้าวชุดควบคุม (วุฒิชัย นาครักษา, 2539; Luh และ Mickus, 1991)

Sujatha *et al*. (2004) รายงานว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นมีข้อดีที่โดดเด่นกว่าข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นคือการแตกหักของเมล็ดข้าวระหว่างการจะเกิดขึ้นน้อยกว่า และได้เมล็ดข้าวที่มีความใสมากขึ้น การกะเทาะเปลือกของข้าวสามารถทำได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้การให้ความร้อนชื้นแก่เมล็ดข้าวทำให้เป็นการยังยั้งการทำงานของเอนไซม์และยังทำให้เม็ดแป้งในข้าวเกิดการพองตัวได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 7 ผลของกระบวนการแช่และการนึ่งต่อร้อยละของข้าวสารและแกลบของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	ร้อยละข้าวสาร	ร้อยละแกลบ
ชุดควบคุม	-	73.39±0.55^{c}	26.61±0.55^{d}
2	15	75.16±0.22^{a}	24.84±0.22^{f}
	30	74.23±0.19^{b}	25.77±0.19^{e}
	45	73.75±0.42^{c}	26.25±0.42^{d}
4	15	72.98±0.26^{d}	27.02±0.26^{c}
	30	73.08±0.38^{de}	26.92±0.38^{bc}
	45	72.57±0.10^{ef}	27.43±0.10^{ab}
6	15	72.30±0.14^{de}	27.70±0.14^{bc}
	30	72.04±0.17^{ef}	27.96±0.17^{ab}
	45	71.79±0.24^{f}	28.21±0.24^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 8 ผลของกระบวนการแช่และการนึ่งต่อร้อยละการแตกหักของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	ร้อยละข้าวเต็มเมล็ด	ร้อยละข้าวหัก
ชุดควบคุม	-	87.37±0.34^{c}	12.63±0.34^{h}
2	15	89.75±0.13^{a}	10.25±0.13^{j}
	30	88.44±0.13^{b}	11.56±0.13^{i}
	45	84.32±0.04^{d}	15.68±0.04^{g}
4	15	80.74±0.12^{e}	19.26±0.12^{f}
	30	75.68±0.10^{f}	24.32±0.10^{e}
	45	67.21±0.20^{g}	32.79±0.20^{d}
6	15	70.23±0.24^{h}	29.77±0.24^{c}
	30	61.70±0.18^{i}	38.30±0.18^{b}
	45	52.61±0.10^{j}	47.39±0.10^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

วิเคราะห์ปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำโดยวิธีของ Noomhorm *et al*. (1997) จากตัวอย่างข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าตัวอย่างข้าวเหนียวชุดควบคุมมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำเท่ากับ 42.26 และตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้เวลาในการแช่ที่ 6 ชั่วโมง จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 4 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ และผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำในตัวอย่างข้าว พบว่าการใช้เวลาในการนึ่ง ที่ 45 นาที จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่ 30 และ 15 นาที ตามลำดับ ผลของการวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับน้ำดังแสดงในตารางที่ 9

วิเคราะห์กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลาย โดยวิธีของกล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2543) จากตัวอย่างข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าตัวอย่างข้าวชุดควบคุมมีกำลังการพองตัวเท่ากับ 5.72 และปริมาณร้อยละการละลาย

เท่ากับ 0.12 และข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้เวลาในการแช่ที่ 6 ชั่วโมง จะมีกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 4 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ และผลของการให้ความร้อนต่อกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายในตัวอย่างข้าว พบว่าการใช้เวลาในการนึ่ง ที่ 45 นาที จะมีกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่ 30 และ 15 นาที ตามลำดับ ผลของการวิเคราะห์ปริมาณกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายดังแสดงในตารางที่ 9

ปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำ กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการเกิดเจลาทิไนซ์ของสตาร์ช กล่าวคือภายในของสตาร์ชจะมีอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจัดเรียงตัวกันเป็นวง ภายในวงจะมีชั้นของส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) และส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) ส่วนที่เป็นอสัณฐานจะมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆเนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลเพคติน ผลของความร้อนจากกระบวนการนึ่งจะทำให้เกิดส่วนที่สามารถละลายและไหลออกจากเม็ดสตาร์ชก่อนชั้นของส่วนที่เป็นผลึก เจลที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณอะไมโลสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอยู่ในชั้นของส่วนที่เป็นผลึก ที่มีการละลายและไหลออกมาได้น้อย ตามโครงสร้างของอะไมโลสจะมีความสามารถในการเก็บอุ้มน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้ทำให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำ กำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย สามารถเป็นดัชนีในการวัดการเกิดเจลาทิไนซ์ของเม็ดสตาร์ชได้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

Ali และ Ojha (1977) และ Mahadevappa และ Desikachar (1968) รายงานว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นมีกำลังการพองตัวที่สูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้น ซึ่งทำให้ข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นนั้นต้องใช้เวลาในการทำให้สุกนานกว่า

ตารางที่ 9 ร้อยละการดูดซับน้ำ การละลายและกำลังการพองตัว ของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	ร้อยละการดูดซับน้ำ	กำลังการพองตัว	ร้อยละการละลาย
ชุดควบคุม	-	42.26±0.20^{j}	5.72±0.01^{f}	0.12±0.02^{h}
2	15	49.68±0.06^{i}	6.04±0.07^{e}	0.19±0.03^{g}
	30	50.70±0.15^{h}	6.34±0.05^{d}	0.28±0.02^{f}
	45	54.74±0.26^{f}	6.97±0.07^{c}	0.35±0.02^{e}
4	15	51.89±0.24^{g}	6.35±0.07^{d}	0.22±0.02^{g}
	30	59.65±0.08^{d}	7.31±0.11^{b}	0.44±0.03^{d}
	45	64.21±0.10^{c}	7.53±0.09^{b}	0.52±0.12^{c}
6	15	55.29±0.30^{e}	7.01±0.38^{c}	0.42±0.32^{d}
	30	67.16±0.31^{b}	7.98±0.05^{a}	0.60±0.02^{b}
	45	71.97±0.51^{a}	8.20±0.03^{a}	0.69±0.12^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นที่ระดับสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่ากระบวนการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติการเกิดเจลลาทิไนซ์ ดังแสดงในตารางที่ 10 กระบวนการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียวทำให้คุณสมบัติการเกิดเจลลาทิไนซ์ของข้าวเหนียว ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล (T_o) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจล (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (T_c) และพลังงานความร้อนทั้งหมดในการเกิดเจลลาทิไนซ์ (ΔH) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวชุดควบคุม (P<0.05) อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลในตัวอย่างข้าวเหนียวชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 61.37 องศาสเซลเซียส และข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำและให้ความร้อนชื้นที่ระยะเวลาแตกต่างกันมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลอยู่ในช่วง 62.23-67.65 องศาเซลเซียส โดยข้าวที่แช่ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง และให้ความร้อนชื้นที่ระยะเวลา 45 นาทีมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล (67.65 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลมีค่าสูงที่สุด (78.17 องศาเซลเซียส) การแช่ข้าวเหนียวที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนชื้นสูงขึ้นทำให้ค่า

อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลเพิ่มสูงขึ้นตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดในการเกิดเจลลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่และระยะเวลาในการให้ความร้อนชื้นเพิ่มขึ้น โดยค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดของข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นมีค่าต่ำกว่าข้าวเหนียวชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

