



รายงานการวิจัย

ผลของการกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวนึ่ง
จากข้าวสังข์หยอดเมืองพัทลุง

Effect of processing on quality changes of parboiled
Phatthalung Sungyod rice



รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

พ.ศ. 2556

เลข Bib#	11A1A23
วันที่	17 พ.ค. 2561
เลขเรียกหนังสือ	66A-72 03A07

ชื่องานวิจัย	ผลของสภาวะการผลิตต่อคุณสมบัติทางเคมีภysis และการยอมรับของผู้บริโภคของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดพัทลุง
ผู้วิจัย	อิทธิพร แก้วเพ็ง
คณะ	เทคโนโลยีการเกษตร
ปี	2559

บทคัดย่อ

ข้าวสังข์หยดเป็นข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองดั้งเดิมของภาคใต้ที่มีรสชาติดี คุณค่าทางโภชนาการสูงและเมื่อหุงสุกจะมีลักษณะนุ่ม ย่นย่าง่าย ข้าวนี้คือข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่ผ่านการแข่น้ำ นึ่งด้วยไอน้ำและทำให้แห้งก่อนการขัดสี เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเม็ดข้าว ข้าวสังข์หยดได้ผ่านกระบวนการนึ่งเวลาการแข่น้ำที่แตกต่างกัน (6 และ 12 ชั่วโมง) ระยะเวลาในการนึ่งที่แตกต่างกัน (20, 40 และ 60 นาที) จากนั้นได้ทำการตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี เคมีภัยภาพของข้าวนั่ง พบว่า ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 10.03 ปริมาณไขมันร้อยละ 2.78 ปริมาณเล้าร้อยละ 1.87 ปริมาณเยื่อยร้อยละ 1.59 และปริมาณความชื้นร้อยละ 10.40 โดยน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างข้าวชุดควบคุมมีค่าความสว่าง 33.19, ค่าความเป็นสีแดง 15.63, ค่าความเป็นสีเหลือง 18.55 และในตัวอย่างข้าวนั่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าเวลาในการแข่น้ำและการนึ่งที่นานขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างข้าวนั่งมีค่าความสว่างลดลง และค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม ข้าวหลังผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ จะมีปริมาณแอล朵ไซานินต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการใช้เวลาในการแข่น้ำและการนึ่งที่มากขึ้น ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการแข่น้ำ 6 ชั่วโมงมีปริมาณแอล朵ไซานินโดยรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแข่น้ำ 12 และ 24 ชั่วโมง การใช้เวลาในการแข่น้ำและการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ร้อยละการคุดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้เวลาในการแข่น้ำ 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณร้อยละการคุดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแข่น้ำ 6 และ 12 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณร้อยละการคุดซับน้ำในตัวอย่างข้าว พบว่าการใช้เวลาในการนึ่งที่ 6 นาที จะมีปริมาณร้อยละการคุดซับน้ำมากที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่ 20 และ 40 นาที ข้าวชุดควบคุมมีกำลังการพองตัวเท่ากับ 12.93 และปริมาณร้อยละการละลายเท่ากับ 0.09 และข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้เวลาในการแข่น้ำและการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายเพิ่มสูงขึ้น ข้าวสังข์หยดชุดควบคุมมีอุณหภูมิการหลอมละลายของเม็ดแป้งเท่ากับ 74.61 องศาเซลเซียส และข้าวที่ผ่านกระบวนการแข่น้ำและให้ความร้อนขึ้นที่ระยะเวลา

