



## รายงานการวิจัย

ผลของกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวหนึ่ง  
จากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

Effect of processing on quality changes of parboiled  
Phatthalung Sungyod rice



อิทธิพร แก้วเพ็ง

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

พ.ศ. 2556

เลข Bib#	11A1423
วันที่	17 พ.ค. 2561
เลขเรียกหนังสือ	664.72

๐๓๔๗

ชื่องานวิจัย ผลของสภาวะการผลิตต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคของข้าวเหนียวจากข้าวสังข์หยดพัทลุง

ผู้วิจัย อธิธิพร แก้วเพ็ญ

คณะ เทคโนโลยีการเกษตร

ปี 2559

**บทคัดย่อ**

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองดั้งเดิมของภาคใต้ที่มีรสชาติดี คุณค่าทางโภชนาการสูงและเมื่อหุงสุกจะมีลักษณะนุ่ม ย่อยง่าย ข้าวเหนียวคือข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำ นึ่งด้วยไอน้ำและทำให้แห้งก่อนการขัดสี เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดข้าว ข้าวสังข์หยดได้ผ่านกระบวนการนึ่งเวลาการแช่ที่แตกต่างกัน (6 และ 12 ชั่วโมง) ระยะเวลาในการนึ่งที่แตกต่างกัน (20, 40 และ 60 นาที) จากนั้นได้ทำการตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี เคมีกายภาพของข้าวเหนียว พบว่า ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 10.03 ปริมาณไขมันร้อยละ 2.78 ปริมาณเถ้าร้อยละ 1.87 ปริมาณเยื่อใยร้อยละ 1.59 และปริมาณความชื้นร้อยละ 10.40 โดยน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างข้าวชุดควบคุมมีค่าความสว่าง 33.19, ค่าความเป็นสีแดง 15.63, ค่าความเป็นสีเหลือง 18.55 และในตัวอย่างข้าวเหนียวที่สภาวะต่างๆ พบว่าเวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างข้าวเหนียวมีค่าความสว่างลดลง และค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม ข้าวหลังผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ จะมีปริมาณแอโทไซยานินต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่มากขึ้น ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการแช่ที่ 6 ชั่วโมงมีปริมาณแอโทไซยานินโดยรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 12 และ 24 ชั่วโมง การใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้เวลาในการแช่ที่ 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 6 และ 12 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำในตัวอย่างข้าว พบว่าการใช้เวลาในการนึ่ง ที่ 60 นาที จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่ 20 และ 40 นาที ข้าวชุดควบคุมมีกำลังการพองตัวเท่ากับ 12.93 และปริมาณร้อยละการละลายเท่ากับ 0.09 และข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายเพิ่มสูงขึ้น ข้าวสังข์หยดชุดควบคุมมีอุณหภูมิการหลอมละลายของเม็ดแป้งเท่ากับ 74.61 องศาเซลเซียส และข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำและให้ความร้อนขึ้นที่ระยะเวลา

แตกต่างกันมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 76.02-81.63 องศาเซลเซียส โดยข้าวที่แช่ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง และให้ความร้อนขึ้นที่ระยะเวลา 60 นาทีมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลมีค่าสูงที่สุด การแช่ข้าวที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนขึ้นสูงขึ้นทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลเพิ่มสูงขึ้นตาม ข้าวชุดควบคุมมีความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคั้นตัวเท่ากับ 116.88 และ 123.65 RVU ตามลำดับ และข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนมีค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคั้นตัวอยู่ระหว่าง 90.23-95.23 และ 98.27-108.54 RVU ตามลำดับ อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดสุดท้ายของข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม



**Research Title**     Effect of processing on quality changes of parboiled  
Phatthalung Sungyod rice  
**Researcher**         Ittiporn Keawpeng  
**Faculty**             Faculty of Agricultural Technology  
**Year**                 2016

### Abstract

Sungyod rice is indigenous species of the Southern of Thailand. It contains high nutrition and easy to digest. Parboiled rice is made from paddy rice that has been soaked in water, steamed and dried before milling. To improve the quality of the Sungyod rice grain, rice were passed through the hydrothermal processes with various soaking times (6 and 12 h) and steaming times (20, 40 and 60 min), then determined the qualities of parboiled rice, such as physical, chemical and physicochemical properties. Phatthalung Sangyod rice had protein, fat, fiber, ash and moisture content as 10.03%, 2.78%, 1.87%, 1.59% and 10.40%, respectively. The raw rice showed the lightness ( $L^*$ ) 33.19, the redness ( $a^*$ ) 15.63 and yellowness ( $b^*$ ) 18.55. The yellowness of rice samples was different with various conditions of parboiling. Increased the soaking and steaming period affected to reduction of  $L^*$ . The total color differential value ( $\Delta E$ ) of rice was varied as parboiling conditions. The processed rice had lower anthocyanin content than raw rice with significantly level ( $P < 0.05$ ) and it decreased continuously when soaking and steaming time increased. Water absorption capacity increased with increasing soaking time. The 60 min steamed rice showed highest solubility value than other samples (20 and 40 min of steaming). The Phatthalung Sungyod raw rice had melting temperature at  $74.61^\circ\text{C}$ . However, the parboiled rice showed higher values than raw sample. The soaked rice for 12 h and steamed for 60 min had highest gelation temperature (the initial temperature of the gel). The peak viscosity and setback viscosity of raw rice are 116.88 and 123.65 RVU, respectively. The steamed rice

showed peak viscosity and setback viscosity in ranged of 90.23 to 95.23 RVU and 98.27 to 108.54 RVU, respectively. The pasting temperature and setback viscosity of parboiled rice increased statistically significantly ( $P < 0.05$ ) when compared with the raw rice.



## กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในการให้การสนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัยและเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมไปถึงสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี



อิทธิพร แก้วเพ็ง  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
29 มิถุนายน 2559

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญ	(7)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
บทที่ 3 การทดลอง	37
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
วิธีการทดลอง	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	41
บทที่ 5 สรุป	53
เอกสารอ้างอิง	54
ประวัติผู้วิจัย	

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทอินดิกา จาปอนิกา และจาวานิกา	7
2 ปริมาณไขมันต่างๆ ที่พบในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว	13
3 ปริมาณไขมันที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด	13
4 ปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด	15
5 อุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของสตาร์ชข้าวบางชนิด	21
6 สีและการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินดิน	28
7 ข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวหนึ่ง	34
8 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง	41
9 ความชื้นของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน	42
10 ร้อยละของข้าวกล้อง ร้อยละแกลบ ร้อยละข้าวเต็มเมล็ด และร้อยละของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน	43
11 ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความแตกต่างของสีโดยรวมของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน	45
12 ร้อยละดูดซับน้ำ การละลายและกำลังการพองตัวของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน	49
13 ผลของกระบวนการความร้อนขึ้นต่อระดับการเกิดเจลลาทีโนสของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดพัทลุง	50
14 ผลของกระบวนการความร้อนขึ้นต่อคุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดพัทลุง	52



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	4
2 รูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากข้าว	16
3 แบบจำลองภายในของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากข้าว	17
4 โครงสร้างของอะไมโลส	17
5 โครงสร้างอะไมโลเพกติน	18
6 การเกิดเจลลาทีน	19
7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	24
8 การแทนที่ของแอนโทไซยานิน	27
9 การเปลี่ยนรูปโครงสร้าง (Structural transformation) ของแอนโทไซยานิน	19
10 การกระจายของ $AH^+$ , A, B และ C ของ Cy-3,5-diglucoside ที่สภาวะสมดุล	19
11 ปริมาณแอนโทไซยานินในตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ผ่านกระบวนการนี้ ที่สภาวะต่างๆ	47



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยนั้นมีปริมาณการส่งออกของข้าวเป็นอันดับต้นๆของโลก ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศนับหลายหมื่นล้านต่อปี โดยปลูกเพื่อการบริโภค การแปรรูป และการส่งออก (สำเร็จ แชนัน, 2548) ในปี 2551 ปริมาณการค้าข้าวของโลกทั้งสิ้น 29.60 ล้านตันข้าวสาร ประเทศไทยทำสถิติสูงถึง 10.216 ล้านตัน โดยมีส่วนแบ่งการตลาดส่งออกข้าวสารถึงร้อยละ 34.53 ประเทศไทยมีคู่ค้าที่สำคัญ ได้แก่ ฮองกง จีน มาเลเซีย แคนาดา โกลด์คอสต อีรัก อิหร่าน เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ, 2556) ทั้งนี้ในประเทศไทยมีพันธุ์ข้าวต่างๆที่สำคัญ อาทิเช่น กข5 ขาวดอกมะลิ105 ฉียงพัทลุง เหนียวสันป่าตอง เหลืองประทิว123 และสังข์หยดพัทลุง เป็นต้น

ข้าวสังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองของจังหวัดพัทลุง ที่มีลักษณะพิเศษคือข้าวกล้องมีสีแดงเข้มมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ได้แก่ สารไนอะซินสูงที่มีส่วนช่วยในการของระบบประสาทและผิวหนังวิตามินบี 1 ช่วยในการป้องกันโรคเหน็บชา วิตามินบี 2 ช่วยในการป้องกันโรคปากนกกระจอก นอกจากนี้ยังมีสารแคลเซียมและฟอสฟอรัส ช่วยในการป้องกันโรคกระดูกเสื่อม สารสีแดงของข้าวสังข์หยดเป็นรงควัตถุประเภทฟลาโวนอยด์ ชนิดแอนโทไซยานินซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความชรา และลดความเสี่ยงการเป็นโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง และโรคระบบภูมิคุ้มกันทำงาน ผิดปกติ อีกทั้ง ยังมีสีและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ (อมรรัตน์ ถนอมแก้ว, 2552) แต่อย่างไรก็ตามในข้าวหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะข้าวใหม่ จะมีการแตกหักของข้าวในปริมาณที่มากทำให้ราคาของข้าวลดต่ำลง จึงมีการปรับปรุงคุณภาพข้าวโดยใช้กระบวนการให้ความร้อนขึ้น ทำให้เกิดเป็น “ข้าวนึ่ง”

ข้าวนึ่ง คือข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำ นึ่งด้วยไอน้ำและทำให้แห้งก่อนการขัดสี เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดข้าว ระหว่างการทำข้าวนึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวในหลายรูปแบบ ในขั้นตอนการขัดสีโดยเฉพาะในข้าวใหม่ พบว่ามีการแตกหักของข้าวและเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาานจะทำให้มีการปนเปื้อนของแมลงได้ง่าย จึงมีแนวความคิดในการประยุกต์ใช้วิธีการนึ่งข้าวเพื่อลดการแตกหักของข้าวและลดการปนเปื้อนของข้าวเนื่องจากแมลงระหว่างการเก็บรักษาข้าวได้ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนนั้นมีผลกระทบต่อสารที่สำคัญในข้าว จึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อหา สภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพของข้าวนึ่งสังข์หยดเมืองพัทลุง

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของกระบวนการให้ความร้อนขึ้นต่อคุณภาพของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง
2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง
3. ศึกษาการลดการแตกหักของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง
4. ศึกษาปริมาณสารสำคัญในข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเมื่อผ่านกระบวนการการให้ความร้อน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงสภาวะการผลิตข้าวนึ่งที่เหมาะสมสำหรับข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง
2. สามารถนำกระบวนการการผลิตข้าวนึ่งไปปรับใช้กับเกษตรกรข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

### ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีกายภาพของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 1. ความหมายของข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกในตระกูลหญ้า (Family: Gramineae) สกุลออไรซ่า (Genus: Oryza) ปัจจุบันมีทั้งหมด 24 ชนิด เป็นข้าวปลูกเพื่อบริโภค 2 ชนิดคือข้าวปลูกเอเชีย ออไรซ่า ซาโทวา (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวปลูกแอฟริกา (*O. glaberrima* Steud.) ส่วนที่เหลือเป็นข้าวป่าทั้งหมด (มรกต ต้นติเจริญ 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 อัดตะวิริยะสุข, 2536)

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

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

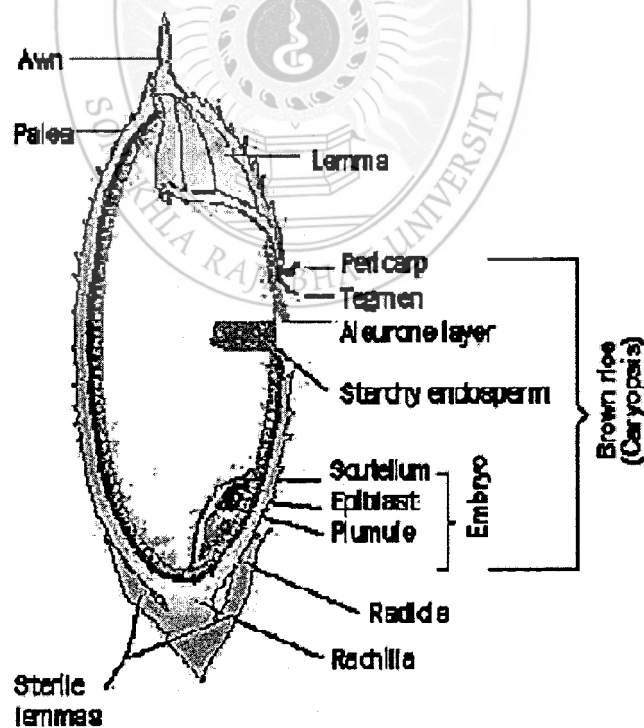
2.2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ tegmen) เป็นเซลล์ชั้นเดียว หนาประมาณ 0.5 ไมครอน อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไปประกอบด้วยเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นชั้นที่มีไขมันอยู่มาก

2.2.3 ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วย เซลล์ 1-7 ชั้น ลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนาจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวเมล็ดป้อม-สั้นจะมีเยื่อชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น และชั้นแอลิวโรนเป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ภายในชั้นแอลิวโรน ประกอบด้วย

โปรตีน ไขมัน วิตามินและมีแป้งเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้องซึ่งไม่ได้ขัดสีเอาชั้นแอลลิวโรนออกไปจึงรู้สึกกระด้างกว่าข้าวสาร

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 จมูกข้าวหรือคัพพะ (embryo) เป็นส่วนเล็กๆอยู่ที่มุมล่างของเมล็ด ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน (radicle), ต้นอ่อน (plumule), เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza), เยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptile), ท่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพพะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมไปด้วยโปรตีนและไขมันส่วนต่างๆ ยกเว้น แป้ง วิตามิน B1 B2 และไนอาซิน ซึ่งวิตามินเหล่านี้จะถูกขัดออกไป เมื่อผ่านกระบวนการขัดขาว (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534 ; เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข, 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 โอโรซา กลาเบอร์ริมา นิยมปลูกในทวีปแอฟริกาฝั่งตะวันตก

3.1.1.2 โอโรซา ซาไตวา นิยมปลูกในทวีปต่างๆทั่วโลก

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

#### 3.2 การจำแนกข้าวตามสภาพภูมิประเทศและวิธีปลูก

3.2.1 ข้าวไร่ (upland rice) คือข้าวที่ปลูกในที่ดอนหรือเชิงเขาที่มีความชุ่มชื้นพอสมควร

3.2.2 ข้าวนาสวน (lowland rice) คือข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่วไปที่มีน้ำขังแต่ลึกไม่เกิน 1 เมตร

3.2.3 ข้าวนาเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ (floating rice) คือข้าวที่ปลูกได้ในน้ำลึกเกินกว่า 1 เมตร ขึ้นไปและมีความสามารถในการยึดตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2527)

#### 3.3 การจำแนกข้าวตามลักษณะความไวต่อความสั้นยาวของช่วงแสงต่อวัน

3.3.1 ข้าวไวแสง คือพันธุ์ข้าวที่ออกดอกออกรวงตามความยาวของช่วงเวลากลางวันที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้อายุไม่แน่นอน ถ้าปลูกในช่วงที่มีกลางวันยาวหรือช่วงการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ในช่วงกลางวันยาวจะทำให้อายุของข้าวยาวนาน 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 อินดิกา (*indica*) จะพบทั่วไปในเอเชียเขตร้อน ปลูกมากในประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย พม่า อินเดีย ลาว เวียดนาม ศรีลังกา เป็นข้าวต้นสูง ฟางอ่อน เมล็ดยาวเรียวยาว ข้าวอินดิกาจะมีความผันแปรของพันธุ์มาก เช่น ความต้องการน้ำซึ่งขึ้นได้ทั้งในที่ดอนจนถึงที่ลุ่มน้ำขังลึกถึง 5 เมตร

3.5.2 จาปอนิกา (*japonica*) จะพบในเขตอบอุ่น เช่น ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี จีนตอนเหนือและตะวันออก จะมีความผันแปรของพันธุ์น้อยกว่าข้าวอินดิกาเป็นข้าวต้นเตี้ย เมล็ดน้อย

3.5.3 จาวานิกา (*javanica*) เป็นข้าวที่พบในประเทศอินโดนีเซียบางท้องที่เท่านั้น อาจมีปลูกบ้างในฟิลิปปินส์ อินเดีย มีลักษณะคล้ายจาปอนิกา (ปราณีต จิระสุทัศน์, 2531)