Oli *et al*. (2014) รายงานว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาทิไนซ์ของข้าว สามารถแบ่งข้าวเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทิไนซ์ต่ำกว่า 55-69 องศาเซลเซียส ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทิไนซ์ระดับกลางระหว่าง 70-74 องศาเซลเซียส และข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทิไนซ์สูงอยู่ระหว่าง 70-74 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างนี้มีปัจจัยมาจากสายพันธุ์ของข้าวและสภาวะแวดล้อมของการเพาะปลูกเป็นหลัก (Bhattacharya, 1979) การเกิดเจลลาทิไนซ์ของข้าวมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงสุกและเนื้อสัมผัสของข้าว ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจากอุณหภูมิการเกิดเจลลาทิไนซ์ของข้าวเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นเพื่อสามารถนำมาใช้ในการปรับระยะเวลาในการแช่ข้าวและอุณหภูมิในการแช่ที่เหมาะสมต่อไป Islam *et al*. (2002) รายงานว่ากระบวนการให้ความร้อนชื้นทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลลาทิไนซ์ของข้าวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของกระบวนการให้ความร้อนนั้น ๆ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 10 คุณสมบัติด้านความร้อนของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	คุณสมบัติการเกิดเจลาทิไนซ์			
		T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)
ชุดควบคุม	-	61.37±0.25^{e}	71.17±0.12^{e}	85.98±0.07^{d}	11.38±0.13^{b}
2	15	62.50±0.13^{d}	71.33±0.20^{e}	83.67±0.26^{e}	11.38±0.14^{b}
	30	65.56±0.17^{c}	75.00±0.19^{c}	81.96±0.15^{f}	8.30±0.23^{d}
	45	66.01±0.30^{b}	76.50±0.30^{b}	80.36±0.17^{f}	7.28±0.17^{e}
4	15	62.38±0.24^{d}	73.50±0.24^{d}	87.36±0.23^{b}	12.43±0.20^{a}
	30	66.27±0.14^{bc}	75.17±0.22^{c}	86.36±0.22^{cd}	10.06±0.19^{c}
	45	67.42±0.19^{a}	76.83±0.15^{b}	83.80±0.18^{e}	10.07±0.17^{c}
6	15	66.38±0.09^{b}	74.17±0.14^{c}	89.93±0.21^{a}	12.61±0.22^{a}
	30	67.05±0.10^{a}	77.83±0.12^{b}	87.30±0.27^{b}	8.10±0.21^{d}
	45	67.11±0.11^{a}	78.17±0.13^{a}	86.51±0.14^{cd}	7.48±0.20^{e}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

คุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 11 พบว่าการให้ความร้อนชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนชื้น ($P<0.05$) ข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการความร้อนชื้นมีความหนืดสูงสุดลดลงเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวชุดควบคุม โดยข้าวเหนียวชุดควบคุมมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ 360.75 RVU ระยะเวลาในการแช่และเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อการลดลงของความหนืดสูงสุดของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ระยะเวลาแช่ข้าวเหนียวและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดสูงสุดของข้าวเหนียวลดลง อุณหภูมิของการเกิดเจลของข้าวเหนียวชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 65.23 องศาเซลเซียส ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียว อุณหภูมิของการเกิดเจลของข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยอุณหภูมิของการเกิดเจลของข้าวเหนียวที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลมาจากระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวเป็นปัจจัยสำคัญ ความหนืดสุดท้ายและความหนืดหลังการคืนตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าว

ชุดควบคุม โดยข้าวชุดควบคุมมีความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคืนตัวเท่ากับ 225.09 และ -120.85 RVU ตามลำดับ และข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนชื้นมีค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคืนตัวอยู่ระหว่าง 230.17 ถึง 245.23 RVU และ -110.14 ถึง -76.74 RVU ตามลำดับ

คุณสมบัติด้านความหนืดหรือคุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวสามารถแสดงถึงลักษณะเนื้อสัมผัสสุดท้ายของข้าวหุงสุกได้ โดยประกอบด้วยค่า ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าการแตกหัก (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และอุณหภูมิการเกิดเจล (pasting temperature) ซึ่งในการวิเคราะห์พฤติกรรมความหนืดของแป้งสามารถทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco-analyzer) เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงคุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวหุงสุกได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมด้านความหนืด ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และปริมาณอะไมโลสของข้าวแต่ละสายพันธุ์ (Bhattacharya, 2011; Fitzgerald *et al*., 2003)