แตกต่างกันมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 76.02-81.63 องศาเซลเซียส โดยข้าวที่แข็งที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง และให้ความร้อนชั้นที่ระยะเวลา 60 นาทีมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลเมื่อค่าสูงที่สุด การแข็งข้าวที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนชั้นสูงขึ้นทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลเพิ่มสูงขึ้นตาม ข้าวชุดควบคุมมีความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคืนตัวเท่ากับ 116.88 และ 123.65 RVU ตามลำดับ และข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนชั้นมีค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคืนตัวอยู่ระหว่าง 90.23-95.23 และ 98.27-108.54 RVU ตามลำดับ อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดสุดท้ายของข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนชั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) 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 (ΔE) 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°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 ใน การให้การสนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัยและเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมไปถึงสิ่งอำนวยความสะดวกความสะดวกต่าง 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 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทอินดิค้า จาปอนิกา และ javanica	7
2 ปริมาณไขมันต่างๆ ที่พบในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว	13
3 ปริมาณไขมันที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบข้าวขัดขาวบางชนิด	13
4 ปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด	15
5 อุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซ็นของสารชี้ขาวบางชนิด	21
6 สีและการดูดกลืนแสงของแอนโนไซดานิدين	28
7 ข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวนึ่ง	34
8 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง	41
9 ความชื้นของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน	42
10 ร้อยละของข้าวกล้อง ร้อยละแกลบ ร้อยละข้าวเต็มเมล็ด และร้อยข้าวหักของข้าว นึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน	43
11 ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความแตกต่างของสี โดยรวมของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน	45
12 ร้อยละดุดชับน้ำ การละลายและกำลังการพองตัวของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยด เมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน	49
13 ผลของกระบวนการความร้อนชั้นต่อระดับการเกิดเจลาทีไนส์ของข้าวนึ่งจากข้าว สังข์หยดพัทลุง	50
14 ผลของกระบวนการความร้อนชั้นต่อคุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์ หยดพัทลุง	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	4
2 รูปร่างของเม็ดสตาร์ทที่ได้จากข้าว	16
3 แบบจำลองภายในของเม็ดสตาร์ทที่ได้จากข้าว	17
4 โครงสร้างของอะไมโลส	17
5 โครงสร้างอะไมโลเพกติน	18
6 การเกิดเจลาทีนайซ์	19
7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA	24
8 การแทนที่ของแอนโวนโทไซยานิน	27
9 การเปลี่ยนรูปโครงสร้าง (Structural transformation) ของแอนโวนโทไซยานิน	19
10 การกระจายของ AH^+ , A, B และ C ของ Cy-3,5-diglucoside ที่สภาวะสมดุล	19
11 ปริมาณแอนโวนโทไซยานินในตัวอย่างข้าวสังข์ชัยดเมืองพัทลุงที่ผ่านกระบวนการนึ่ง ที่สภาวะต่างๆ	47



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยนั้นมีปริมาณการส่งออกของข้าวเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศนับหมื่นล้านต่อปี โดยปลูกเพื่อการบริโภค การแปรรูป และการส่งออก (สำเริง แซ่ตัน, 2548) ในปี 2551 ปริมาณการค้าข้าวของโลกทั้งสิ้น 29.60 ล้านตันข้าวสาร ประเทศไทยทำสถิติสูงถึง 10.216 ล้านตัน โดยมีส่วนแบ่งการตลาดส่งออกข้าวสารถึงร้อยละ 34.53 ประเทศไทยมีคู่ค้าที่สำคัญ ได้แก่ ฮ่องกง จีน มาเลเซีย แคนาดา โ古ตดิวาร์ อิหร่าน เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานข้อมูล, 2556) ทั้งนี้ในประเทศไทยมีพันธุ์ข้าวต่างๆ ที่สำคัญ อาทิ เช่น กข5 ขาวดอกมะลิ 105 เนื้องพัทลุง เนียงยำสันป่าตอง เหลือง ประทิว 123 และสังข์หยดพัทลุง เป็นต้น

ข้าวสังข์หยดเป็นพันธุ์ข้าวพื้นเมืองของจังหวัดพัทลุง ที่มีลักษณะพิเศษคือข้าวกล้องมีสีแดงเข้ม มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ได้แก่ สารในอะซินสูงที่มีส่วนช่วยในการของระบบประสาท และผิวน้ำนมวิตามินบี 1 ช่วยในการป้องกันโรคเห็บชา วิตามินบี 2 ช่วยในการป้องกันโรคปากนกระจอก นอกจากนั้นยังมีสารแคเลเซียมและฟอสฟอรัส ช่วยในการป้องกันโรคกระดูกเสื่อม สารสีแดงของข้าวสังข์หยดเป็นรงค์วัตถุประเภทฟลาวนอยด์ ชนิดแอนโทไซยานินซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความชรา และลดความเสี่ยงการเป็นโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคมะเร็ง และโรคระบบภูมิคุ้มกันทำงาน ผิดปกติ อีกทั้ง ยังมีสีและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ (อมรรัตน์ ถนนแก้ว, 2552) แต่อย่างไรก็ตามในข้าวหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะข้าวใหม่ จะมีการแตกหักของข้าวในปริมาณที่มากทำให้ราคาของข้าวลดต่ำลง จึงมีการปรับปรุงคุณภาพข้าวโดยใช้กระบวนการการให้ความร้อนขึ้น ทำให้เกิดเป็น “ข้าวนึ่ง”