ตารางที่ 1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทอินдика จาปอนิกา และจาวานิกา

ลักษณะ	ชนิดข้าว		
	อินдика	จาปอนิกา	จาวานิกา
รูปร่างและสีใบ	กว้าง สีเขียวอ่อน	แคบ สีเขียวแก่	กว้าง เข้ม สีเขียวอ่อน
เมล็ด	ยาว ค่อนข้างแบน	สั้น กลม	กว้างหนา
การแตกกอ	แตกกอมาก	แตกกอปานกลาง	แตกกอน้อย
ลำต้น	สูง อ่อน	เตี้ย แข็ง	สูง แข็ง
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 เมื่อหุงต้มแล้วจะพบว่ามีความนุ่มและการเกาะตัวดีใกล้เคียงกับข้าวเหนียว เช่น ข้าวพวกจาปอนิกา แต่คุณลักษณะอื่นๆ ในการหุงต้มและลักษณะทางเคมียังคงมีลักษณะเป็นข้าวเจ้าอยู่ ความนุ่มของข้าวเจ้าจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสในเมล็ด ปริมาณโปรตีน อายุ การเก็บรักษา ปริมาณน้ำใน การหุงต้ม เป็นต้น (วาสนา ผลรักษ์, 2523) ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะอ่อนนุ่มหรือแข็งกระด้างต่างกันไป เรียกว่า มีคุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) ต่างกัน กล่าวคือข้าวพันธุ์ที่ยังมีอะไมโลสมากจะยังมีเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่แข็งมาก (ชาญ มงคล, 2536)

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

ข้าวเหนียวจะมีลักษณะของเนื้อเมล็ดเป็นสีขาวขุ่น เมื่อนำไปหุงต้มจะเหนียวเมล็ดเกาะตัวกันดีมาก แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพคตินและมีอะไมโลสเป็นส่วนน้อยหรืออาจไม่มีเลยในเมล็ดจะประกอบไปด้วยอะไมโลเพคตินร้อยละ 92 - 100 และอะไมโลส ร้อยละ 0 - 8 ของน้ำหนักเมล็ด เมล็ดข้าวเหนียวเมื่อนำไปนึ่งจึงความนุ่มของแต่ละพันธุ์ไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่พันธุ์ที่มีความนุ่มน้อยกว่าจะเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณของอะไมโลส อยู่สูงกว่า นอกจากนี้



อาจเป็นเพราะปริมาณโปรตีนในเมล็ด อายุการเก็บรักษาและสภาพที่เก็บรักษาด้วย (วาสนา ผลารักษ์, 2523)

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

<u>ชั้นของเมล็ดข้าว</u>	<u>ขนาด (มิลลิเมตร)</u>
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

<u>USDA Scale</u>	<u>ความยาว (มิลลิเมตร)</u>
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

<u>รูปร่างเมล็ด (grain shape)</u>	<u>ความยาว / ความกว้าง</u>
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 ไม่มีการเปรียบเทียบพันธุ์ตามหลักวิชาการเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะ

เหมาะสมกับการต่อสู้กับธรรมชาติ เช่น ต้นสูง เมล็ดมี หาง ปรับตัวได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อย นอกจากนี้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองมักไวต่อช่วงแสง (ประณีต จิระสุทัศน์, 2531) ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยนับว่าเป็นความหลากหลายทางด้านพันธุกรรม (genetic diversity) เป็นฐานพันธุกรรมที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ได้พันธุ์ดีในอนาคต ถ้าพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีคุณภาพดีหรือทนทานต่อสภาพแวดล้อมดีได้สูญพันธุ์ไป ก็จะไม่สามารถสร้างพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของตลาดต่อไปได้ การตั้งชื่อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยจะเป็นการตั้งชื่อตามความพอใจของเจ้าของพันธุ์ โดยไม่ได้ประเมินคุณลักษณะประจำพันธุ์ทางด้านวิชาการมาก่อน ดังนั้นโอกาสที่จะซ้ำกันจึงเป็นไปได้ สำหรับการตั้งชื่อพันธุ์จะตั้งตามสถานที่ แหล่งที่พบหรือสถานที่ที่เก็บรวบรวมมา ตามลักษณะรูปรณสัณฐานที่พบตามจังหวัดตามชื่อคน ชื่อดอกไม้ ผลไม้ สัตว์ สิ่งของ และชื่อที่บ่งบอกความหมายเป็นต้น (ฉวีวรรณ วุฒินาโณ, 2543)

**3.8.2 ข้าวพันธุ์ดี (high yield varieties)** เป็นข้าวที่ทางราชการได้ปรับปรุงและขยายพันธุ์ออกเผยแพร่สู่เกษตรกร ข้าวพันธุ์ดีโดยทั่วไป หมายถึง พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีความต้านทานโรคและแมลงดี มีอายุ พอเหมาะ สามารถปรับตัวเองเข้ากับสภาพท้องที่ที่ปลูกได้ดี มีเมล็ดได้มาตรฐาน มีคุณภาพหุงต้มดี ข้าวพันธุ์ดีอาจเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่นักวิชาการคัดเลือกมาจากพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรปลูกอยู่มาคัดเลือกและทดสอบลักษณะต่างๆที่ต้องการ แล้วคัดเลือกส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหรืออาจเป็นพันธุ์ข้าวที่ผสมพันธุ์ขึ้นมาใหม่แล้วทำการคัดเลือกและคัดลักษณะที่ต้องการไว้หลายชั่วอายุ จนพันธุกรรมคงที่ไม่กระจายตัว แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลผลิต 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) ลักษณะท้องไข (chalkiness) ความใสของเมล็ด (grain translucency) ความขาวของข้าวสาร (whiteness of milled rice) และคุณภาพการสี (milling quality) (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

**4.1.1 น้ำหนักเมล็ด** เป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุด และควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่ น้ำหนักเมล็ดจะแปรไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศก็มีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดด้วย 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 ถ้าเป็นข้าวเปลือก เมล็ดสั้นในจำนวน 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 เปลือกเมล็ดข้าวจะมีผลต่อสีของข้าวสารหนึ่ง คือ เมล็ดข้าวเปลือกที่มีสีเข้ม ข้าวสารหนึ่งก็จะมีสีเข้มด้วย สีข้าวเปลือกที่พบจะมีสีขาว (white) ฟาง (straw) น้ำตาลอ่อนถึงเข้ม (light to dark brown) ร่องน้ำตาล (brown furrow) กระจน้ำตาล (brown spot) น้ำตาลแดง (reddish brown) ม่วง (purple) และดำ (black) เป็นต้น (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

4.1.3 สีข้าวกล้อง เกิดจากสารสีที่เยื่อหุ้มผล (pericarp) ส่วนเนื้อในเมล็ดของข้าวทุกชนิดมีสีขาวเสมอ จากการสำรวจพันธุ์ข้าวต่างๆ ในธนาคารเชื้อพันธุ์ข้าวของศูนย์วิจัยข้าว ปทุมธานี พบว่าข้าวกล้องมี 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ (ม่วง) ส่วนใหญ่มีสีขาวข้าวกล้องที่มีสีแดงและม่วง มีสารสีฟวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin pigment) ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดร้านานหรือใช้แรงกดมากเพื่อให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออกเป็นผล ทำให้ข้าวหักมากมีปริมาณข้าวสารน้อย ดังนั้นข้าวกล้องที่มีสีอ่อนจึงเป็นที่นิยม เช่น สีขาวหรือน้ำตาล (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

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

**4.1.5 ลักษณะท้องไข่** หมายถึง จุดขาวขุ่นคล้ายขอล์กที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ด เป็นลักษณะที่เกิดจากการจับตัวอย่างหลวมๆ ของเม็ดสตาร์ช (starch granule) กับเม็ดโปรตีน (protein body) ในเนื้อเมล็ดลักษณะนี้ควบคุมโดยพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ลักษณะท้องไข่เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพและราคาของข้าว ข้าวที่เป็นท้องไข่มากเมื่อนำไปสีจะมีข้าวหักมากและไม่เป็นข้าวเกรดสูง เช่น ข้าวร้อยละ 100 เพราะข้าวเกรดสูงจะมีท้องไข่ได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ข้าวท้องไข่มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น ข้าวท้องปลาชิว ข้าวทองขาวหรือข้าวจ๊กก๊ เป็นต้น (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

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, 2534)

**4.1.7 ความขาวของข้าวสาร** ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี (degree of milling) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดเกรดของข้าว อายุการเก็บข้าว โดยข้าวที่เก็บไว้นานๆ จะมีสีคล้ำเก่าขาวไหม นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวสารที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

**4.1.8 คุณภาพการสี** ปริมาณข้าวสารและต้นข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกเป็นสิ่งที่ยังบ่งบอกถึงคุณภาพการสี ซึ่งการทดสอบมีขั้นตอน ดังนี้

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

การตรวจสอบคุณภาพการสีมักกระทำเมื่อได้ข้าวสายพันธุ์ดีเด่น ซึ่งมีลักษณะคงที่ และข้อมูลที่ได้นำไปใช้ประกอบการพิจารณาพันธุ์ในการคัดข้าวเปลือกข้าวส่วนใหญ่มี ปริมาณ แกลบประมาณร้อยละ 20 - 22 ปริมาณแกลบของข้าวพันธุ์ ต่างๆ อาจแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 18 - 26 ปริมาณรำถูกขัดออกประมาณร้อยละ 8 - 10 ที่เหลือเป็นข้าวสารประมาณร้อยละ 70 ในส่วนของข้าวสารจะมีต้นข้าว (เมล็ดที่มีขนาดยาวกว่า 8/10 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ด) และข้าว หักปนอยู่ ข้าวที่มีคุณภาพการสีดีควรสีได้ต้นข้าวไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 - 50 ขึ้นไป พันธุ์ข้าวที่มี ขนาดเมล็ดยาว หรือเมล็ดยาวที่มีรูปร่างป้อมและเมล็ดมีท้องไข่มาก มักมีต้นข้าวต่ำเมื่อผ่านการ สี เช่น พันธุ์ข้าวขึ้นน้ำส่วนใหญ่มีท้องไข่มากและมีคุณภาพการสีต่ำ นอกจากนี้พันธุ์ข้าวที่มี รูปร่างเมล็ดผิดปกติ เช่น ปลายแหลมมากมีคัพพะหรือจุกข้าวใหญ่จะหักง่ายในระหว่างการสี พันธุ์ข้าวที่มีเปลือกบางยอมสีได้ข้าวสารมาก การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การนวด การ ตากแห้งที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไปก็ทำให้ เมล็ดข้าวร่วงก่อนสีและทำ ให้คุณภาพการสีต่ำ การสีข้าวที่มีความชื้นสูงก็ทำให้เมล็ดหักง่ายเช่นกัน (งามชื่น คงเสรี, 2542)

#### 4.2 คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้าและเส้นใยอาหาร มีผลมาจากพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร

##### 4.2.1 ไขมัน

ปริมาณไขมันในส่วนต่างๆของข้าวจะมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) จะเห็นว่า ข้าวกล้องมีปริมาณไขมันมากกว่าข้าวขัดขาว กล่าวคือ ไขมันจะอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด ดังนั้นจะเห็นจากปริมาณไขมันปริมาณไขมันในรำมีสูงถึงร้อยละ 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	ข้าวขัดขาว	รำ	คัพพะ
ปริมาณไขมันทั้งหมด (wt%)	0.4	2.7	0.8	18.3	30.2
ชนิดกรดไขมัน (wt%)					
พาล์มมิติก	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 ไขมันอยู่ติดกับโปรตีน ซึ่งอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอกหรืออาจอยู่รวมกับโครงสร้างอะไมโล-เพคตินสายนอก เช่น สาย A หรือ B ส่วนผิวของเม็ดสตาร์ชลักษณะที่สองไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ชและลักษณะที่สามอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชแต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (Morrison, 1988)

ตารางที่ 3 ปริมาณไขมันที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด

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
เฉียงพัทลุง	2.42	0.27
เหนียวแพร	2.84	0.38
เหนียวสันป่าตอง	2.39	0.33

ที่มา : กรมการข้าว (2550)

ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่ คือ ไตรกลีเซอไรด์รองลงมาคือ ฟอสโฟลิปิด ไกลโคไลปิด และเทอร์พีนอยด์ ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบโมโนแอซิลซึ่งกลุ่มของโมโนแอซิลจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าสำหรับไขมันภายในเม็ดสตาร์ชและสตาร์ชยังมีไลโซเล-ซิทีน และกรดไขมันอีกด้วย (Henry และ Kettlewell, 1996)

ไขมันที่รวมอยู่ในเมล็ดสตาร์ชจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของสตาร์ช โดยเฉพาะความสามารถในการพองตัวการละลายและการจับตัวกับน้ำของสตาร์ช เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียกไขมันจะรวมตัวกับอะไมโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฉื่อย ทำให้ แป้งเปียกทึบแสง ชุ่ม นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้ง ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

Hibi และคณะ (1990) ศึกษาผลของไขมันต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ชในข้าวหุงสุกและระหว่างการเก็บรักษาข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 5 องศา-เซลเซียส พบว่าสตาร์ชข้าวที่ผ่านการหุงแล้วเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นแบบ V-Type ต่างจากลักษณะ A-Type ของข้าวที่ไม่ได้หุงสุกซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรวมตัวกันของอะไมโลสกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เมื่อเก็บรักษานานขึ้นตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสตาร์ชจาก V-Type ไปเป็นแบบ B-Type ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชเกิดขึ้นจากการคลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับอะไมโลส

#### 4.2.2 โปรตีน

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

ปริมาณของโปรตีนที่พบในข้าวแต่ละชนิดจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์เนื่องมาจากปัจจัยทางพันธุกรรม สิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกและกระบวนการขัดสี จะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงเพราะโปรตีนส่วนมากจะพบที่ผิวของเมล็ดข้าวและอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนมาก ซึ่งจะเกิดการสูญเสียในระหว่างการขัดสี จึงพบปริมาณโปรตีนในข้าวขัดขาวต่ำกว่าในข้าวกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด

พันธุ์ข้าว	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ขาวดอกมะลิ	7.16	6.27
ปทุมธานี	8.44	7.08
สังข์หยดพัทลุง	7.41	6.72
เล็บนกปัตตานี	7.20	6.32
เลี้ยงพัทลุง	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 อัตราการพองตัวและอัตราการเกิดเจลลาที่โนเซชันต่างกันออกไป ทำให้เกิดปฏิกิริยามอลาร์ด (กลั่นรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

Chrastil (1990) ทดลองหาอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนออริซานินกับสตาร์ชข้าว ในขณะที่เก็บรักษา พบว่าความเหนียวของข้าวหุงสุกมีผลมาจากการเกาะเกี่ยวกันของออริซานินกับโมเลกุลสตาร์ชทั้งในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยทดลองในลักษณะระบบจำลองจากการสกัดสตาร์ช อะไมโลส และสตาร์ชที่ปราศจากออริซานินแล้วเติมออริซานินเปรียบเทียบกับลักษณะที่เติมกับไม่เติม เปรียบเทียบกับข้าวปกติที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่ามีความสัมพันธ์ กับโปรตีนและความเหนียวของข้าว โดยในโครงสร้างของโปรตีนส่วนที่มีพันธะซัลไฟด์คู่ คือซิสทีนที่เกาะเกี่ยวกับเม็ดสตาร์ชจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้ความหนืดต่ำความเหนียวลดลงปริมาณโปรตีนมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าว กล่าวคือข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงดูดซึมน้ำได้ช้ากว่าเนื่องจากโปรตีนที่อยู่รอบโมเลกุลของสตาร์ชจะขัดขวางการดูดซึมน้ำดังนั้นการดูดซึมน้ำจึงเกิดอย่างช้าๆ นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนสูงยังทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลลาที่โนเซชันสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2536 ; น้ำฝน ศีตะจิตต์., 2548) และนอกจากนี้ปริมาณโปรตีนยังมีความสำคัญกับความเหนียวของข้าว คือ ในระหว่างการหุงต้มข้าวทำให้โปรตีนออริเซนิน (Oryzenin) และสตาร์ชบางส่วนถูกทำลาย ซึ่งทั้งสองส่วนนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกันได้เกิดโปรตีนออริเซนินกับสตาร์ชมากทำให้มีความเหนียวมาก แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นานความสามารถในการเกิดพันธะระหว่างโปรตีนออริ-



เซินกับสตาร์ชลดลง ทำให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียวลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน (Ramesh และคณะ, 2000)