Ali และ Bhattacharya (1980) และ Ranghavendra Rao และ Juliano (1970) รายงานว่า ข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้น ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกหัก และค่าความหนืดในการคืนตัว (setback) ลดลง โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีผลในการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดได้ชัดมากกว่าข้าวที่มีอะไมโลปานกลางและต่ำ (Zavareze *et al*., 2010)

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 11 คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	คุณสมบัติการเกิดเจล			
		PV (RVU)	P_{temp}(°C)	FV (RVU)	SBV (RVU)
ชุดควบคุม	-	360.75±1.10^{a}	65.23±0.20^{g}	225.09±1.79^{f}	-120.85±1.12^{g}
2	15	340.23±1.07^{b}	70.78±0.14^{f}	231.42±1.23^{e}	-110.14±1.74^{f}
	30	337.14±2.23^{b}	71.03±0.08^{e}	230.17±2.10^{e}	-108.70±1.65^{f}
	45	329.27±1.79^{c}	71.21±0.11^{e}	237.25±0.54^{d}	-104.17±1.02^{e}
4	15	328.85±0.74^{c}	72.42±0.09^{d}	240.62±1.52^{c}	-90.45±1.97^{d}
	30	320.37±1.20^{d}	73.75±0.20^{c}	241.12±1.46^{c}	-87.80±2.21^{c}
	45	319.10±0.98^{d}	73.80±0.17^{c}	240.14±2.27^{c}	-85.41±1.75^{c}
6	15	301.16±1.11^{e}	73.74±0.17^{c}	245.23±1.47^{a}	-79.97±1.20^{b}
	30	295.65±1.87^{f}	74.49±0.21^{b}	243.45±1.25^{b}	-77.23±1.39^{ab}
	45	296.87±2.01^{f}	75.67±0.14^{a}	245.17±2.01^{a}	-76.74±1.42^{a}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ร้อยละของความเป็นผลึกของตัวอย่างข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการทดสอบโดยเครื่อง X-ray Diffractometer มีค่าความเป็นผลึกเท่ากับร้อยละ 32.25 เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างแต่ละตัวอย่างนั้นจะลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม จากการทดสอบพบว่าระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละความเป็นผลึกของตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนระยะเวลาในการนึ่งในชุดการทดลองที่มีระยะเวลาในการแช่นำที่เท่ากันนั้นไม่มีผลต่อร้อยละการเป็นผลึกของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง อยู่ในช่วงร้อยละ 19.51-20.14 ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำ 4 ชั่วโมง อยู่ในช่วงร้อยละ 17.21-18.73 ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำ 6 ชั่วโมง อยู่ในช่วงร้อยละ 16.20-16.54

ค่าความแข็งของเมล็ดข้าวเหนียวหลังผ่านการหุงสุกของข้าวเหนียวชุดควบคุมและข้าวเหนียวที่ผ่านสภาวะการให้ความร้อนชื้นที่แตกต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 12 พบว่าการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียวมีผลต่อความแตกต่างกันของค่าความแข็งของเมล็ดข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวชุดควบคุม ค่าความแข็งของข้าวเหนียวชุดควบคุมมีค่า

เท่ากับ 325.50 กรัมแรง ซึ่งค่าความแข็งของข้าวเหนียวที่ผ่านการให้ความร้อนชื้นมีค่าระหว่าง 372.25-415.70 กรัมแรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อข้าวเหนียวผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นทำให้ข้าวเหนียวมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาแช่ข้าวเหนียวเป็นปัจจัยหลักทำให้ค่าความแข็งของข้าวเหนียวเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 12 ร้อยละความเป็นผลึกและค่าความแข็งของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียวที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	ร้อยละการเป็นผลึก (ร้อยละ)	ค่าความแข็งของเมล็ดข้าว (กรัมแรง)
ชุดควบคุม	-	32.25±0.14	325.50±2.54
2	15	20.14±0.23	372.25±1.79
	30	20.10±0.17	376.27±2.42
	45	19.51±0.21	377.14±2.10
4	15	18.73±0.09	390.45±1.45
	30	17.45±0.10	393.62±1.47
	45	17.21±0.22	391.14±1.56
6	15	16.47±0.20	411.17±2.13
	30	16.54±0.17	413.45±1.89
	45	16.20±0.15	415.70±2.20