ข้าวนึ่ง คือข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่ผ่านการแข็งน้ำ นึ่งด้วยไอน้ำและทำให้แห้งก่อนการขัดสี เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดข้าว ระหว่างการทำข้าวนึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลง สมบัติทางเคมีภายในภาพของข้าวในหลายรูปแบบ ในขั้นตอนการขัดสีโดยเฉพาะในข้าวใหม่ พบร่วมกับการแตกหักของข้าวและเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานจะทำให้มีการปนเปื้อนของแมลงได้ง่าย จึงมีแนวความคิดในการประยุกต์ใช้วิธีการนึ่งข้าวเพื่อลดการแตกหักของข้าวและลดการปนเปื้อนของข้าวเนื่องจากแมลงระหว่างการเก็บรักษาข้าวได้ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนนี้มีผลกระทบต่อสารที่สำคัญในข้าว จึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อหา สภาวะที่เหมาะสมต่อคุณภาพของข้าวนึ่งสังข์หยดเมืองพัทลุง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของการกระบวนการให้ความร้อนชั้นต่อคุณภาพของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หydเมืองพัทลุง
2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หydเมืองพัทลุง
3. ศึกษาการลดการแตกหักของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หydเมืองพัทลุง
4. ศึกษาปริมาณสารสำคัญในข้าวสังข์หydเมืองพัทลุงเมื่อผ่านกระบวนการการให้ความร้อน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงสภาวะการผลิตข้าวนึ่งที่เหมาะสมสำหรับข้าวสังข์หydเมืองพัทลุง
2. สามารถนำกระบวนการการผลิตข้าวนึ่งไปปรับใช้กับเกษตรกรข้าวสังข์หydเมืองพัทลุง

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาผลของการกระบวนการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และเคมีกายภาพของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หydเมืองพัทลุง

บทที่ 2

ทฤษฎี

1. ความหมายของข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกในตระกูลหญ้า (Family: Gramineae) สกุลօริซ่า (Genus: Oryza) ปัจจุบันมีทั้งหมด 24 ชนิด เป็นข้าวปลูกเพื่อบริโภค 2 ชนิดคือข้าวปลูกເອເຊີຍ ອອຣີ່ຊ່າ ທ້າໄທວາ (Oryza sativa Linn.) และข้าวปลูกແອຟຣິກາ (O. glaberrima Steud.) ส่วนที่เหลือเป็นข้าวป่า ทั้งหมด (มรกต ตันติเจริญ และ ศิริพร จำรัสເລີສະກັບຜົນ, 2547)

2. โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

2.1 เปลือกนอก หรือ แกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก น้ำหนักเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักเมล็ดข้าว องค์ประกอบส่วนใหญ่ภายใน hull ได้แก่ ลิกนิน (ร้อยละ 30), เชลลูโลส (ร้อยละ 25) และเต้า (ร้อยละ 21) ดังนั้นส่วนนี้จึงมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ แต่มีความสำคัญในการป้องกันเมล็ดจากเชื้อราและแมลงในระหว่างการเก็บรักษา (จำรัส ໂປ່ງສີຮັກ, 2534; เครือวัลย์ อัตตะວิริยะสุข, 2536)

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

2.2.1 เยื่อหุ้มผล (pericarp หรือ fruit coat) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้อง ประกอบด้วยเนื้อยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ เอพิคาฟ (epicarp), มีโซคาฟ (mesocarp) และ เอโดคาฟ (endocarp) เยื่อหุ้มผลเหล่านี้มีลักษณะเป็น เยื่อยไย (fibrous) ผนังเซลล์ประกอบด้วย โปรตีน เชลลูโลส และเอมิเชลลูโลส