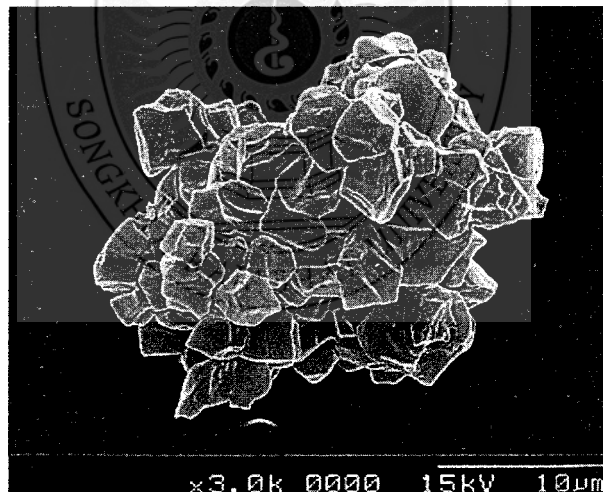
#### 4.2.3 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในข้าวพบอยู่ในรูปสตาร์ช น้ำตาล เซลลูโลส และเฮมิ-เซลลูโลสโดย คาร์โบไฮเดรตที่พบส่วนมากอยู่ในรูปของสตาร์ชประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักแป้งสตาร์ชจะ ประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกตินเป็นหน่วยย่อยที่สำคัญ

##### 4.2.3.1 สตาร์ช

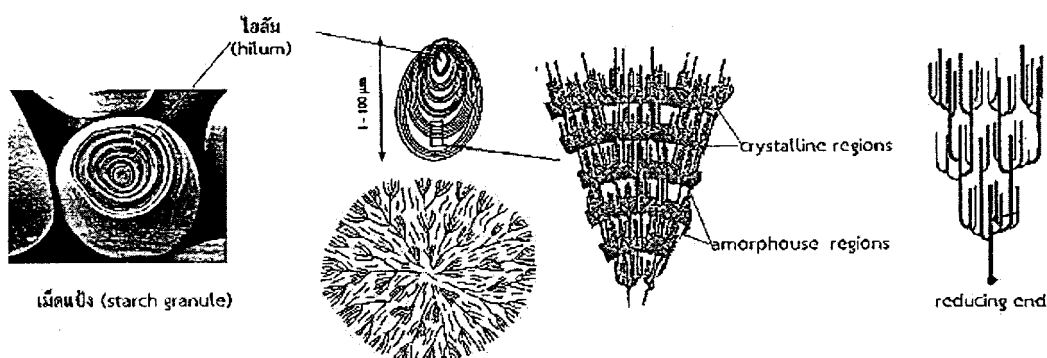
สตาร์ช ชั้นในเมล็ดนี้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักคือ สตาร์ชโดยมีอยู่ถึง 90% ในรูปเมล็ดสตาร์ชข้าวซึ่งมีรูปทรงหลายเหลี่ยมอัดแน่นรวมกันเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ชขนาด 3-9 ไมครอนหรือเดี่ยว ขนาด 2-4 ไมครอน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสและเป็นโฮโมพอลิ-แซ็กคาไรด์ ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ภายในเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูแคน 2 ชนิดผสมกัน คือ อะไมโลสและอะไมโลเพกติน (นิธิยา รัตนานนท์, 2545)



ภาพที่ 2 รูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากข้าว

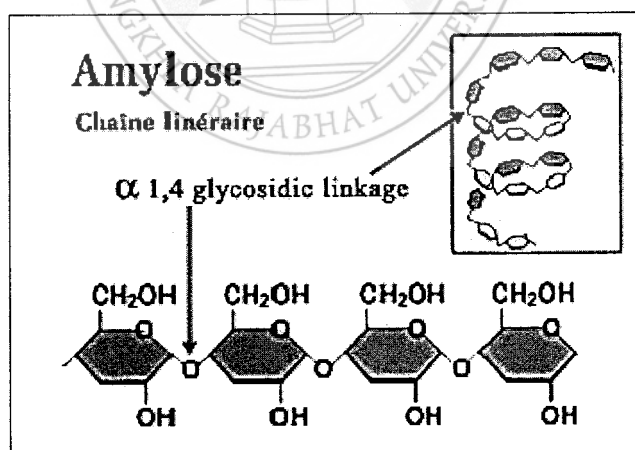
ที่มา : Cheng และ Lai (1991)



ภาพที่ 3 แบบจำลองภายในของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากข้าว  
ที่มา : พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์ (2557)

#### 4.2.3.2 อะไมโลส

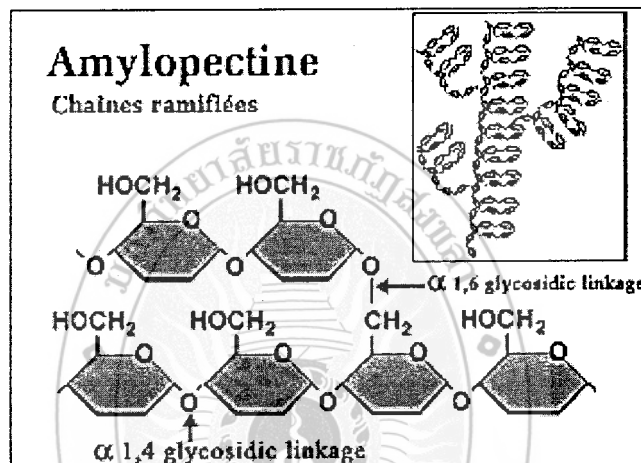
อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา-1,4-กลูโคซิดิก ( $\alpha$ -1,4-glycosidic linkage) ดังภาพที่ 4 สตาร์ชแต่ละชนิดมีระดับพอลิเมอร์ไรเซชัน (degree of polymerization : DP) ของอะไมโลสต่างกัน โครงสร้างของอะไมโลสอยู่ในเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว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



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

### 4.2.3.3 อะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4- กลูโคซิดิก และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีระดับพอลิเมอร์ไรเซชันอยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิก หน่วยกลูโคสที่มีพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิกมีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โครงสร้างอะไมโลเพกติน

ที่มา : science.srru.ac.th (2557)

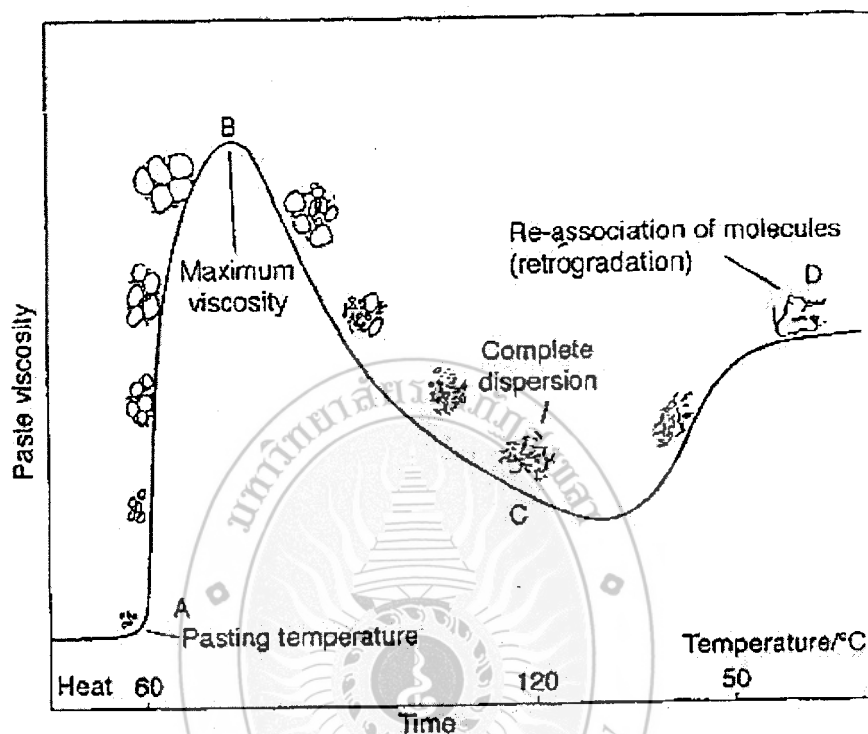
โครงสร้างของอะไมโลเพกตินส่วนหนึ่งแสดงลักษณะที่เป็นผลึก (crystallite region) ส่วนที่สองแสดงลักษณะอสัณฐาน (amorphous region) โดยมีอะไมโลสอยู่ในทั้งสภาพอิสระ สภาพที่อยู่ร่วมกับลิพิด และอยู่ร่วมกับอะไมโลเพกตินเป็นเกลียว

## 5. การเปลี่ยนแปลงของข้าวเมื่อได้รับความร้อน

### 5.1 การเกิดเจลาทีไนซ์

เจลาทีไนเซชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารละลายสตาร์ชได้รับความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) คือพันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัว ดูดน้ำและพองตัว ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดและใสขึ้น ความหนืดที่เปลี่ยนไปสามารถวิเคราะห์ได้ด้วย เครื่องวัดความหนืดของแป้ง (Brabender Visco Amylograph), เครื่องวัดพฤติกรรมทางด้านความข้นหนืดและการคืนตัวกลับของแป้ง (Rapid Visco Analyzer) และเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถผันกลับได้สตาร์ชจะสูญเสีย

ความสามารถในการบดระนาบแสงโพลาไรซ์ และสูญเสียความเป็นผลึก (Slad และ Levine, 1988) อุณหภูมิที่สารละลายนี้เริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเจลาติไนซ์



ภาพที่ 6 การเกิดเจลาติไนซ์

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/350/gelatinization-การเกิดเจลาติไนซ์> (2557)

## 5.2 อุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน

การตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของเมล็ดข้าวทำได้ด้วยการวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง (กรมการข้าว, 2552) และด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ใช้ ในการเกิดเจลาติไนเซชันด้วยเครื่อง DSC ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลง (Onset,  $T_o$ ) ค่าอุณหภูมิสูงสุด (Peak,  $T_p$ ) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด (Endset,  $T_e$ ) และค่าพลังงานเอนทัลปี (Enthalpy) ของการเกิดเจลาติไนเซชัน ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน เช่น การจัดเรียงตัวและความแข็งแรงของโมเลกุลของสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมีนอกจากนี้สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินและปริมาณฟอสฟอรัสก็มีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันด้วย (Tester, 1997) แต่พบว่าขนาดโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินไม่มีผลต่อค่าพลังงานเอนทัลปีในการเกิดเจลาติไนเซชัน (Chiang และ Yeh, 2002) อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งจะแตกต่างกันกับสตาร์ชโดยที่สตาร์ชมีค่า  $T_o$ ,

$T_p$ , และ  $T_c$  ต่ำกว่าของแป้งเนื่องจากแป้งมีองค์ประกอบทางเคมี เช่น ไขมันและโปรตีนสูงกว่าสตาร์ช แต่สตาร์ชมีค่าเอนทัลปีสูงกว่าของแป้ง

Normand และ Marshall (1989) ศึกษาการเกิดเจลลิตีในเซชันของเมล็ดข้าวและแป้งข้าวด้วย DSC พบว่าเมล็ดข้าวจะแสดงการเปลี่ยนแปลงการดูดความร้อนสองครั้ง โดยในครั้งแรกเกิดในช่วงอุณหภูมิ 60 -70 องศาเซลเซียส พิกที่ได้จะเล็กและแคบ ช่วงที่สองเกิดที่ 80 - 90 องศาเซลเซียส พิกที่ได้จะใหญ่กว่าแต่แป้งข้าวจะดูดความร้อนเพียงครั้งเดียวเนื่องจากโครงสร้างไม่สมบูรณ์ เพราะโครงสร้างบางส่วนของแป้งข้าว เช่น ผนังเซลล์ถูกทำลายในระหว่างการบดแห้งดังนั้นค่าเอนทัลปีในการเกิดเจลลิตีในเซชันของเมล็ดข้าวสูงกว่าแป้งข้าวประมาณร้อยละ 40

Li และ Yeh (2001) ศึกษาการพองตัวของสตาร์ชจากธัญพืชจากรากและหัวในช่วงอุณหภูมิจาก 55 - 95 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีการพองตัวสูงสุด สตาร์ชข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูงมีการพองตัวต่ำสุดและพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งสตาร์ชสาคุและสตาร์ชข้าวโพดเหนียวมีการพองตัวสูงถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเริ่มลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น

Noosuk และคณะ (2003) ศึกษา กำลังในการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชข้าวไทยพันธุ์ กข6 พันธุ์หอมมะลิ และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (กข6) มีกำลังในการพองตัวสูงที่สุด (ร้อยละ 33.54 - 34.92) และมีความสามารถในการละลายต่ำ (ร้อยละ 6.00 - 8.50) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากข้าวพันธุ์อื่น กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหล่านั้นลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการละลายมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสลดลง การพองตัวของเมล็ดสตาร์ชเป็นผลเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกของเมล็ดสตาร์ชถูกทำลาย จากนั้นโมเลกุล ของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ การมีปริมาณอะไมโลสในปริมาณมากช่วยเสริมให้อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลภายในเมล็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระในสายโมเลกุลของสตาร์ชมีค่าลดลงและทำให้การพองตัวของเมล็ดสตาร์ชต่ำลง แต่สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงก็จะมีปริมาณอะไมโลส ที่ละลายออกมาจากเมล็ดสตาร์ชสูงด้วย

รุ่งนภา และคณะ (2546) ศึกษาการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวไทยจำนวน 16 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ105 ปทุมธานี1 ชัยนาท1 สุพรรณบุรี90 เหลืองประทิว123 กข23 กข6 เหนียวสันป่าตอง พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี 1 พิษณุโลก2 เฉียงฟ้าสูง สังข์หยด ขาวห้าร้อย กข15 และแจ๊กเชย ด้วยเครื่อง DSC ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวให้ผลสอดคล้องกับอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ที่ตรวจสอบด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะสูงกว่าในสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เพราะ

โครงสร้างของอะไมโลสในสตาร์ชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเกลียวม้วน ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้นจึงส่งผลให้เกิดเจลที่ในเซชันที่อุณหภูมิสูงกว่า

ดังนั้นสตาร์ชข้าวแต่ละชนิดจึงมีเจลลิตีในเซชันต่างกัน ดังตารางที่ 8 จะเห็นว่าข้าวเหนียวมี  $T_0$  ที่ต่ำกว่าข้าวเจ้าคืออยู่ในช่วง 49.00 - 67.29 องศาเซลเซียส ในขณะที่ข้าวเจ้ามี  $T_0$  อยู่ในช่วง 66.00 - 66.84 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันมีความสำคัญต่อการแปรรูปข้าว

ตารางที่ 5 อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวบางชนิด

พันธุ์ข้าว	$T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_p$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	H (J/g)	อ้างอิง	
Waxy rice	RD 6	60.74	67.75	74.32	14.15	Lumdubwong และคณะ (2005)
	RD 8	62.43	67.75	74.62	14.40	Lumdubwong และคณะ (2005)
	HY 71	61.30	66.58	73.77	16.50	Lumdubwong และคณะ (2005)
	SMJ	61.58	67.62	74.26	16.53	Lumdubwong และคณะ (2005)
	PR 103	67.29	71.94	78.04	11.88	Sodhi และ Singh (2003)
	IR 65	49.00	67.60	84.70	15.00	Sodhi และ Singh (2003)
	IR 29	52.00	68.50	83.70	13.80	Tester และ Morrisson (1990)
	MalagkitSungsong	51.00	67.60	85.30	14.40	Tester และ Morrisson (1990)
	Inilang-ilang	65.00	76.70	90.50	17.20	Tester และ Morrisson (1990)
	Perurutong NBA	64.00	77.20	93.50	18.40	Tester และ Morrisson (1990)
	Nathasiq	64.70	78.80	93.50	17.80	Tester และ Morrisson (1990)
Non waxy rice	PR 114	66.38	70.09	74.75	8.97	Sodhi และ Singh (2003)
	IR 8	66.33	69.74	74.08	8.55	Sodhi และ Singh (2003)
	PR 113	66.00	69.75	75.08	9.49	Sodhi และ Singh (2003)
	PR 106	66.84	70.07	74.27	8.16	Sodhi และ Singh (2003)

### 5.3 การเกิดรีโทรกราเดชัน

การเกิดรีโทรกราเดชันหรือการคืนตัวเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุลอะไมโลส หลังจากผ่านการเกิดเจลลิตีในเซชันแล้วสายโมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่และยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (Zhou และคณะ, 2002) เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีกมีความคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน หรือ การคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้นโมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า ซินเนอริซิส (Syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของสตาร์ช

เมื่อลดอุณหภูมิของสารละลายลงอย่างช้าๆจะเกิดตะกอน แต่ถ้าลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจล

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

Kim และคณะ (1997) ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นของแป้งต่างกันคือร้อยละ 10 และ 50 เป็นเวลา 1, 3 และ 6 วัน ด้วยเครื่อง DSC พบว่าแป้งข้าวเจ้าที่มีความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 50) มีค่าการเกิดรีโทรกราเดชันสูงกว่าแป้งที่มีความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 10) และแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเกิดรีโทรกราเดชันได้มากกว่าและเร็วกว่าแป้งข้าวเจ้าที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการรับประทานของข้าว เนื่องจากข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำและยังมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการแปรรูปอีกด้วยเพราะสตาร์ชที่มีอะไมโลสสูง จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสามารถในการคืนตัวมากขึ้น ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง

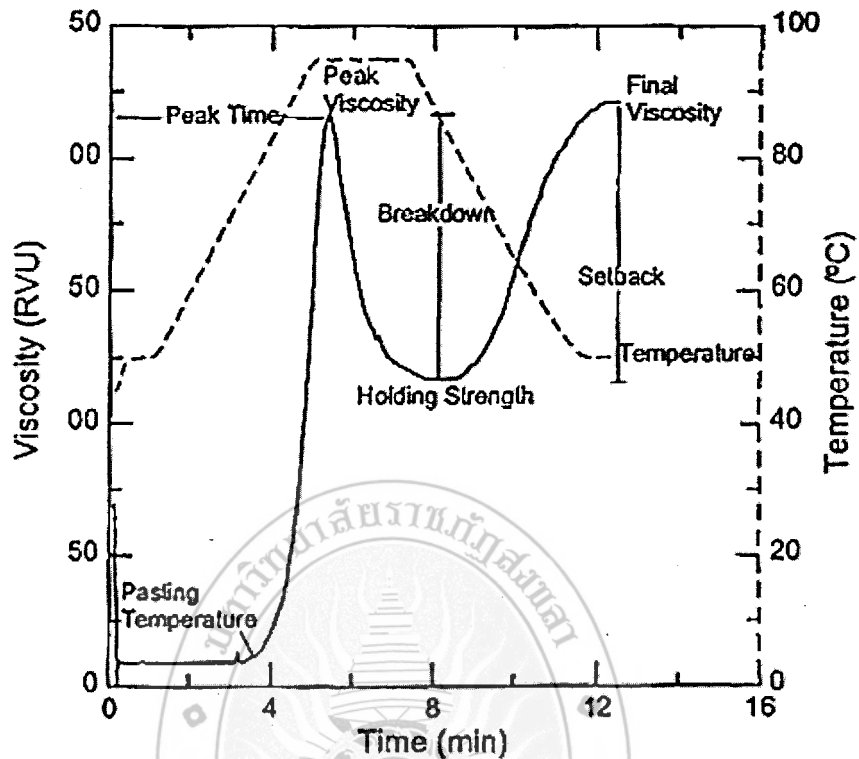
Vandeputte และคณะ (2003) ศึกษาผลของโครงสร้างของอะไมโลเพคตินต่อการเกิดรีโทรกราเดชันและเนื้อสัมผัสของเจลจากสตาร์ชข้าว ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยข้าวเหนียวที่มี  $T_p$  ต่ำจำนวน 5 พันธุ์ ข้าวเจ้าที่มี  $T_p$  ต่ำ 3 พันธุ์ ข้าวเจ้าที่มี  $T_p$  ปานกลาง 4 พันธุ์ และข้าวเจ้าที่มี  $T_p$  สูงจำนวน 3 พันธุ์ตรวจระดับการเกิดรีโทรกราเดชันด้วย DSC และเนื้อสัมผัสของเจล (ตัวอย่างเข้มข้นร้อยละ 8) ผลการทดลองพบว่าการเกิดรีโทรกราเดชันและเนื้อสัมผัสของเจลมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอะไมโลสบริสุทธิ์ (AAM) อะไมโลสอิสระ (FAM) อะไมโลสไลปิดคอมเพล็กซ์ (LAM) และความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคติน ตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ (Ambient) จะมีการเกิดรีโทรกราเดชันที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณ AAM และ FAM แต่การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 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 เพิ่มขึ้นและขนาดของอะไมโลเพคติน  
 ไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของเจล

#### 5.4 ความหนืดของแป้ง (Viscoamylograph)

อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดของแป้งสามารถวัดได้โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งแสดงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อน เมื่อให้ความร้อนเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ความหนืดเริ่มต้นเพิ่มขึ้นความหนืดจะสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เรียกความหนืดที่จุดสูงสุดนี้ว่า peak viscosity แสดงถึงความสามารถในการรวมตัวของน้ำแป้งเอง อะไมโลเพคตินมีความสามารถรวมตัวกับน้ำสูงปัจจัยที่มีผลต่อ peak viscosity ได้แก่ อายุการเก็บรักษา (Aging) ปริมาณโปรตีน และปริมาณอะมิโลส โดยทั่วไปแป้งจากข้าวจะมี peak viscosity ต่ำกว่าแป้งอย่างอื่น ยกเว้นแป้งข้าวเหนียว (waxy starch) หลังจากเกิด peak viscosity แล้วความหนืดจะลดลงเนื่องจากการแตกตัวของเม็ดแป้ง อะมิโลสจะถูกปล่อยออกมาที่สารละลาย และอาจมีบางส่วนที่เป็นอะมิโลเพคตินด้วย ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่ ขั้นตอนสลายตัวหรือเรียกว่า breakdown ค่า breakdown มีความสัมพันธ์กับอะมิโลส เมื่อเข้าสู่ระยะการทำให้แป้งเย็นตัวลง ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีกเป็นความหนืดที่เกิดจากโครงสร้างของแป้งที่เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (retrogradation) ช่วงอุณหภูมิที่แป้งคืนตัวเรียกว่า setback ส่วน peak viscosity มีหน่วยเป็น RVU ค่านี้สามารถใช้ในการคาดคะเนความแข็งแรงกระด้างของข้าวสุกได้อัตราส่วนระหว่างอะมิโลสต่ออะมิโลเพคตินมีผลต่อการเกิด setback เมื่อระดับอะมิโลสสูงทำให้ setback สูงขึ้นตาม (Leach และคณะ, 1959 ; จารนัย พาณิษย์กุล, 2537) ดังภาพที่ 7





ภาพที่ 7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA  
ที่มา : จารนัย พาณิชกุล (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) การตากข้าวเปลือก



เพื่อลดความชื้นลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา (ความชื้นไม่สูงกว่าร้อยละ 14) จนถึงเวลาการสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นที่เหมาะสมก็จะทำให้ข้าวที่เต็มเมล็ดสูงและหักน้อย

## 6. ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีแหล่งกำเนิดในจังหวัดพัทลุง มีการเพาะปลูกกันมานานมากกว่า 100 ปี เป็นข้าวที่มีคุณค่าด้วยตัวของพันธุ์ข้าวเอง ถูกเก็บรักษาไว้ด้วยวัฒนธรรมและภูมิปัญญาของชาวพัทลุง ซึ่งจากข้อมูลการรวบรวมพันธุ์ข้าวในปี 2495 - 2496 โดยกองบำรุงรักษาพันธุ์ข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่ามีข้าวสังข์หยดเป็นหนึ่งในตัวอย่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่เก็บรวบรวมจากจังหวัดพัทลุง และได้รับการปรับปรุงพันธุ์เรื่อยมาจนได้สายพันธุ์ข้าวสังข์หยดที่ดี มีความสม่ำเสมอตามลักษณะประจำพันธุ์คือข้าวสังข์หยดเป็นข้าวที่ไวต่อแสง เป็นข้าวนาสวนที่มีคุณภาพดี ด้านทานโรคและแมลงศัตรูพืชสามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 330 กิโลกรัมต่อไร่ เปลือกเมล็ดมีสีม่วง เมล็ดยาวเรียวยาว ข้าวสารมีสีขาวขุ่น ข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มสีขาวปนแดงจางๆจนถึงสีแดงเข้ม เมื่อหุงสุกจะมีความนุ่ม ข้าวสังข์หยดยังได้รับคำประกาศรับรองให้เป็นสินค้าบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographic Indications : GI) ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ พ.ศ. 2546 โดยใช้ชื่อว่า “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” ซึ่งนับว่าเป็นข้าวพันธุ์แรกที่ได้รับการรับรองให้เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ เพื่อส่งเสริมให้มีการพัฒนาคุณภาพสินค้าที่ผลิตในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและเป็นเครื่องมือทางการตลาดเพื่อพัฒนาทางด้านการค้า และเป็นการกระตุ้นให้ผู้ผลิตในท้องถิ่นมีการดูแลรักษามาตรฐานของสินค้าพร้อมทั้งเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มและกระจายรายได้สู่ท้องถิ่น และสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชน ภายในข้าวสังข์หยดจะมีรวงควัดๆต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค

### 6.1 แอนโทไซยานิน

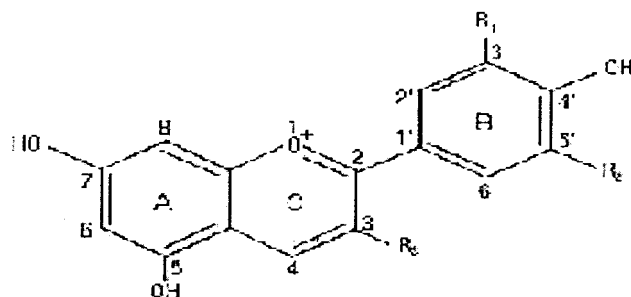
แอนโทไซยานิน (anthocyanins) มีชื่อย่อมาจากรากศัพท์เดิมของกรีก คือ anthos แปลว่า ดอกไม้และ kyanos แปลว่า สีน้ำเงิน แอนโทไซยานิน จึงหมายถึง ดอกไม้สีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water – soluble pigment) จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป ตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง โดยมีสีน้ำเงินเข้มในสภาวะที่เป็นด่าง (pH มากกว่า 7) มีสีม่วงเมื่อเป็นกลาง (pH 7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้มในสภาวะที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 7) สามารถพบแอนโทไซยานินได้ทั่วไปในแคว้นโอลและเซลล์เนื้อเยื่อชั้นนอกของดอก ผล และใบของพืช (angiosperms) ยกเว้นในพืชพวกตะบองเพชร ผักกาดหัว ผักโขมและพืชสาหร่าย บางครั้งปรากฏในส่วนเนื้อเยื่อพืช (plant

tissue) ได้แก่ รากหัวใต้ดินของพืช (tuber) ลำต้น หน่อย่อย (bulbil) และพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperms) ต่างๆ เช่น เฟิร์นและไบโอไฟต์ (bryophytes) นอกจากแอนโทไซยานินและจะทำให้ดอกไม้มีสีสันสวยงามแล้วยังช่วยป้องกันพืชไม่ให้เกิดอันตรายจากสิ่งแวดล้อมและแมลงต่างๆ แอนโทไซยานินจากธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้หลายชนิด แต่ที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันคือ คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (anti - oxidant) จึงมีแนวโน้ม นำมาประยุกต์ใช้ในด้านสุขภาพ และความงาม โดยช่วยลดการเกิดริ้วรอยของผิวจากรังสียูวีและมลภาวะ อีกทั้งช่วยป้องกันเซลล์เส้นผมให้อ่อนแอและทำให้เส้นผมเงางามแข็ง (นิริยา รัตนาปนท, 2545)

### 6.1.1 การเกิดและโครงสร้างของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานินประกอบด้วยส่วนของอะไกลโคน (aglycone) น้ำตาล (sugar) และหมู่เอซิล (acyl group) (Anderson และ Markham, 2006) กำลังการผลิตแอนโทไซยานินทั่วโลกประมาณ 10,000 ตัน (คำนวณกำลังการผลิตจากองุ่นเพียงชนิดเดียว) ปัจจุบันมีการค้นพบแอนโทไซยานินมากกว่า 300 ชนิดจากสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ได้พบว่า 7,000 ชนิด แต่ละชนิดจะมีสีและคุณสมบัติแตกต่างกันไปแม้ว่าแอนโทไซยานิน (anthocyanins) มีคาร์บอน 15 อะตอมอยู่ในโมเลกุล คือโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylum cation แอนโทไซยานินสามารถเกิดได้ประมาณ 20 ชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบได้บ่อยในพืชคือ pelargonidin (Pg) คิดเป็นร้อยละ 18 cyaniding (Cy) คิดเป็นร้อยละ 30 delphindin (Dp) คิดเป็นร้อยละ 22 และ peonidin (Pn) petunidin (Pt) และ malvidin (Mv) คิดเป็นร้อยละ 20 (Anderson และ Markham, 2006) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแอนโทไซยานินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันดังนี้

1. จำนวนของหมู่ไฮดรอกซี (hydroxyl group) ในโมเลกุล
2. ระดับการเกิดเมทิลเลชัน (degree of methylation) ของหมู่ไฮดรอกซี
3. ธรรมชาติจำนวนและตำแหน่งของในการเกิดไกลโคซิเลชัน (glycosylation)
4. ธรรมชาติและจำนวนของอะโรมาติก (aromatic) หรือ aliphatic acids ที่อยู่ใกล้กับ glycosyl residue



	Substitution pattern		
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
Delphinidin	OH	OH	OH
Cyanidin	OH	H	OH
Petunidin	OCH <sub>3</sub>	OH	OH
Pecunidin	OCH <sub>3</sub>	H	OH
Malvidin	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>	OH
Pelargonidin	H	H	OH

ภาพที่ 8 การแทนที่ของแอนโทไซยานิน

ที่มา : Mazza และคณะ (2007)

การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซี (OH) และหมู่เมทอกซี (OCH<sub>3</sub>) ของ flavylum ring) จะทำให้เกิดสีของแอนโทไซยานิดิน กล่าวคือ การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซีจะทำให้เกิดเขตของสีฟ้า (bluish shade) ส่วนการเพิ่มจำนวนของหมู่เมทอกซีจะทำให้เกิดสีแดง (redness)

Mazza (2007) ได้รายงานว่าการเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซีจะทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) เพิ่มขึ้น และเนื่องมาจากการแทนที่ของกรดและด่างเกิดขึ้นได้ในหลายตำแหน่ง จึงทำให้จำนวนของแอนโทไซยานินมีมากกว่าแอนโทไซยานิดิน 15 - 20 เท่าโมเลกุลของน้ำตาลที่ต่อกับแอนโทไซยานิดิน ได้แก่ กลูโคส (glucose) กาแลกโทส (galactose) แรมโนส (rhamnose) อะราบิโนส (arabinose) ไดแซ็กคาไรด์และไตรแซ็กคาไรด์ โดยแอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดคือ 3-monoside ,3-bioside, 3,5-diglycosides และ 3,7-diglycosides (Sikorski, 2007)

ตารางที่ 6 สีและการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานิน

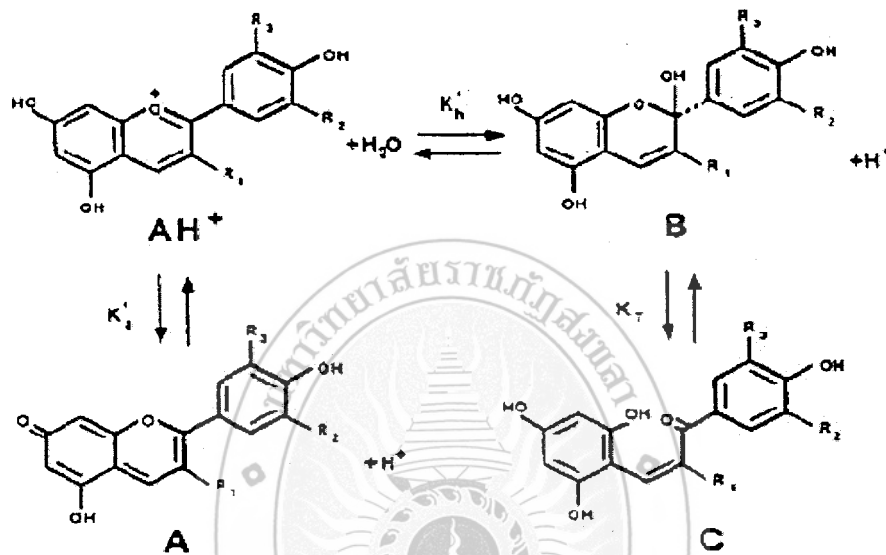
กลุ่มของรงควัตถุ ( Pigment class)	ชนิดโครงสร้าง (Structural type)	การให้สี (Colour)	การดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)
แอนโทไซยานิน (anthocyanins)	แอนโทไซยานิน (anthocyanins)	ส้ม -แดง	535
ไซยานินดิน โกลโคไซด์ (Cyanindins glycosides)	แอนโทไซยานิน (anthocyanins)	น้ำเงิน-แดง	546
เดลฟินินดิน โกลโคไซด์ (Delphinidins glycosides)	แอนโทไซยานิน (anthocyanins)	น้ำเงิน -แดง	542
แมลวิดิน (Malvidins glycosides)	แอนโทไซยานิน (anthocyanins)	ส้ม	520
เพลาโกนินดิน โกลโคไซด์ (Pelargonidins glycosides)	แอนโทไซยานิน (anthocyanins)	ส้ม -แดง	532
พีโอนินดิน โกลโคไซด์ (Peonidins glycosides)	แอนโทไซยานิน (anthocyanins)	น้ำเงิน -แดง	543
เพทูนินดิน โกลโคไซด์ (Petunidns glycosides)	แอนโทไซยานิน (anthocyanins)		

ที่มา : Kidmos และคณะ (2002)

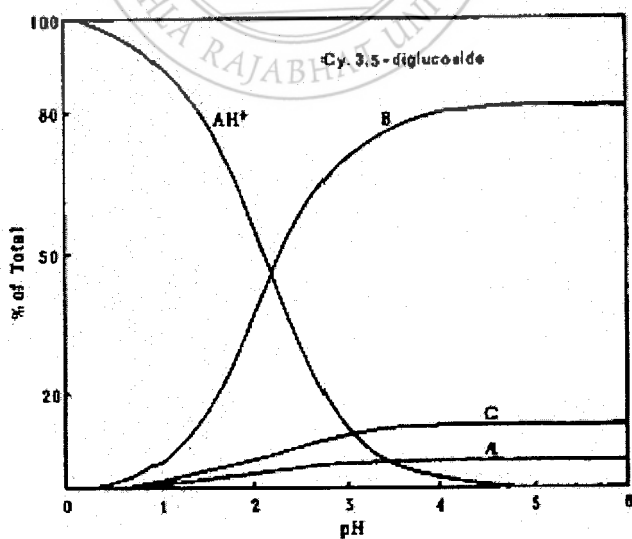
### 6.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของแอนโทไซยานิน

ในสารละลายตัวกลาง (aqueous media) แอนโทไซยานินจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) คือ ให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลาง และไม่มีสีที่ pH สูง ในสารละลายที่เป็นกรดและเป็นกลางนั้น มีโครงสร้างแอนโทไซยานิน 4 โครงสร้างที่อยู่ในสภาวะสมดุลคือ red flavylium cation ( $AH^+$ ), blue quinonoidal base หรือ red quinonoidal base (A), colorless carbinol pseudobase (B) และ colorless chalcone (C) ดังแสดงในรูปที่ 2 ในสภาวะที่เป็นกรดและ pH ต่ำกว่า 2 จะมี  $AH^+$  เป็นโครงเด่น เมื่อ pH เพิ่มขึ้น  $AH^+$  จะเกิดการสูญเสียโปรตอนเกิดเป็นสารละลาย blue quinonoidal base หรือ red quinonoidal base ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เกิดเป็นปกติ แต่การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรชัน (hydration) ของ  $AH^+$  จะทำให้เกิด colorless carbinol pseudobase (B) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความแตกต่างกันของ pH และโครงสร้างของแอนโทไซยานินจึงทำให้ปริมาณของ  $AH^+$ , A, B

และ C ที่สภาวะสมดุลมีความแตกต่างกันเช่น โครงสร้าง 3-glycoside และ 3-5 diglycoside จะเกิดขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 3 ซึ่งจะเป็น colorless carbinol pseudobase (B) อย่างไรก็ตามปริมาณเพียงเล็กน้อยของ blue quinonoidal base (A) และ colourless chalcone (C) จะปรากฏให้เห็นและปริมาณเพิ่มขึ้นที่ pH สูงขึ้น (pH 4-6) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนรูปโครงสร้าง (Structural transformation) ของแอนโทไซยานิน  
ที่มา : Mazza และ Brouillard (1987)



ภาพที่ 10 การกระจายของ  $AH^+$ , A, B และ C ของ Cy-3,5-diglucoside ที่สภาวะสมดุล  
ที่มา : Mazza และ Brouillard (1987)

### 6.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสีและความเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน

จากการศึกษาค้นคว้าปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน พบว่าปัจจัยทางเคมีและฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของแอนโทไซยานินมีผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานินมากที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โลหะ น้ำตาลและออกซิเจน รวมทั้งความเข้มข้น โครงสร้างเคมีและองค์ประกอบของแอนโทไซยานิน

6.1.3.1 โครงสร้าง (Structure) ความเสถียรและสีของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับธรรมชาติและจำนวนของน้ำตาลที่ใกล้กับ flavylum ion และจำนวนของกรดที่เชื่อมต่อกับ glycosylic moiety รวมทั้งเกี่ยวข้องกับจำนวนและตำแหน่งในการแทนที่ flavylum ion ของไฮดรอกซิลและเมทอกซิล

การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ในวงแหวนของแอนโทไซยานินนำไปสู่การดูดซับแสงสูงสุด ทำให้ความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนสีจากสีส้มไปเป็นสีน้ำเงิน-แดง แต่การแทนที่ด้วยหมู่เมทอกซี (OCH<sub>3</sub> group) จะให้ผลตรงกันข้ามกัน หมู่ไฮดรอกซีที่ C-3 จัดว่ามีความสำคัญเนื่องจากเป็นจุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีส้มและสีแดง (Sikorski, 2007)

6.1.3.2. อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง (Temperature and pH) การย่อยสลายทางความร้อน (thermal degradation) มีผลต่อความเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ความเสถียรของแอนโทไซยานินและรงควัตถุต่างๆในอาหารจะลดลง ตัวอย่างเช่น cyanidin3-glucoside และ cyanidin3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายกรดอ่อน (pH1-4) ทั้งสภาวะที่มีออกซิเจน หรือความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานินที่สกัดจากเปลือกของดอกทานตะวัน (sunflower hulls) จากการสกัดด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆที่อุณหภูมิ 65 - 95 องศาเซลเซียส และที่ pH 1-5 พบว่าการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลายที่ได้จากการสกัด

Hiemori และคณะ (2009) ได้ศึกษาองค์ประกอบและความเสถียรภาพทางความร้อนของแอนโทไซยานินใน black rice (*Oryza sativa* L. japonica var.SBR) โดยแอนโทไซยานิน 6 ชนิดถูกนำมาวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC - PDA และ LC - (ESI)MS/MS พบว่าแอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดคือ cyaniding-3-glucoside (572,047 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 91.13 ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด) และ peonidin-3-glucoside (29.78 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 4.74 ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด) รองลงมาคือ cyaniding-dihexoside isomer 3 ไอโซเมอร์และ cyaniding hexoside อีก 1 ชนิด นอกจากนี้ความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานินที่ประเมินจากการหุงข้าวและความดันที่ใช้พบว่า

วิธีการทั้งหมดกระบวนการหุงข้าว black rice เป็นสาเหตุทำให้ปริมาณของแอนโทไซยานิน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยความดันที่ใช้ในการหุงข้าวเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณของ cyanidin3-glucoside ลดลง รองลงมาคือ หม้อหุงข้าวและปริมาณก๊าซที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 79.8, 74.2 และ 65.4 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันปริมาณของ protocatechuic rice เป็นสาเหตุ ให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนของ cyanidin3-glucoside และ การเกิด ของ protocatechuic acid ขึ้นพร้อมกัน

**6.1.3.3 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acids)** มีผลต่อความเสถียรภาพของแอนโทไซยานินเกิดจากการควบแน่นของกรดแอสคอร์บิกที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของแอนโทไซยานิน กรดแอสคอร์บิกมีความสามารถในการป้องกันแอนโทไซยานิน เนื่องจากสามารถลดการเกิด o-quinone formed ก่อนกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก มีผล ทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (anthocyanin degradation) เพิ่มขึ้น (Sikorski, 2007) กรดแอสคอร์บิกเป็นนิวคลีโอไฟล์ (nucleophiles) ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยจะเข้า ทำลายที่ส่วนประจุของโมเลกุลของแอนโทไซยานิน นอกจากนี้ยังมีกลไกของกรดแอสคอร์บิกที่มี ผลต่อความเสถียรของแอนโทไซยานิน คือ กรดแอสคอร์บิกเป็นสาเหตุทำให้เกิด oxidative cleavage ที่ pyrilium ring จากการกระทำของอนุมูลอิสระ กรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็น molecular oxygen activator ในการสร้างอนุมูลอิสระออกมาทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแอนโทไซยานิน การเติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 330 มิลลิกรัมต่อลิตรในสารละลายที่มี malvidin 3-glucoside, malvidin3,5-diglucoside และ flavylum salt จะเกิดการแทนที่ที่ต่างกัน ในคาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 4 (pH 2) โดยโครงสร้างของ anthocyanin flavylum salt มี บทบาทสำคัญต่อความเสถียรของ anthocyanin ซึ่ง diglucoside จะทำให้สีของ anthocyaninจางลงช้ากว่า monoglucoside ทั้งนี้ชนิดของ flavylum cation ไม่มีผลต่อ อัตราสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก (rate of ascorbic acid degradation) อย่างมีนัยสำคัญ

**6.1.3.4 น้ำตาล (Sugar)** การเติมน้ำตาลมีผลต่อความเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ความเข้มข้นของแอนโทไซยานินและชนิดของน้ำตาลโดย reducing และ non-reducing sugar มีผลในการทำลายความเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน ในแบล็ค เคอเรนท์ (black currant) ความเสถียรภาพทางความร้อนของแอนโทไซยานิน (anthocyanin thermostability) จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของซูโครส (concentration of sucrose) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 20 ขณะที่ความเข้มข้นที่ร้อยละ 40 จะมีผลต่อ ความเสถียรภาพของรงควัตถุ ตรงกันข้ามความเสถียรภาพทางความร้อนของรงควัตถุ (thermostability of pigments) จะลดลงแบบเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของฟรุกโตส (concentration of fructose) เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการเกิดฟิวรัลดีไฮด์ (furaldehyde formation)



6.1.3.5 ปัจจัยอื่น แอนโทไซยานินจะมีสีจางลงที่ pH 3 โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ที่ C-2 หรือ C-4 ในส่วนกำเนดสี (chromophore) ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วที่สภาวะความเป็นกรด (acidification) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ EDTA และส่วนผสมระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์และ EDTA มีผลต่อการสูญเสียแอนโทไซยานินในน้ำผลไม้สตรอเบอร์รี่น้อยมากเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 10 สัปดาห์ ในทางกลับกัน การเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้ใหม่เกิดการสูญเสียแอนโทไซยานินและทำให้สารประกอบพอลิเมอร์ลดลง

#### 6.1.4 คุณสมบัติของแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน เป็นสารให้สีธรรมชาติในกลุ่มสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีความแตกต่างกันทั้งทางเภสัชวิทยาและชีววิทยา เช่น เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถลดการอักเสบ (anti-inflammatory) โดยเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยโปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) และกระดูกอ่อน (cartilage) จึงลดการทำลายจากอนุมูลอิสระอันตรายที่สำคัญ ได้แก่ DPPH,  $O_2^-$ ,  $OH^-$ ,  $O_2$  และ  $H_2O_2$  (Changlian และคณะ, 2006) นอกจากนี้ยังช่วยปกป้องหลอดเลือด (vasoprotective) โดยการขยายหลอดเลือดและกระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ลดคอเลสเตอรอลในเลือดโดยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Francis, 2002) ลดความเสี่ยงของโรค มะเร็งและต้านไวรัส ช่วยกระตุ้นให้เส้นผมดำ ชะลอผมหงอก ช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่งและมีฤทธิ์ต้านรังสียูวี (พิมพ์ออร์ คีตคุนรัตน์, 2552) แต่คุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโทไซยานินคือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant effectiveness) โดยแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอีถึง 2 เท่า ความสนใจเกี่ยวกับแอนโทไซยานินจึงเน้นไปยังการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ

## 7. ข้าวหนึ่ง

### 7.1 ข้าวหนึ่ง (Parboiled rice)

ข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำและอบแห้งด้วยความร้อนและทำให้แห้งก่อนการสี ข้าวที่นิยมนำมาทำข้าวหนึ่ง คือ ที่ลักษณะเรียวยาวเนื่องจากน้ำและความร้อนสามารถเข้าถึงใจกลาง Endosperm ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้กระบวนการแช่และให้ความร้อนทำได้ง่ายและรวดเร็ว วิธีดังกล่าวจะมีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวทั่วไป เนื่องจากสารอาหารที่อยู่บริเวณผิวของเมล็ดละลายน้ำซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าวระหว่างขั้นตอนการผลิต

ข้าวหนึ่ง ข้าวหนึ่งเป็นที่นิยมมากในประเทศอินเดีย ปากีสถาน บังคลาเทศ อัฟริกา และประเทศทางตะวันออกกลาง ประเทศไทยมีการทำข้าวหนึ่งมาช้านานแล้วโดยส่งออกเป็นสินค้าออกปีละหลายแสนตันเพราะความต้องการของตลาดโลกสูง ข้าวหนึ่งเป็นกระบวนการให้ความร้อนแบบชื้น (Hydrothermal) ซึ่งทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชภายในเมล็ดข้าวเปลี่ยนรูปจากผลึก (Crystalline form) ให้เป็นรูปอสัณฐาน (Amorphous form) อันเป็นผลมาจากการพองตัวแบบย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible swelling) และการเชื่อมกัน (Fusion) ของเม็ดสตาร์ช (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532)

## 8. คุณภาพของข้าวหนึ่ง

คุณภาพของข้าวหนึ่งทางกายภาพ พิจารณาจากสิ่งจากต่างๆ ได้แก่ สี เป็นสีเหลืองทองหรือน้ำตาลอ่อนกลิ่นหุงสุกแล้วควรมีกลิ่นน้อยที่สุด คุณภาพการขัดสี สีได้เนื้อ มีข้าวหักน้อยมาก ลักษณะเมล็ดใส แกร่ง ไม่มีท้องไข ขนาดรูปร่างเมล็ดเหมือนข้าวธรรมดา ลักษณะข้าวสุก หุงสุกแล้วเมล็ดร่วนไม่ติดกัน (เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข, 2534)

8.1 คุณภาพด้านการขัดสี เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการทำข้าวหนึ่งมาขัดสีจะได้ข้าวเต็มเมล็ดมากขึ้นเกือบร้อยละ 100 เนื่องจากสตาร์ชที่เป็นเจลแล้วจะเรียงตัวกันหรืออาจจับกับโปรตีนบางส่วน เกิดการเชื่อมร้อยร้าวทำให้ผิวของข้าวใสและแข็งแรงขึ้น ไม่แตกง่ายในขณะขัดสี แต่ต้องใช้พลังงานในการขัดสีมากขึ้น ผลของการขัดสีทำให้สูญเสียแร่ธาตุ น้ำตาลและวิตามินน้อยกว่าการขัดสีข้าวเปลือกธรรมดา

8.2 คุณภาพด้านการเก็บรักษา ข้าวหนึ่งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมันได้ง่าย เนื่องจากลิวทิถูกทำลายด้วยความร้อนและในสภาพการเก็บที่มีมืดมีอากาศถ่ายเทจะช่วยให้เกิดการหมิ่นหืนช้ากว่าการเก็บที่สว่างและในถุงที่ปิดมิดไม่มีอากาศถ่ายเทการสูญเสียวิตามินบีน้อยกว่าข้าวธรรมดาและข้าวหนึ่งจะทนต่อการทำลายของแมลงกัดกินเมล็ดข้าวหลายชนิด จึงเก็บข้าวหนึ่งได้นานกว่าข้าวธรรมดา

8.3 White belly ในเมล็ดข้าวหนึ่งบางครั้งจะพบลักษณะขุ่นขาวทึบแสงภายในเมล็ดข้าว ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อข้าวเกิดการ Gelatinization ไม่ทั่วทั้งเมล็ด ลักษณะขุ่นขาวดังกล่าวเรียกว่า White belly (บุปผา นุชนาถ, 2547)

## 9. การเปรียบเทียบระหว่างข้าวหนึ่งกับข้าวธรรมดา

ตารางที่ 7 ข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวหนึ่ง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. การนึ่งและการอบแห้งทำให้เปลือกข้าวแตกกะเทาะเปลือกง่ายกว่าข้าวธรรมดา	1. ใช้เวลาในการขัดสีมากกว่าข้าวธรรมดา
2. คุณภาพการขัดสีดีกว่าข้าวหักน้อยกว่าข้าวธรรมดา	2. ข้าวหนึ่งใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวธรรมดา
3. เก็บรักษาได้นานกว่าข้าวธรรมดาเพราะ Enzyme lipase ถูกทำลาย	3. มีกลิ่นและรสไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค
4. ข้าวหนึ่ง นึ่งแล้วเมล็ดจะใสไม่เป็นที่องุ่น	4. ข้าวหนึ่งเพาะไม่ออก แต่ข้าวธรรมดาเพาะออก
5. มีวิตามินบีและอีสูงกว่าข้าวธรรมดา (พันธุ์เดียวกัน)	5. มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าข้าวธรรมดา
6. หุงขึ้นหม้อกว่าข้าวธรรมดา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นและขยายตัวทางด้านปริมาตรเพิ่มขึ้น	6. กระบวนการผลิตทำให้สีของเมล็ดข้าวที่ได้มีสีคล้ำลง เนื่องจากสีของเปลือกข้าวซึมเข้าสู่เมล็ดข้าวระหว่างปฏิบัติการเมลลาร์ด
7. ย่อยง่ายกว่าข้าวธรรมดาเพราะแป้งสุกไปครั้งหนึ่งแล้วสายโซ่ของ Glucose ถูกทำลายไปแล้ว	7. เศษรำมีไขมันมากทำให้เกิดการอุดตันบนตะแกรงร้อนขณะขัดสีเอารำออก เพราะว่ามีไขมันจาก Endosperm แพร่ออกมาสะสมอยู่ในชั้นของรำมากขึ้น
8. รำข้าวหนึ่งมีน้ำมันร้อยละ 25 - 30 ในขณะที่ข้าวธรรมดามีเพียงร้อยละ 15 - 20	8. สารที่เป็นตัวยับยั้งการเหม็นหืน เช่น โทโคเฟอร์รอล (Tocopherol) จะถูกทำลายระหว่างการให้ความร้อนแก่เมล็ดข้าวทำให้เกิดการเหม็นหืนด้วยกระบวนการออกซิเดชัน
9. เชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในเมล็ดข้าวจะถูกทำลายในระหว่างการให้ความร้อน	
10. ข้าวหนึ่งที่หุงสุกแล้วเมล็ดข้าวสุกคงรูปโปร่งไม่แฉะและเลอะติดกัน ไม่สูญเสียสารอาหารในน้ำต้มและสามารถเก็บได้นานกว่าข้าวขาว	