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจากตัวอย่างที่มีการแตกหักน้อยที่สุด 3 ตัวอย่าง คือ ที่เวลาแช่ 2 ชั่วโมง และนึ่ง 15 30 และ 45 นาที โดยนำตัวอย่างแต่ละสภาวะมาแช่น้ำ 4 ชั่วโมง และนึ่ง 15 นาที แล้วนำให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน มาทดสอบลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และ ความชอบโดยรวม พบว่าที่สภาวะแช่ 2 ชั่วโมง นึ่ง 15 นาที มีค่าเฉลี่ยของลักษณะปรากฏสูงสุด และค่าสีไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุม ข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งจะมีค่าเฉลี่ยความชอบโดยรวมมากกว่าชุดควบคุม แต่บางสภาวะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) จากชุดควบคุม แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวนึ่งจากข้าวเหนียว

เวลาแช่ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	ลักษณะปรากฏ	สี	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ชุดควบคุม	-	7.13[b]	7.40[a]	4.07[c]	5.07[c]
2	15	7.80[a]	7.47[a]	7.13[a]	8.13[a]
2	30	5.80[c]	5.67[b]	7.33[a]	6.40[b]
2	45	5.00[d]	4.80[c]	6.53[b]	4.67[c]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ (P>0.05)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุป

ข้าวเหนียวพรีเจลาทิไนซ์คือข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำและนึ่งด้วยอุณหภูมิคงที่ จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งไปอบแห้งและกะเทาะเปลือกออก ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการเดียวกันกับการผลิตข้าวนึ่ง จากการทดลองพบว่าข้าวเหนียวที่ผ่านการให้ความร้อนชื้นในบางสภาวะจะให้ร้อยละข้าวเหนียวเต็มเมล็ดที่สูงกว่าข้าวเหนียวชุดควบคุมหรือข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง แต่บางสภาวะที่มีการแช่น้ำเป็นเวลานานและให้ความร้อนด้วยการนึ่งเป็นเวลานานจะทำให้ได้ปริมาณของเมล็ดข้าวเหนียวที่แตกหักมากกว่าข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง อีกทั้งข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการนึ่งจะมีสีเหลืองคล้ำมากขึ้นเมื่อมีการใช้เวลาในการนึ่งและการแช่น้ำที่นานขึ้น การแช่น้ำและการนึ่งโดยใช้เวลานานขึ้นส่งผลให้ข้าวเหนียวมีร้อยละการดูดซับน้ำ กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง ทั้งนี้จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ข้าวเหนียวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนชื้นสามารถที่จะหุงสุกได้ง่ายกว่าข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านกระบวนการการให้ความร้อนชื้น กระบวนการการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติการเกิดเจลลาทิไนซ์ ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล (T_o) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจล (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (T_c) และพลังงานความร้อนทั้งหมดในการเกิดเจลลาทิไนซ์ (ΔH) การแช่ข้าวเหนียวที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนชื้นสูงขึ้นทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลเพิ่มสูงขึ้นตาม การให้ความร้อนชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวเหนียวอย่างมีนัยสำคัญ ระยะเวลาในการแช่และเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อการลดลงของความหนืดสูงสุดของข้าวเหนียว ระยะเวลาแช่ข้าวเหนียวและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดสูงสุดของข้าวเหนียวลดลง ระหว่างกระบวนการการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวเหนียว อุณหภูมิของการเกิดเจลของข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยอุณหภูมิของการเกิดเจลของข้าวเหนียวที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลมาจากระยะเวลาในการแช่ข้าวเหนียวเป็นปัจจัยสำคัญ ความหนืดสุดท้ายและความหนืดหลังการคืนตัวเพิ่มขึ้น กระบวนการการให้ความร้อนชื้นค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างแต่ละตัวอย่างนั้นจะลดลง ส่วนระยะเวลาในการนึ่งในชุดการทดลองที่มีระยะเวลาในการแช่นำที่เท่ากันนั้นไม่มีผลต่อร้อยละการเป็นผลึกของข้าวเหนียว