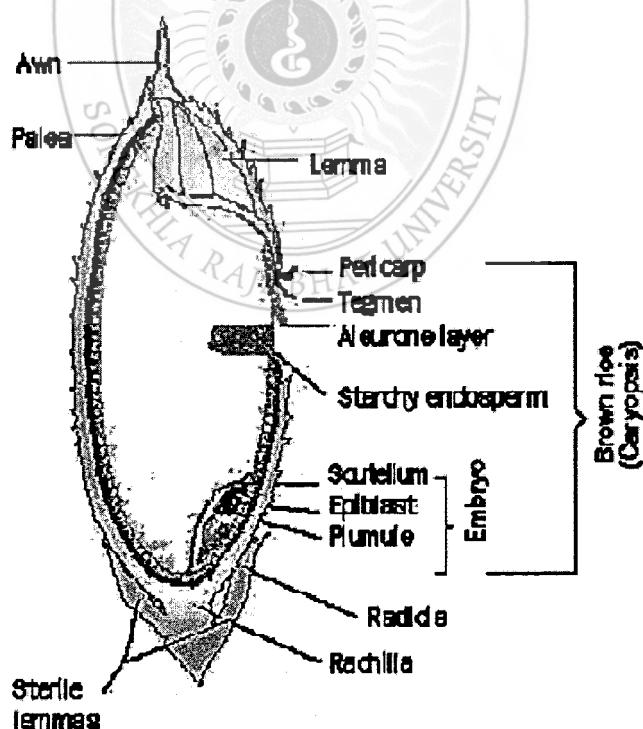
2.2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ tegmen) เป็นเซลล์ชั้นเดียว หนาประมาณ 0.5 ໝາມ อยู่ติดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไปประกอบด้วยเนื้อยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นชั้นที่มีไขมันอยู่มาก

2.2.3 ชั้นแอลิวโрон (aleurone layer) เป็นเยื่อชั้นติดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วย เชลล์ 1-7 ชั้น ลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านหน้า ซึ่งความหนานี้ จะแตกต่างไปตามพันธุ์ข้าว เช่น ข้าวเมล็ดป้อม-สันจะมีเยื่อชั้นแอลิวโронหนากว่าข้าวเมล็ดขาว เป็นต้น และชั้นแอลิวโронเป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ภายในชั้นแอลิวโрон ประกอบด้วย

โปรตีน ไขมัน วิตามินและมีแป้งเล็กน้อย ดังนั้นมีอิทธิพลต่อการหักล้างซึ่งไม่ได้ขัดสีเอาชนะแลกิวโร นออกไปจึงรู้สึกกระด้างกว่าข้าวสาร

2.2.4 เนื้อเมล็ด หรือ เนื้อข้าว (Endosperm) เป็นส่วนเนื้อของเมล็ดข้าว (ประมาณร้อยละ 80 ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารโปรไบโอเดตหรือแป้ง แป้งข้าวจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (starch compound) กลุ่มแป้งหลายกลุ่มจะอยู่รวมกัน โดยมีโปรตีน (protein body) แทรกอยู่ และไขมันเล็กน้อย แป้งข้าวแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin)

2.2.5 胚芽หรือคัพกะ (embryo) เป็นส่วนเล็กๆอยู่ที่มุมล่างของเมล็ด ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน (radicle), ต้นอ่อน (plumule), เยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhiza), เยื่อหุ้มต้นอ่อน (caleoptile), ห่อน้ำท่ออาหาร (epiblast) และใบเลี้ยง (scutellum) ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดียว คัพกะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน จึงอุดมไปด้วยโปรตีนและไขมันส่วนต่างๆ ยกเว้น แป้ง วิตามิน B1 B2 และในอาชิน ซึ่งวิตามินเหล่านี้จะถูกขัดออกไป เมื่อผ่านกระบวนการขัดข้าว (จำรัส โปรดศิริวัฒนา, 2534 ; เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2536)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา : Juliano, 1985