ที่มา : เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข (2534)

## 10. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำข้าวหนึ่ง

10.1 ข้าวเปลือกหรือวัตถุดิบสำหรับทำข้าวหนึ่ง ควรมีสีของเปลือกและสีชั้นเปลือกรำอ่อน เช่น สีขาว (ฟาง) หรือสีน้ำตาล เมล็ดอยู่ในสภาพที่สะอาด ไม่มีรอยแมลงกัดกินหรือเชื้อราทำลาย

10.2 ต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาการแช่ให้พอเหมาะ เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นและสีที่ไม่ดีของข้าวหนึ่ง ในการแช่ควรทำให้มีการหมุนเวียนของน้ำและข้าวด้วย เพื่อป้องกันความร้อนสะสมซึ่งจะทำให้เกิดเมล็ดผิดปกติ (Deform grain)

10.3 อุณหภูมิและเวลาขณะนี้ต้องควบคุมให้พอเหมาะ ไม่ควรให้สูงเกินไปเพราะจะมีผลต่อสีข้าวหนึ่ง ลักษณะเมล็ดผิดปกติ และข้าวสารแข็งเกินไปเมื่อใช้เวลานาน

10.4 การทำให้แห้ง ต้องเป็นไปอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ ถ้าใช้ความร้อนสูงเกินไปและทำให้แห้งรวดเร็ว ข้าวจะแตกร้าว ขัดสีแล้วหักมากขึ้น

10.5 ความชื้นของข้าวหนึ่งไม่ควรเกิน ร้อยละ 14 เมื่อเก็บไว้ในยุ้งฉางหรือโกดัง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการทำลายของจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อราต่างๆ (บุปผา นุชนาถ, 2547)

## 11. กรรมวิธีการผลิตข้าวหนึ่ง

11.1 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 สีของข้าวหนึ่งที่ได้อาจจะเหมาะสมกับความต้องการของตลาดมากที่สุด

การแช่ข้าวเปลือกทำให้แร่ธาตุและวิตามินที่ละลายน้ำได้บริเวณผิวของเมล็ดข้าว ละลายน้ำและซึมเข้าสู่ตัวเมล็ด แต่ถ้าเปลือกแยกออกก็จะทำให้สูญเสียวิตามินและแร่ธาตุบางส่วนไปในน้ำ

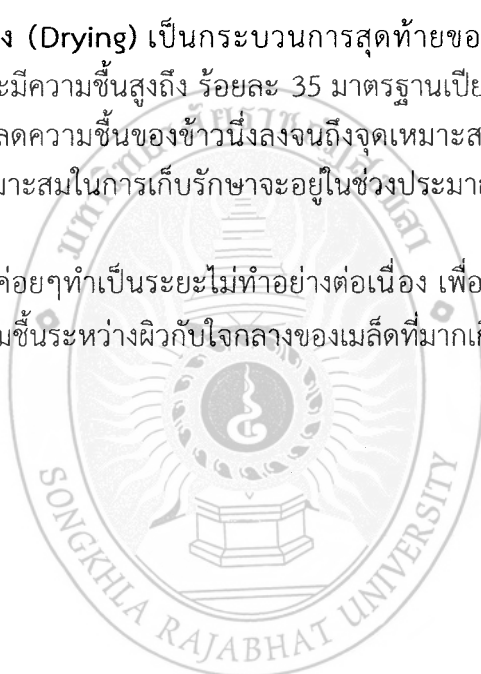
11.2 การนึ่ง (Steaming) เมื่อเมล็ดสตาร์ชภายใน Endosperm ของเมล็ดข้าวดูดซึมน้ำไว้เพียงพอแล้วก็มาถึงขั้นตอนการให้ความร้อนเพื่อทำให้สตาร์ชเกิดการ Gelatinization โดย

ต้องให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ Gelatinization เป็นอย่างน้อย การให้ความร้อนที่นิยมใช้อยู่ในรูปของไอน้ำมากกว่ารูปอื่นๆ การนึ่งต้องทำให้ข้าวเปลือกทั้งเมล็ดได้ รับประทานอย่างสม่ำเสมอและต้องได้รับอุณหภูมิและเวลาในการนึ่งเท่าๆกัน ปกติถ้านึ่งภายใต้ความดันจะให้เวลาประมาณ 15 – 30 นาที (100 – 105 องศาเซลเซียส)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะการละลายกลุ่มโปรตีนในข้าวจะลดลงขึ้นอยู่กับเวลาในการแช่และความดันไอน้ำโดยถ้าเวลาแช่ความดันไอน้ำสูงจะทำให้สกัดโปรตีนได้น้อยลงแสดงว่าโปรตีนละลายได้น้อยลง

**11.3 การอบแห้ง (Drying)** เป็นกระบวนการสุดท้ายของการทำข้าวนึ่ง ข้าวเปลือกหลังจากนึ่งเสร็จแล้วจะมีความชื้นสูงถึง ร้อยละ 35 มาตรฐานเปียก ซึ่งไม่สามารถเก็บและขัดสีได้ จึงจำเป็นที่จะต้องลดความชื้นของข้าวลงจนถึงจุดเหมาะสมเพื่อเก็บรักษาและการขัดสี โดยปกติความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษาจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 14 – 16 มาตรฐานเปียก

การอบแห้งจะต้องค่อยๆทำเป็นระยะไม่ทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดการแตกข้าวเนื่องจากเกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิวกับใจกลางของเมล็ดที่มากเกินไป (บุปผา นุชนาด, 2547)



## บทที่ 3

### การทดลอง

#### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### วัสดุ

1. ตัวอย่างข้าวในการทดลองคือ ข้าวพันธุ์สังข์หยดเมืองพัทลุง (ข้าวเปลือก) ที่มีการปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ ระยะการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 1 ปี จากศูนย์การเรียนรู้เกษตรธรรมชาติบางแก้ว 880 หมู่ที่ 6 ตำบลท่ามะเดื่อ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง
2. วัสดุที่ใช้ในวิเคราะห์ทางด้านเคมี การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ และการวิเคราะห์ทางด้านเคมีกายภาพ
3. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านเคมีกายภาพและการวิเคราะห์ทางด้านเคมี
4. ถังโพลีโพรพิลีน ขนาด 8×14 นิ้ว

##### อุปกรณ์

1. ถังพลาสติกที่ใช้แช่ข้าวเปลือก จำนวน 9 ถัง ซึ่งมีความจุในการข้าวเปลือกที่ประมาณ 2 กิโลกรัม
2. หม้อนึ่งที่มีขนาด 2 ชั้น
3. ผ้าขาวบาง จำนวน 9 ผืน
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. ตู้อุดความชื้น
14. เครื่องมือชุดการย่อยโปรตีน

15. เครื่องมือชุดการกลั่นโปรตีน
16. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน
17. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเถ้า
18. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย
19. เครื่องย่อยสารเยื่อใย รุ่น Flwe 6 ยี่ห้อ Velp
20. เครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ทางด้านกายภาพเคมีและทางด้านเคมี
21. อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น ช้อน ถาดที่ร้อนแบ่ง หม้อนึ่งที่มีขนาด 2 ชั้นและชามผสม เป็นต้น



## วิธีการทดลอง

### 1. การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง ที่มีการปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ซึ่งมีระยะเวลาเก็บรักษา หลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 1 ปี จากศูนย์การเรียนรู้เกษตรธรรมชาติบางแก้ว 880 หมู่ที่ 6 ตำบล ท่ามะเตี้อ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง

### 2. กระบวนการผลิตข้าวหนึ่ง

2.1 นำข้าวเปลือกมาชั่งน้ำหนัก ใส่ในภาชนะที่ปิดสนิทเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทดลอง

2.2 จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ได้มาจัดตามสภาวะการทดลอง และนำข้าวเปลือกไปล้างด้วยน้ำที่สะอาด เพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมหรือฝุ่นต่างๆออกจากข้าวเปลือก

2.3 ทำการแช่ข้าวเปลือกในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยกำหนดอัตราส่วนของน้ำต่อข้าว เท่ากับ 2:1 ที่ระยะเวลาในการแช่ข้าว 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับและสะเด็ดน้ำออก

2.4 ทำการนึ่งข้าวเปลือกหลังการแช่น้ำที่ระยะเวลา 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ ด้วยหม้อนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิคงที่ (100 องศาเซลเซียส)

2.5 อบแห้งข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งด้วยเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือ จนกระทั่งความชื้นของข้าวต่ำกว่าร้อยละ 14

2.6 นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งไปกะเทาะเปลือก ที่ศูนย์การเรียนรู้เกษตรธรรมชาติบางแก้ว โดยใช้เครื่องขัดสีขนาดเล็ก (ปริมาณในการขัดสีได้ประมาณ 2-3 กิโลกรัม)

2.7 นำตัวอย่างข้าวที่ได้จากการกะเทาะเปลือกปั่นจนได้เป็นผงละเอียด หลังจากนั้นมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน เก็บตัวอย่างแบ่งข้าวหนึ่ง ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อรอทำการวิเคราะห์ตัวอย่างในขั้นตอนต่อไป

2.8 นำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์



## การวิเคราะห์ตัวอย่าง

### 1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

- 1.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยวิธี A.O.A.C (2000)
- 1.2 วิเคราะห์ปริมาณของโปรตีน โดยวิธี A.O.A.C (2000)
- 1.3 วิเคราะห์ปริมาณของไขมัน โดยวิธี A.O.A.C (2000)
- 1.4 วิเคราะห์ปริมาณของเถ้า โดยวิธี A.O.A.C (2000)
- 1.5 วิเคราะห์ปริมาณของเยื่อใย โดยวิธี A.O.A.C (2000)

### 2. การวิเคราะห์คุณภาพการขัดสี

- 2.1 วิเคราะห์ปริมาณร้อยละของข้าวกล้องและปริมาณร้อยละของแกลบ
- 2.2 วิเคราะห์การแตกหักของข้าว
- 2.3 วิเคราะห์น้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดข้าว

### 3. การวิเคราะห์ทางกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าสี โดยการวัดค่าสี ในระบบ CIE Lab โดยใช้เครื่อง Hunter Lab ซึ่งจะแสดงการรายงานผลในรูปแบบค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  และคำนวณค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ )

### 4. การวิเคราะห์ทางด้านเคมี

วิเคราะห์ปริมาณของแอนโทไซยานินโดยวิธีของ Nolllet (1996)

### 5. การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ

- 5.1 การดูดซับน้ำ
- 5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละการละลายและการพองตัว
- 5.3 คุณสมบัติการเกิดเจลลาทีโนเซชัน โดยเครื่อง DSC
- 5.4 คุณสมบัติด้านความหนืด โดยเครื่อง RVA

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 1. องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

##### 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง

ทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงหลังการขัดสีที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง โดยวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และความชื้น ด้วยวิธี A.O.A.C (2000) พบว่าข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 10.03 ปริมาณไขมันร้อยละ 2.78 ปริมาณเถ้าร้อยละ 1.87 ปริมาณเยื่อใยร้อยละ 1.59 และปริมาณความชื้นร้อยละ 10.40 โดยน้ำหนักแห้ง ดังแสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งค่าที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย อธิธิพร แก้วเพ็ง (2555) พบว่ามีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.02 ปริมาณไขมันร้อยละ 2.48 ปริมาณเถ้าร้อยละ 1.86 ปริมาณเยื่อใยร้อยละ 0.29 และปริมาณความชื้นร้อยละ 11.27 โดยน้ำหนักแห้ง

##### ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละฐานแห้ง)
โปรตีน	10.03 ± 0.39
ไขมัน	2.78 ± 0.19
เถ้า	1.87 ± 0.06
เยื่อใย	1.59 ± 0.60
ความชื้น	10.40 ± 0.55

##### 1.2 ความชื้นของข้าวนึ่งสังข์หยดเมืองพัทลุง

ปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งพบว่ามีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 8.3 – 9.0 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวในชุดควบคุมคือร้อยละ 10.40 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณความชื้นของตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งแสดงดังตารางที่ 9 เนื่องจากข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งนั้นระหว่างกระบวนการมีขั้นตอนการอบแห้งเพื่อลดความชื้น ซึ่งในข้าวชุดควบคุมนั้นมีการทำแห้งในระดับเชิงการค้าเท่านั้น ทำให้มีความแตกต่างระหว่างปริมาณความชื้นของข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งและข้าวชุดควบคุม

ปริมาณความชื้นในข้าวนั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและระยะเวลาในการเก็บรักษา จึงต้องมีการควบคุมให้อยู่ในระดับที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือไม่เกินร้อยละ 14 ตามมาตรฐานข้าว (กระทรวงพาณิชย์, 2540)

ตารางที่ 9 ความชื้นของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่น้ำ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)
ชุดควบคุม	-	10.40±0.55 <sup>a</sup>
6	20	8.00±1.03 <sup>b</sup>
	40	8.03±0.67 <sup>b</sup>
	60	8.10±0.87 <sup>b</sup>
12	20	8.50±0.84 <sup>bc</sup>
	40	8.70±0.06 <sup>bc</sup>
	60	8.90±0.42 <sup>bc</sup>
24	20	9.10±0.25 <sup>bc</sup>
	40	9.10±0.17 <sup>bc</sup>
	60	9.30±0.10 <sup>c</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \geq 0.05$ )

## 2. วิเคราะห์คุณภาพการขัดสีของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

เมื่อนำตัวอย่างข้าวเปลือกชุดควบคุมและชุดข้าวเปลือกหนึ่งที่สภาวะต่างๆ มากะเทาะเปลือกพบว่าตัวอย่างข้าวชุดควบคุมให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องและแกลบเท่ากับ 72.39 และ 27.61 ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างข้าวหนึ่งในสภาวะต่างๆ โดยส่วนใหญ่ให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องที่สูงกว่าและร้อยละแกลบที่ต่ำกว่าตัวอย่างชุดควบคุม โดยชุดข้าวที่ผ่านการแช่ 6 ชั่วโมง และการนึ่ง 20 นาที ให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องสูงสุดคือ 74.16 และร้อยละแกลบต่ำสุดคือ 25.84 ปริมาณร้อยละของข้าวกล้องและปริมาณแกลบดังแสดงในตารางที่ 10 ร้อยละของข้าวกล้องที่ได้มีความสอดคล้องกับปริมาณร้อยละข้าวหัก กล่าวคือในชุดการทดลองที่มีการแตกหักของข้าวมากจะทำให้เศษข้าวที่หักบางส่วนสูญเสียไปพร้อมกับเปลือกข้าวระหว่างการกะเทาะเปลือก เนื่องจากแรงลมที่เกิดจากการเป่าแกลบและรำข้าวออกจากเครื่องสีข้าว เช่นเดียวกันตัวอย่างชุดควบคุมชุดควบคุมให้ปริมาณร้อยละข้าวเต็มเมล็ดและร้อยละข้าวหักเท่ากับ 88.43 และ 11.57 ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างข้าวหนึ่งบางสภาวะที่ให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงและร้อยละข้าวหักต่ำ

กว่าตัวอย่างชุดควบคุม โดยชุดข้าวที่ผ่านการแช่ 6 ชั่วโมง และการนึ่ง 20 นาที ให้ปริมาณร้อยละข้าวเต็มเมล็ดสูงสุดคือ 90.37 และร้อยละข้าวหักต่ำสุดคือ 9.63 แสดงดังตารางที่ 10

ขั้นตอนการกะเทาะเปลือกข้าวเพื่อนำเปลือกของข้าวออกไปโดยที่ให้ปริมาณการแตกหักของข้าวน้อยที่สุด โดยทั่วไปภายในข้าวจะมีช่องว่างของอากาศระหว่างเม็ดสตาร์ช การแช่ข้าวเปลือกจะทำให้ น้ำซึมผ่านผิวเปลือกแข็งเข้าสู่เนื้อในเมล็ดโดยเข้าไปแทนช่องว่างอากาศภายในเมล็ด การนึ่งในช่วงแรกทำให้เกิดความร้อนเพื่อให้น้ำกระจายเข้าสู่ช่องว่างของอากาศระหว่างเม็ดสตาร์ชได้ดีขึ้น ในเวลาต่อมาผลของความร้อนที่อุณหภูมิเพียงพอทำให้เกิดเจลาทีไนซ์ของสตาร์ช ปรากฏการณ์นี้ทำให้ลักษณะภายในของข้าวนึ่งมีการเชื่อมต่อกันของเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลาทีไนซ์และปิดช่องว่างระหว่างเม็ดสตาร์ชได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณข้าวหักจากข้าวนึ่งนั้นมีปริมาณน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวชุดควบคุม แต่เวลาในการแช่และการนึ่งควรจะคำนึงถึงความเหมาะสมเพราะการทำให้ข้าวเกิดเจลาทีไนซ์มากเกินไปจะทำให้ข้าวนึ่งมีลักษณะแข็งจนเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าข้าวชุดควบคุม (วุฒิชัย นาครักษา, 2539 : Luh and Mickus, 1991 : Nomhoom, 2001)