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2550. **ข้าว: โภชนาการ สุขภาพ**. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กรมการข้าว. 2552. **คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าว** [ออนไลน์]**.** สืบค้นได้จาก: http://www.riceproduct.org [12/02/2557].

กรมวิชาการเกษตร. 2527. **ข้าวและการทำนา.** สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง.** พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัญญา เชื้อพันธุ์. 2545. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนเปื้อนในข้าวหอมมะลิไทย *ใน* **คุณภาพข้าวทางกายภาพ.** หน้า1-10. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กุณฑลิยา ครุฑกะ. 2544. **การผลิตโยเกิร์ตแช่แข็งจากน้ำนมถั่วเหลืองน้ำมันข้าวกล้องและรำข้าว.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เครือวัลย อัตตะวิริยะสุข. 2536. **คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและมาตรฐานข้าว.** สถาบันวิจัยข้าว. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

โครงสร้างของอะไมโลเพตติน[ออนไลน์]. 2557. สืบค้นจาก: science.srru.ac.th [17/01/57]

โครงสร้างของอะไมโลส[ออนไลน์]. 2557. สืบค้นจาก: science.srru.ac.th [17/01/57]

งามชื่น คงเสรี. 2536. **คุณภาพเมล็ดทางเคมี**. หนา 54-70. เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, ฝ่ายฝึกอบรม สถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ , กรุงเทพ.

งามชื่น คงเสรี. 2542. **เทคนิคการทดสอบคุณภาพข้าว.** น.ส.พ.กสิกร . 72(5): 467-473.

จารนัย พาณิชย์กุล. 2537. **แป้ง (Starch) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้แป้งสุก.** วารสารจารพา. 11: 22-24.

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. **ความรู้เรื่องข้าว**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

ฉวีวรรณ วุฒิญาโณ. 2543. **ข้าวพื้นเมืองไทย.** ศูนย์ปฏิบัติการและเก็บเมล็ดเชื้อพันธุ์ข้าวแห่งชาติ.ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. หน้า 215.

ชาญ มงคล. 2536. **ข้าว**. ตำราเอกสารวิชาการฉบับที่63. ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์. กรมการฝึกหัดครู. กรุงเทพฯ. หน้า 149.

น้ำฝน ศีตะจิตต์. 2548. **การเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวและข้าวนึ่งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงหุงสุกแชเยือกแข็ง.** วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิธิยา รัตนาปนนท. 2545. **เคมีอาหาร**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพโอเดียนสโตร.

บุปผา นุชนาถ. 2547. **การผลิตข้าวนึ่งบรรจุกระป๋อง**. ปัญหาพิเศษ โปรแกรมวิชาวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ประพาส วีระแพทย์. 2526. **ความรู้เรื่องข้าว.** สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพฯ. หน้า 108.

ปราณีต จิระสุทัศน์. 2531. **ข้าว**. ภาควิชาเกษตรศาสตร์. คณะวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยครูพระนคร. หน้า 241.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์ . 2557. **การเกิดเจลาทิไนซ์**[ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/350/gelatinization-การเกิดเจลาทิไนซ์ [09/09/2556]

เพชรรัตน์ ใจบุญ. 2553. **ผลของเจลาทีไนเซชันที่มีต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวกล้อง.** วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41(3/1). หน้า 393-396.