ตารางที่ 10 ร้อยละของข้าวกล้อง ร้อยละแกลบ ร้อยละข้าวเต็มเมล็ด และร้อยละข้าวหักของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน

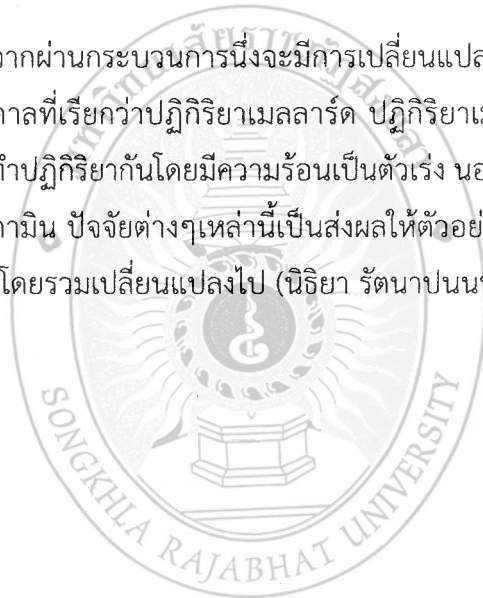
เวลาแช่น้ำ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	ร้อยละ ข้าวกล้อง	ร้อยละแกลบ	ร้อยละ ข้าวเต็มเมล็ด	ร้อยละข้าวหัก
ชุดควบคุม	-	72.39±1.33 <sup>bc</sup>	27.61±1.33 <sup>bc</sup>	88.43±1.67 <sup>gh</sup>	11.57±1.67 <sup>ab</sup>
6	20	74.16±0.39 <sup>a</sup>	25.84±0.39 <sup>a</sup>	90.37±1.58 <sup>h</sup>	9.63±1.58 <sup>a</sup>
	40	73.23±0.21 <sup>cd</sup>	26.77±0.21 <sup>ab</sup>	89.75±1.00 <sup>h</sup>	10.25±1.00 <sup>a</sup>
	60	72.99±0.45 <sup>bcd</sup>	27.01±0.45 <sup>abc</sup>	86.10±0.45 <sup>g</sup>	13.90±1.45 <sup>b</sup>
12	20	73.98±0.09 <sup>cd</sup>	26.02±0.09 <sup>ab</sup>	78.62±1.23 <sup>f</sup>	21.38±1.23 <sup>c</sup>
	40	73.15±0.08 <sup>cd</sup>	26.85±0.08 <sup>ab</sup>	74.35±2.43 <sup>e</sup>	25.65±2.43 <sup>d</sup>
	60	72.87±0.66 <sup>bcd</sup>	27.01±0.66 <sup>abc</sup>	45.17±1.71 <sup>b</sup>	54.83±1.71 <sup>g</sup>
24	20	72.67±0.58 <sup>bcd</sup>	27.33±0.58 <sup>abc</sup>	66.95±2.49 <sup>d</sup>	33.05±2.49 <sup>e</sup>
	40	71.38±0.56 <sup>b</sup>	28.62±0.56 <sup>c</sup>	54.86±1.33 <sup>c</sup>	45.14±1.33 <sup>f</sup>
	60	69.47±1.28 <sup>a</sup>	30.53±1.28 <sup>d</sup>	37.63±0.52 <sup>a</sup>	62.37±0.52 <sup>h</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \geq 0.05$ )

### 3. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงทั้งในชุดควบคุมและข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ โดยระบบ CIE Lab เพื่อหาค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) พบว่าในตัวอย่างข้าวชุดควบคุมมีค่าความสว่าง 33.19, ค่าความเป็นสีแดง 15.63, ค่าความเป็นสีเหลือง 18.55 และในตัวอย่างข้าวหนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าเวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างข้าวหนึ่งมีค่าความสว่างลดลง และค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม แสดงดังตารางที่ 11

ตัวอย่างข้าวหลังจากผ่านกระบวนการนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี นั่นคือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด ปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากันโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่ง นอกจากนี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารสีหรือวิตามิน ปัจจัยต่างๆเหล่านี้เป็นส่งผลให้ตัวอย่างทดลองมีค่าความสว่างและค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเปลี่ยนแปลงไป (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)



ตารางที่ 11 ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความแตกต่างของสีโดยรวมของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่น้ำ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	L*	a*	b*	ค่าความแตกต่าง ของสีโดยรวม ( $\Delta E$ )
ชุดควบคุม	-	33.19±0.30 <sup>f</sup>	15.63±0.23 <sup>f</sup>	18.55±0.35 <sup>f</sup>	0.00
6	20	27.03±0.10 <sup>e</sup>	11.22±0.07 <sup>e</sup>	11.87±0.20 <sup>e</sup>	10.10
	40	26.15±0.06 <sup>d</sup>	9.11±0.32 <sup>cd</sup>	10.10±0.22 <sup>c</sup>	12.78
	60	24.46±0.08 <sup>b</sup>	9.10±0.36 <sup>cd</sup>	9.36±0.18 <sup>b</sup>	14.26
12	20	25.39±0.11 <sup>c</sup>	10.61±0.25 <sup>e</sup>	11.04±0.38 <sup>d</sup>	11.93
	40	23.34±0.05 <sup>a</sup>	8.22±0.26 <sup>ab</sup>	8.06±0.24 <sup>a</sup>	16.18
	60	23.23±0.17 <sup>a</sup>	7.79±0.15 <sup>a</sup>	7.54±0.12 <sup>a</sup>	16.79
24	20	24.88±0.69 <sup>b</sup>	8.54±0.86 <sup>bc</sup>	9.68±0.86 <sup>bc</sup>	14.07
	40	23.36±0.47 <sup>a</sup>	9.35±0.48 <sup>d</sup>	9.10±0.06 <sup>b</sup>	15.01
	60	22.87±0.11 <sup>a</sup>	8.47±0.08 <sup>bc</sup>	8.14±0.15 <sup>a</sup>	16.32

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \geq 0.05$ ) และ L\* คือ ค่าสว่างของสี, a\* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีแดงและสีเขียว, b\* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน

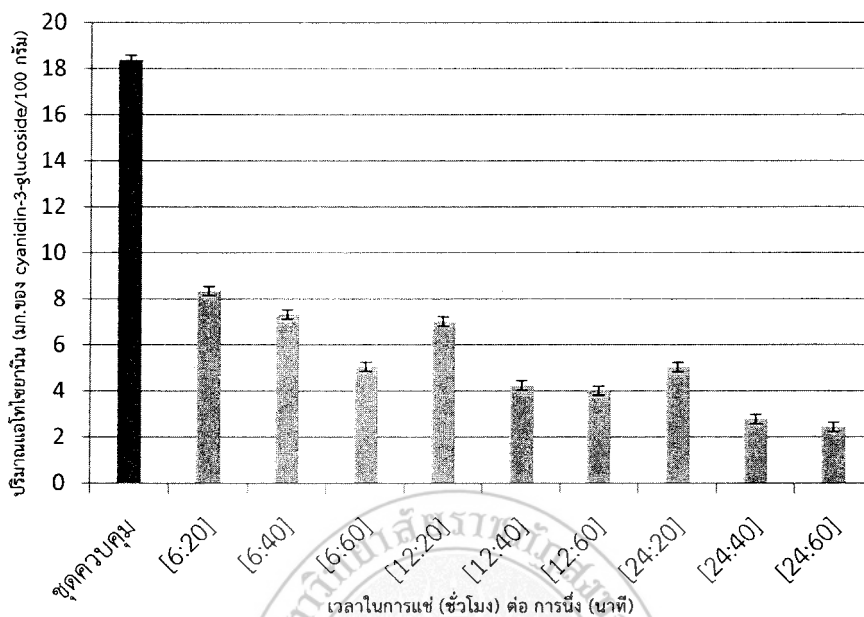
#### 4. วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ทำการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินคงเหลือของตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงหลังจากกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ โดยวิธีของ Nollet (1996) ปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในตัวอย่างข้าวชุดควบคุมเท่ากับ 18.36 มก.ของ cyanidin-3-glucoside/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ขณะที่ตัวอย่างข้าวหลังผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ จะมีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่มากขึ้น ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการแช่ที่ 6 ชั่วโมงมีปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 12 และ 24 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณแอนโทไซยานินในตัวอย่างข้าวพบว่าใช้เวลาในการนึ่งน้อยที่สุดคือที่เวลา 20 นาที ในทุกช่วงเวลาการแช่ มีปริมาณแอนโทไซยานินโดยรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่

40 และ 60 นาที แต่อย่างไรก็ตามชุดตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการึ่งที่มีปริมาณคงเหลือของแอนโทไซยานินที่มากที่สุดคือ ข้าวที่ผ่านการแช่นาน 6 ชั่วโมง และการึ่งที่ 20 นาที ซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 8.35 มก.ของ cyanidin-3-glucoside/100 กรัม แสดงดังภาพที่ 11

การย่อยสลายทางความร้อนมีผลต่อความเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความเสถียรของแอนโทไซยานินและรงควัตถุต่างๆจะลดลง (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553)

Hiemori และคณะ (2009) ได้ศึกษาองค์ประกอบและความเสถียรภาพทางความร้อนของแอนโทไซยานินใน black rice (*Oryza sativa* L. *japonica* var.SBR) โดยแอนโทไซยานิน 6 ชนิด ถูกนำมาวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC –PDA และ LC-(ESI)MS/MS พบว่า แอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดคือ cyaniding-3-glucoside (572047 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 91.13 ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด)และ peonidin-3-glucoside (29.78 ไมโครกรัมต่อกรัม คิดเป็นร้อยละ 4.74 ของปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด) รองลงมาคือ cyaniding-dihexoside isomer 3 ไอโซเมอร์และ cyaniding hexoside อีก 1 ชนิด นอกจากนี้ความเสถียรทางความร้อนของแอนโทไซยานินที่ประเมินจากการหุงข้าวและความดันที่ใช้ พบว่าวิธีการทั้งหมด กระบวนการหุงข้าว black rice เป็นสาเหตุทำให้ปริมาณของแอนโทไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยความดันที่ใช้ในการหุงข้าวเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณของ cyanidin3-glucoside ลดลง รองลงมาคือ หม้อหุงข้าวและปริมาณก๊าซที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 79.8 ,74.2 และ 65.4 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันปริมาณของ protocatechuic rice เป็นสาเหตุให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนของ cyanidin3-glucoside และการเกิดของ protocatechuic acid ขึ้นพร้อมกัน (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553)



ภาพที่ 11 ปริมาณแอนโทไซยานินในตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ

## 5. วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

วิเคราะห์ปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำโดยวิธีของ Noomhorm และคณะ (1997) จากตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าตัวอย่างข้าวชุดควบคุมมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำเท่ากับ 23.35 และตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น โดยการใช้เวลาในการแช่ที่ 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 6 และ 12 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำในตัวอย่างข้าว พบว่าการใช้เวลาในการนึ่ง ที่ 60 นาที จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่ 20 และ 40 นาที แสดงดังตารางที่ 12

วิเคราะห์กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลาย โดยวิธีของกล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะ จอมขวัญ (2543) จากตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าตัวอย่างข้าวชุดควบคุมมีกำลังการพองตัวเท่ากับ 12.93 และปริมาณร้อยละการละลายเท่ากับ 0.09 และข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายเพิ่มสูงขึ้น โดย



การใช้เวลาในการแช่ที่ 24 ชั่วโมง จะมีกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายมากที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 6 และ 12 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนต่อกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายในตัวอย่างช้า พบว่าใช้เวลาในการแช่ที่ 60 นาที จะมีกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 20 และ 40 นาที แสดงดังตารางที่ 12

ปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำ กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการเกิดเจลลาทีไนซ์ของสตาร์ช กล่าวคือภายในของสตาร์ชจะมีอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจัดเรียงตัวกันเป็นวง ภายในวงจะมีชั้นของ Amorphous และ Crystalline ส่วนที่เป็น Amorphous จะมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ เนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลเพกตินผลของความร้อนจากกระบวนการนี้จะทำให้เกิดส่วนที่สามารถละลายและไหลออกจากเม็ดสตาร์ชก่อนชั้นของ Crystalline เจลที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณอะไมโลสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอยู่ในชั้นของ Crystalline ที่มีการละลายและไหลออกมาได้น้อย ตามโครงสร้างของอะไมโลสจะมีความสามารถในการเก็บอุ้มน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้ทำให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำ กำลังการพองตัว และร้อยละการละลาย สามารถเป็นดัชนีในการวัดการเกิดเจลลาทีไนซ์ของเม็ดสตาร์ชได้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547 : นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ตารางที่ 12 ร้อยละดูดซับน้ำ การละลายและกำลังการพองตัวของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแช่น้ำ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	ร้อยละการดูดซับน้ำ	กำลังการพองตัว	ร้อยละการละลาย
ชุดควบคุม	-	23.35±0.35 <sup>b</sup>	12.93±0.75 <sup>b</sup>	0.09±0.02 <sup>b</sup>
6	20	34.59±0.46 <sup>c</sup>	15.03±0.03 <sup>c</sup>	0.17±0.03 <sup>c</sup>
	40	35.53±0.46 <sup>d</sup>	15.28±0.13 <sup>c</sup>	0.23±0.03 <sup>d</sup>
	60	40.64±0.62 <sup>f</sup>	16.03±0.18 <sup>d</sup>	0.31±0.03 <sup>e</sup>
12	20	37.63±0.52 <sup>e</sup>	15.37±0.17 <sup>c</sup>	0.24±0.04 <sup>d</sup>
	40	42.11±0.34 <sup>g</sup>	16.25±0.15 <sup>de</sup>	0.46±0.03 <sup>f</sup>
	60	44.11±0.56 <sup>h</sup>	16.64±0.33 <sup>de</sup>	0.67±0.02 <sup>h</sup>
24	20	41.42±0.35 <sup>g</sup>	16.12±0.14 <sup>de</sup>	0.43±0.01 <sup>f</sup>
	40	43.45±0.39 <sup>h</sup>	16.41±0.04 <sup>de</sup>	0.53±0.03 <sup>g</sup>
	60	47.68±0.26 <sup>a</sup>	17.01±0.22 <sup>a</sup>	0.80±0.04 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \geq 0.05$ )

## 6. คุณสมบัติด้านความร้อนของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดพัทลุง

ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นที่ระดับสภาวะที่แตกต่างกันโดยใช้ระยะเวลาแช่ข้าวเปลือกที่ระยะเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาึ่งด้วยหม้อหนึ่งไอน้ำที่ระยะเวลา 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่ากระบวนการให้ความร้อนขึ้นแก่ข้าวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ ดังแสดงในตารางที่ 8 กระบวนการให้ความร้อนขึ้นแก่ข้าวสังข์หยดทำให้คุณสมบัติการเกิดเจลลาทีไนซ์ของข้าว ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล ( $T_0$ ) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจล ( $T_p$ ) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล ( $T_c$ ) และพลังงานความร้อนทั้งหมดในการเกิดเจลลาทีไนซ์ ( $\Delta H$ ) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสังข์หยดชุดควบคุม ( $P < 0.05$ ) อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลในตัวอย่างข้าวสังข์หยดชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 74.61 องศาเซลเซียส และข้าวที่ผ่านกระบวนการแช่น้ำและให้ความร้อนขึ้นที่ระยะเวลาแตกต่างกันมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 76.02-81.63 องศาเซลเซียส โดยข้าวที่แช่ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง และให้ความร้อนขึ้นที่ระยะเวลา 60 นาทีมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลมีค่าสูงที่สุด การแช่ข้าวที่

ระยะเวลาเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนขึ้นสูงขึ้นทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลเพิ่มสูงขึ้นตาม แต่อย่างไรก็ตามค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดในการเกิดเจลลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่และระยะเวลาในการให้ความร้อนขึ้นเพิ่มขึ้น โดยค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดของข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นมีค่าต่ำกว่าข้าวชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

Oli *et al.* (2014) รายงานว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนสของข้าว สามารถแบ่งข้าวเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนสต่ำกว่า 55-69 องศาเซลเซียส ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนสระดับกลางระหว่าง 70-74 องศาเซลเซียส และข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนสสูงอยู่ระหว่าง 70-74 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างนี้มีปัจจัยมาจากสายพันธุ์ของข้าวและสภาวะแวดล้อมของการเพาะปลูกเป็นหลัก (Bhattacharya, 1979) การเกิดเจลลาทีโนสของข้าวมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงสุกและเนื้อสัมผัสของข้าว ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจากอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนสของข้าวเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นเพื่อสามารถนำมาใช้ในการปรับระยะเวลาในการแช่ข้าวและอุณหภูมิในการแช่ที่เหมาะสมต่อไป Islam *et al.* (2002) รายงานว่ากระบวนการการให้ความร้อนขึ้นทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนสของข้าวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของกระบวนการให้ความร้อนนั้น ๆ

ตารางที่ 13 ผลของกระบวนการความร้อนขึ้นต่อระดับการเกิดเจลลาทีโนสของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดพัทลุง

เวลาแช่น้ำ (ชั่วโมง)	เวลาหนึ่ง (นาที)	คุณสมบัติการเกิดเจลลาทีโนส			
		$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
ชุดควบคุม	-	74.61±0.12 <sup>d</sup>	80.33±0.14 <sup>c</sup>	88.12±0.04 <sup>d</sup>	7.60±0.05 <sup>b</sup>
6	20	76.02±0.37 <sup>c</sup>	85.17±0.20 <sup>ab</sup>	94.18±0.06 <sup>a</sup>	8.07±0.06 <sup>a</sup>
	40	79.12±0.48 <sup>b</sup>	85.67±0.17 <sup>ab</sup>	92.41±0.12 <sup>c</sup>	6.56±0.04 <sup>c</sup>
	60	79.33±0.54 <sup>b</sup>	85.33±0.14 <sup>ab</sup>	93.01±0.14 <sup>b</sup>	3.92±0.06 <sup>d</sup>
12	20	79.45±0.13 <sup>b</sup>	84.67±0.11 <sup>b</sup>	95.85±0.11 <sup>a</sup>	6.86±0.04 <sup>c</sup>
	40	80.02±0.71 <sup>ab</sup>	85.33±0.05 <sup>ab</sup>	93.46±0.08 <sup>ab</sup>	3.40±0.02 <sup>e</sup>
	60	81.63±0.25 <sup>a</sup>	86.33±0.14 <sup>a</sup>	93.31±0.12 <sup>ab</sup>	2.50±0.03 <sup>f</sup>

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

## 7. คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดพัทลุง

คุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวสังข์หยดที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่าการให้ความร้อนขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวสังข์หยดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนขึ้น ( $P < 0.05$ ) ข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนขึ้นมีความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคั้นตัวลดลงเมื่อเทียบกับข้าวชุดควบคุม โดยข้าวชุดควบคุมมีความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคั้นตัวเท่ากับ 116.88 และ 123.65 RVU ตามลำดับ และข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนขึ้นมีค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคั้นตัวอยู่ระหว่าง 90.23-95.23 และ 98.27-108.54 RVU ตามลำดับ อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดสุดท้ายของข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนขึ้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

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 and Bhattacharya (1980) และ Rao and Juliano (1970) รายงานว่า ข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้น ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกหัก และค่าความหนืดในการคั้นตัว (setback) ลดลง โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีผลในการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดได้ชัดมากกว่าข้าวที่มีอะไมโลปานกลางและต่ำ (Zavareze *et al.*, 2010)

ตารางที่ 14 ผลของกระบวนการความร้อนขึ้นต่อคุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวเหนียวจากข้าวสังข์  
หอยดพัทลุง

เวลาแช่น้ำ (ชั่วโมง)	เวลานึ่ง (นาที)	คุณสมบัติการเกิดเจล			
		PV (RVU)	P <sub>temp</sub> (°C)	FV (RVU)	SBV (RVU)
ชุดควบคุม	-	116.88±0.93 <sup>a</sup>	82.40±0.90 <sup>c</sup>	243.61±1.38 <sup>f</sup>	123.65±1.16 <sup>a</sup>
6	20	95.23±0.74 <sup>b</sup>	85.52±0.68 <sup>b</sup>	265.23±0.94 <sup>e</sup>	98.27±1.07 <sup>e</sup>
	40	93.47±0.65 <sup>c</sup>	86.07±0.75 <sup>ab</sup>	270.12±0.74 <sup>c</sup>	102.23±0.85 <sup>d</sup>
	60	90.23±0.75 <sup>e</sup>	87.14±0.84 <sup>a</sup>	277.41±0.96 <sup>b</sup>	106.37±0.87 <sup>c</sup>
12	20	94.47±0.75 <sup>bc</sup>	84.24±0.12 <sup>b</sup>	268.42±0.84 <sup>d</sup>	101.47±0.74 <sup>d</sup>
	40	93.43±0.49 <sup>c</sup>	85.25±0.67 <sup>b</sup>	271.23±0.55 <sup>c</sup>	105.84±0.39 <sup>c</sup>
	60	92.23±0.56 <sup>cd</sup>	87.38±0.87 <sup>a</sup>	281.23±0.46 <sup>a</sup>	108.54±0.45 <sup>b</sup>

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



## บทที่ 5

### สรุป

ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นข้าวที่มีสีพันธุ์พื้นเมืองเฉพาะภูมิภาค ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง หลังจากที่ผ่านมากระบวนการนึ่ง ข้าวสังข์หยดที่ผ่านกระบวนการนึ่งและการแช่ที่บางสภาวะให้ ร้อยละข้าวและข้าวเต็มเมล็ดที่สูงขึ้นแต่บางสภาวะมีปริมาณของข้าวที่แตกหักมากกว่าข้าวที่ไม่ ผ่านกระบวนการนึ่ง อีกทั้งข้าวสังข์หยดที่ผ่านกระบวนการนึ่งมีค่าความสว่างและปริมาณแอน โทไซยานินลดลงเมื่อมีการใช้เวลาในการนึ่งและการแช่ที่นานขึ้น และในสภาวะการแช่และการ การนึ่งที่นานขึ้นส่งผลให้ข้าวมีร้อยละการดูดซับน้ำ กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายที่ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวสังข์หยดที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง ทั้งนี้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ข้าวหนึ่งจากข้าวสังข์หยดคือสภาวะที่การแช่ข้าวที่เวลา 6 ชั่วโมงและการนึ่งที่เวลา 20 นาที โดย สภาวะนี้จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงสุดและมีปริมาณการสูญเสียสารแอนโทไซยานินน้อยที่สุด



## เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2550. **ข้าว: โภชนาการ สุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่1.** กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กรมการข้าว. 2552. **คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าว.** สืบค้นได้จาก: <http://www.riceproduct.org> [12/02/2557].
- กรมวิชาการเกษตร. 2527. **ข้าวและการทำนา.** สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.
- กัญญา เชื้อพันธ์. 2545. **คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนเปื้อนในข้าวหอมมะลิไทย ในคุณภาพข้าวทางกายภาพ.** หน้า1-10. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. **เทคโนโลยีของแป้ง.** พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กฤษณิยา ครุฑกะ. 2544. **การผลิตโยเกิร์ตแช่แข็งจากน้ำนมถั่วเหลืองน้ำมันข้าวกล้องและรำข้าว.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2536. **คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด.** หน้า 51. เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง.
- เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข. 2536. **คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด.** หน้า 1- 53. เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง.
- โครงสร้างของอะไมโลส.** 2557. สืบค้นจาก: [science.srru.ac.th](http://science.srru.ac.th) [17/01/57]
- โครงสร้างของอะไมโลเพคติน.** 2557. สืบค้นจาก: [science.srru.ac.th](http://science.srru.ac.th) [17/01/57]
- งามชื่น คงเสรี. 2536. **คุณภาพเมล็ดทางเคมี.** หน้า 54-70. เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง, ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าวกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2542. **เทคนิคการทดสอบคุณภาพข้าว.** น.ส.พ.กสิกร . 72(5): 467-473.
- จรรย์ พานิชย์กุล. 2537. **แป้ง (Starch) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้แป้งสุก.** วารสารจรรยา. 11: 22-24.
- จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. **ความรู้เรื่องข้าว.** สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ฉวีวรรณ วุฒินาโณ. 2543. **ข้าวพื้นเมืองไทย.** ศูนย์ปฏิบัติการและเก็บเมล็ดเชื้อพันธุ์ข้าวแห่งชาติ. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. หน้า 215.

- ชาญ มงคล. 2536. ข้าว. หน้า 149. ตำราเอกสารวิชาการฉบับที่63. ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการหน่วยศึกษานิเทศก์. กรมการฝึกหัดครู. กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนาปนนท. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- น้ำฝน ศีตะจิตต์. 2548. การเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวและข้าวหนึ่งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงสูงสูง  
สูงแคเยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- บุปผา นุชนาถ. 2547. การผลิตข้าวหนึ่งบรรจุกระป๋อง. ปัญหาพิเศษ โปรแกรมมิชชาวิทยาศาสตร  
และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลย  
อลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ประพาส วีระแพทย์. 2526. ความรู้เรื่องข้าว. หน้า 108. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.  
กรุงเทพฯ.
- ปราณีต จิระสุทัศน์. 2531. ข้าว. หน้า 241. ภาควิชาเกษตรศาสตร์. คณะวิชาวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีวิทยาลัยครูพระนคร.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท . 2557. เม็ดสตาร์ช. สืบค้นจาก:  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0567/starch-granule-เม็ดแป้ง> [09/09/2556]
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท. 2557. การเกิดเจลาทีไนซ์. สืบค้นจาก:  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/350/gelatinization-การเกิดเจลาทีไนซ์> [09/09/2556]
- พิมพ์อร ศีตคุนรัตน์. 2552. ข้าวกลองงอกราชาแห่งขาว สูดยอดอาหารเพื่อสุขภาพ และ  
ความงาม. หน้า 154-155. ฐานบัณฑิต. กรุงเทพฯ.
- ไพศาล สังโวลี. 2543. ข้าวไทยจากนารธรรมชาติสู่ข้าวปลอดสารเคมี. หน้า 158. มูลนิธิศูนย์  
สื่อเพื่อการพัฒนา. กรุงเทพฯ.
- มรกต ตันติเจริญและศิริพร จำรัสเลิศลักษณ์. 2547. เทคโนโลยีชีวภาพกับสายพันธุ์ข้าว.  
สืบค้นจาก: <http://knowledge.biotec.or.th> [18/06/2557].
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, ไชยรัตน์ เพ็ชรชลาณวัฒน์  
รุ่งทิพา วันสุขศรี, บุญทิศา นิลจันทร์ และ Naoyashi Inouchi. 2546. การศึกษา  
คุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้าง  
ผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. รายงานการวิจัย ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะ  
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- วาสนา ผลารักษ์. 2523. ข้าว. หน้า 78. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ. การค้าของข้าวไทย. สืบค้นจาก:  
<http://app1.bedo.or.th/rice/EN/GeneralInfo.aspx?id=5> [09/09/2556]



- สำเร็จ แซ่ตัน. 2548. **ข้าวเพื่อสุขภาพ: พันธุ์สังข์หยดพัทลุง**. หน้า 25-29. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2548 .วันที่ 7-8 มีนาคม 2548 .สถาบันข้าว. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สุนันทา ทองทา. 2549. **ผลของอุณหภูมิปริมาณน้ำและการเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพต่อการเกิดรีโทรเกรดชันของแป้งมันสำปะหลัง**. รายงานการวิจัย. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารสำนักวิชาการเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- อมรรัตน์ ถนนแก้ว. 2552. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากข้าวสังข์หยด**. หน้า 18. รายงานวิจัย. สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยทักษิณ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน. มหาวิทยาลัยทักษิณ. พัทลุง.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. **เคมีทางธัญญาหาร**. หน้า. 148. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Anderson, OM., and Markham, KR. 2006. **Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications**. CRC Press, Boca Raton.
- Bhattacharya, K.R. 1979. Gelatinization Temperature of Rice Starch and Its Determination. *In Chemical Aspects of Rice Grain Quality*. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Bhattacharya, K.R. 2011. **Rice Quality**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- Changlian, P. 2006. **The anti-photooxidation of anthocyanins-rich leaves of a purple rice cultivar**. Science in China Series C : Life Sciences. 49(6): 543-551.
- Cheng, H.H and Lai, M.H. 1991. **Fermentation of Resistant Rice Starch Produces Propionate Reducing Serum and Hepatic Cholesterol in Rats**. Journal of Nutrition. 30(8):1991-1995.
- 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. **Chemical and physicochemical 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: 2295-2299.
- Francis, S-A., Smith, F.J., Gray, N. and Graffy, J.P. 2002. **The role of informal carers in medication management for older care-recipients**. International Journal of Pharmacy Practice. 10: 1-9.
- Henry, R.J. and Kettlewell, P.S. 1996. **Cereal Grain Quality**. Chapman and Hall, London.
- Hibi, Y.S., Kitamura and Kuge, T. 1990. **Effect of lipids on the retrogradation of cooked rice**. Journal of Cereal Chemistry. 67: 7-10.
- Hiemori, M., Koh, E. and Mitchell, A.E. 2009. **Influence of Cooking on Anthocyanins in Black Rice (*Oryza sativa* L. japonica var. SBR)**. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 57: 1908-1914.
- Hoseney, R.C. 1986. **Principles of Cereal Science and Technology**. The American Association of Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- 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.
- Juliano, B.O., Perez, C.M., Barber, S., Balkeney, A.B., Iwasaki, T., Shibuya, N., Keneaster, K.K., Chung, S., Laignelet, B., Launay, B., Del Mundo, A.M., Suzuki, H., Shiki, J., Tsuji, S., Tokoyama, J., Tatsumi, K. and Webb, B.D., 1981. **International cooperative comparison of instrument methods for cooked rice texture**. Journal of Texture Studies. 12: 17-38.
- Kar, N., Jain, R.K. and Srivastav, P.P. 1999. **Parboiling of dehusked rice**. Journal of Food Engineering. 39: 17-22.

- Kidmose, U. 2002. Color Stability in Vegetables. *In Colour in Food: Improving Quality*. (MacDo gall, DB., Boca Raton, Fla. : CRC Press ; Cambridge, : Woodhead) P b., 2002, p. 145-150, 179-180, 186-187, 196-197, 217, 248, 265-266, 270-271.
- Kim, J.O., Kim, W.S. and Shin, M.S.K. 1 9 9 7 . **A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and  $\alpha$ -amylase method**. *Starch-Stärke*. 49: 71-75.
- Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J. 1 9 5 9 . **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. 2 0 0 0 . **Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches**. *Journal of Food Engineering*. 50: 141-148
- Lumdubwong, N., Boonta, B. and Tatongjai, j. 2005. Proceeding of Starch Update 2007: the 4<sup>th</sup> 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.
- Mahanta, C.L. and Bhattacharya, K.R., 1989. **Thermal degradation of starch in parboiled rice**. *Starch-Stärke*. 41: 91-94.
- Mahanta, C.L., Ali, S.Z., Bhattacharya, K.R. and Mukherjee, P.S., 1989. **Nature of starch crystallinity in parboiled rice**. *Starch-Stärke*. 41: 171-176.
- Mazza, G., and Brouillard, R. 1987. **Recent developments in the stabilization of anthocyanins**. *Food Chemistry*. 25:207-225.
- Morrison, W.R. 1988. **Lipids**. *In Wheat Chemistry and Technology*. (Pomeranz, V., ed). The American association of cereal chemists, Inc., St. Paul, Minnesota.
- Noosuk, P., Sandra, E.H., Imad, A.F., John, R.M. and Pasawadee, P. 2 0 0 3 . **Relationship between viscoelastic properties and starch structure in rice from Thailand**. *Starch-Stärke*. 57: 587-598.
- Norman, F.T. and Marshall, W.E. 1 9 8 9 . **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. 2014. **Parboiled rice: Understanding from a materials science approach.** *Journal of Food Engineering.* 124: 173-183.
- Ramesh, M., Ali, S.Z. and Bhattacharya, K.R. 1999. **Influence of parboiling on rice starch structure and cooked-rice texture.** *Journal of Texture Studies.* 30(3): 337-344.
- Ramesh, M., Bhattacharya, K.R. and Mitchell, J.R. 2000. **Development in understanding the basis of cooked-rice texture.** *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 40: 449-460.
- Sikorski, Z.E. 2007. **Chemical and junctional Properties of food Components.** CRC Press, Boca Raton.
- Slad, L. and Levine, H. 1988. Temperature location of the glass transition associate with gelatinization of A-type cereal starches *In Non-equilibrium 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.
- 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 crystallinity characteristics 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 Structure of Starch. *In Starch: Chemistry and Technology 2<sup>nd</sup>.* (R.L. Whistler, J.N. Bemiller and E.F. Phaschall., eds.). pp. 153-178. Academic Press, Inc., Florida.

- Zavareze, E.d.R., Storck, C.R., de 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(2): 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.



## ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายอิทธิพร แก้วเพ็ง  
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Ittiporn Keawpeng
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก  
โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา  
โทรศัพท์ 085-9929664  
E-mail : Ittiporn.ke@skru.ac.th
4. ประวัติการศึกษา  
ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ปีที่จบการศึกษา 2548  
ปริญญาโท Mokpo National University, Republic of Korea  
Food Engineering ปีที่จบการศึกษา 2551  
ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร ปีที่จบการศึกษา 2555
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ  
เคมีแป่ง วิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร เทคโนโลยีธัญพืช
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
  1. โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาปัญหาการดำเนินการวิชาปัญหาพิเศษของนักศึกษาโปรแกรม  
วิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา  
แหล่งงบประมาณ กิจกรรมส่งเสริมบูรณาการและการวิจัยในชั้นเรียน คณะ  
เทคโนโลยีการเกษตร ปีงบประมาณ 2556

2. โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษากระบวนการผลิตไข่เยี่ยวม้าจากไข่นกกระทาและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการ เก็บรักษา

แหล่งงบประมาณ งบประมาณแผ่นดิน วช. ปีงบประมาณ 2555

3. โครงการวิจัยเรื่อง ผลของกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเหนียวจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

แหล่งงบประมาณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาประจำปี 2556