ไพศาล สังโวลี. 2543. **ข้าวไทยจากนาธรรมชาติสู่ข้าวปลอดสารเคมี.** มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา. กรุงเทพฯ . หน้า 158.

มรกต ตันติเจริญและศิริพร จำรัสเลิศลักษณ์. 2547. **เทคโนโลยีชีวภาพกับสายพันธุ์ข้าว** [ออนไลน์]**.** สืบค้นจาก: http://knowledge.biotec.or.th [18/06/2557].

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลานุวัฒน์ รุ่งทิวา วันสุขศรี, บุญทิวา นิลจันทร์ และ Naoyashi Inouchi. 2546. **การศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้างผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม**. รายงานการวิจัย ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วาสนา ผลารักษ์. 2523. **ข้าว.** ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 78.

สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ. **การค้าของข้าวไทย**[ออนไลน์]**.** สืบค้นจาก: http://app1.bedo.or.th/rice/EN/GeneralInfo.aspx?id=5 [09/09/2556]

สุนันทา ทองทา. 2549. **ผลของอุณหภูมิปริมาณน้ำและการเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพต่อการเกิดรีโทรเกรดชันของแป้งมันสำปะหลัง**. รายงานการวิจัย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารสำนักวิชาการเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. **เคมีทางธัญญาหาร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า. 148.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ali, N. and Ojha, T. P. 1977. **Cooking quality of raw rice and parboiled rice.** Rice process Engineering Centre Report, 3(1), 22.

Ali, S.Z. and Bhattacharya, K.R. 1980. **Pasting behavior of Parboiled rice.** Journal of Texture study. 11. 239.

Bhattacharya, K.R. 2011. **Rice Quality: A Guide to Rice Properties and Analysis.** Woodhead Publishing. Cambridge.

Bhattacharya, K.R. and Sowbhagya, C.M. 1979. **Pasting behavior of rice: A new method of viscography.** Journal of Food Science. 44. 797.

Cheng, H.H and M.H. Lai, 1991. **Fermentation of Resistant Rice Starch Produces Propionate Reducing Serum and Hepatic Cholesterol in Rats.** Journal of Nutrition. pp. 1994

Chiang, P.Y. and Yeh, A.I. 2002. **Effect of soaking on wet-milling of rice.** Journal of Cereal Science. 35: 85-94.

Chrastil, J. 1990. **Chemmical and physicochemmical changes of rice during storage at different temperature**. Journal of Cereal Science. 11: 71-85.

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

Fitzgerald, M.A., Martin, M., Ward, R.M., Park, W.D. and Shead, H.J. 2003. **Viscosity of rice flour: A rheological and biological study.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51(8). 2295-2299.

Henry, R.J. and P.S. Keltlewell, 1996. **Cereal Grain Quality**. Chapman and Hall, London.

Hibi, Y.S., Kitamura and T. Kuge 1990. **Effect of lipids on the retrogradation of cooked rice**. Journal of Cereal Chemistry. 67: 7-10.

Hoseney, R.C. 1986. **Principles of Cereal Science and Technology**. The American Association of Chemists, Inc., St. Paul, Minnessota.

Juliano, B.O. 1977. **The chemical basis of grain quality**. Proceeding Workshop Chemical Aspects of Grain Quality, International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.

Juliano, B.O. 1985. Rice : Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists *In* **Critical and testing for qualities.** (B.O. Juliano., ed.). pp. 441-542. St. Paul, Inc., Minnesota.

Kim, J.O., Kim, W.S. and Shin, M.S.K. 1997. **A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and α-amylase method**. Starch/stärke. 49: 71-75.

Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J. 1959. **Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chemistry.** 36: 534-544.

Li, J.Y. and Yeh, A.I. 2000. **Ralationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches.** Journal of Food Engineering. 50: 141-148

Luh, B.S. and Mickus, R.R. 1991. Parboiled rice. *In* **Rice: Utilization**. 2nd Eds. Luh, B.S. (ed.). Van Ivostrand Reinhold. New York. 51-88.

Lumdubwong, N., Boonta, B. and Tatongjai, j. 2005. proceeding of Starch Update 2007: the 4th International Conference on Starch Technology *In* **Structure and functional properties of Thai waxy rice starches.** Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand, November 6-7, 2007, 161-166.

Mahadevappa, M. and Desikachar, H. S. R. 1968. **Expansion and swelling of raw and parboiled rice during cooking.** Journal of Food Science and Technology, 5(2), 59.

Morrison, W.R. 1988. **Lipids. In Wheat Chemistry and Technology**. (Pomeranz, V., ed). The American association of cereal chemists, Inc., St. Paul, Minnessota.

Noomhorm, A., Kongseree, N. and Apintanapong, M. 1997. **Effect of Aging on the Quality of Glutinous Rice Crackers.** Journal of Cereal Chemistry. 74: 12-15.

Noosuk, P., Sandra, E.H., Imad, A.F., John, R.M. and Pasawadee, P. 2003. **Relationship between viscoelastic propeerties and starch structure in rice from Thailand**. Starch/starke. 57: 587-598.

Norman, F.T. and Marshall, W.E. 1989. **Differential Scanning Calorimetry of whole grain milled rice and milled rice flour.** Journal of Cereal Chemistry. 66: 317-320.

Oli. P., Ward, R., Adhikari, B. and Torley, P.R. 2014. **Parboiled rice: Understanding from a materials science approach.** Journal of Food Engineering. 124: 173-183

Ramesh, M., K.R. Bhattacharya, and J.R. Mitchell, 2000**. Development in understanding the basis of cooked-rice texture**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 40: 449-460.

Ranghavendra Rao, S.N., and Juliano, B.G. 1970. **Effect of parboiling on some physicochemical properties of rice.** Journal of Agriculture Food Chemistry. 18: 289.

Slade, L. and Levine, H. 1988. Temperature location of the glass transition associate with gelatinization of A-type cereal starches *In* **Non-equillibrium melting of native granular starch. Part 1** . Carbohydrate Polymers. 8: 183-208.

Sodhi, N.S. and Singh, N. 2003. **Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India.** Food Chemistry. 80: 99-108.

Soponronnarit, S., Nathakaranakule, A., Jirajindalert, A. and Taechapairoj, C. 2006. **Parboiling brown rice using super-heated steam fluidization technique.** Journal of Food Engineering, 75, 423–432.

Sujatha, S.J., Rasheed Ahmad, Rama Bhat, P. 2004. **Physicochemical properties and cooking qualities of two varieties of raw and parboiled rice cultivated in the coastal region of Dakshina Kannada, India.** Food Chemistry, 86, 211–216.

Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1980. **Principles and Procedures of Statistics.** New York. McGraw-Hill Book.

Tester, R.F. 1997. Starch structure and functionality *In* **Starch the polysaccharide fractions.** (P.J. Frazier, P. Richmon, and A.M. Donald, eds.). Royal Society of Chemistry. pp. 163-171

Tester, R.F. and Morrison, W.R. 1990. Effects of amylopectin, amylose and lipids *In* **Swelling and gelatinization of cereal starches.** Journal of Cereal Chemistry. 67: 551-557.

Vanderputte, E.G., Vermeylen, R., Geeroms, J. and Delcour, J.A. 2003. **Rice starch1: structural aspects provide insight into crystallinitycharacteristics and gelatinization behavior.** Journal of cereal science. 38: 43-52.

Webb, B.D. 1980. Rice: Production and Utilization *In* **Rice quality and grades.** (B.S. Luh., eds.). pp. 543-565.

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

Zavareze, E.R., Storck, C.R., Castro, L.A.S., Schirmer, M.A. and Dias, A.R.G. 2010. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. **Food Chemistry**. 121: 358-365.

Zhou, Z.K., Robard, K., Helliwell, S. and Blanchard, C. 2002. **Composition and functional properties of rice**. Journal of Food Science and Technology. 37: 849-868.