3. การจำแนกประเภทของข้าว

3.1 การจำแนกข้าวตามลักษณะการกำเนิด

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

3.1.1.1 โอไรชา กลาเบอร์ริมา นิยมปลูกในทวีปแอฟริกาฝั่งตะวันตก

3.1.1.2 โอไรชา ชาเตวา นิยมปลูกในทวีปต่างๆทั่วโลก

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

3.2 การจำแนกข้าวตามสภาพภูมิประเทศและวิธีปลูก

3.2.1 ข้าวไร่ (upland rice) คือข้าวที่ปลูกในที่ดอนหรือเชิงเขาที่มีความชุ่มชื้นพอสมควร

3.2.2 ข้าวนานาสวน (lowland rice) คือข้าวที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่วไปที่มีน้ำขังแต่ลึกไม่เกิน 1 เมตร

3.2.3 ข้าวนานเมืองหรือข้าวขึ้นน้ำ (floating rice) คือข้าวที่ปลูกได้ในที่น้ำลึกเกินกว่า 1 เมตร ขึ้นไปและมีความสามารถในการยึดตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2527)

3.3 การจำแนกข้าวตามลักษณะความไวต่อความสัมภារของช่วงแสงต่อวัน

3.3.1 ข้าวไวแสง คือพันธุ์ข้าวที่ออกดอกออกผลตามความยาวของช่วงเวลากลางวันที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้อายุไม่แน่นอน ถ้าปลูกในช่วงที่มีกลางวันยาวหรือช่วงการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ในช่วงกลางวันยาวจะทำให้อายุของข้าวยานนาน แต่ถ้าปลูกในช่วงกลางวันสั้นอายุของข้าวจะเบาและข้าวไวแสงจะมีระดับความไวต่อช่วงแสงแตกต่างกัน ข้าวพวกนี้อาจเรียกได้ว่า ข้าวออกดอกตามฤดูกาล

3.3.2 ข้าวไมไวแสง คือข้าวที่ช่วงแสงต่อวันไม่มีอิทธิพลในการกำหนดเวลาออกดอก ข้าวพวกนี้จึงเป็นข้าวที่สามารถปลูกได้ตลอดปีไม่ว่าจะเป็นนาปีหรือนาปรัง ข้านี้มีกำหนดอายุวัน ออกดอกแน่นอนโดยนับตั้งแต่วันตกล้าไปถึงวันออกดอกหรือจะเรียกข้าวพวกนี้ว่า ข้าวออกดอกตามอายุก็ได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2527)

3.4 การจำแนกข้าวตามอายุการเก็บเกี่ยว

3.4.1 **ข้าวเบา (early varieties)** หมายถึง ข้าวที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น เก็บเกี่ยวได้เร็ว กว่าพันธุ์อื่นๆ ในท้องที่เดียวกันหากเป็นพันธุ์ที่ไวแสงจะสุกและเก็บเกี่ยวได้ประมาณเดือน ตุลาคมถึงพฤษจิกายน หากเป็นพันธุ์ไม่ไวแสงอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100-120 วัน

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

3.4.3 **ข้าวหนัก (late varieties)** หมายถึง ข้าวที่อายุเก็บเกี่ยวมากโดยจะออกดอกและเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ตุลาคมหรือหลังจากนั้นหากเป็นพันธุ์ไม่ไวแสงจะมีอายุประมาณ 180 วัน ซึ่งพันธุ์พวงนี้โดยปกติจะมีผลผลิตสูงกว่าพันธุ์เบาและพันธุ์กลาง (ปราณีต จิรสุทธิ์ศรี, 2531)

3.5 การจำแนกข้าวตามลักษณะทางด้านสัณฐานวิทยา

ข้าวโอลิซา ชาไตรวา (*Oryza sativa*) แบ่งย่อยได้เป็น 3 พาก ดังตารางที่ 1 โดยอาศัยความแตกต่างในด้านสัณฐานวิทยาและการปรับตัวในการเจริญเติบโตที่สภาพแวดล้อมต่างกัน

3.5.1 **อินดิค่า (indica)** จะพบทั่วไปในเอเชียเขตร้อน ปลูกมากในประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย พม่า อินเดีย ลาว เวียดนาม ศรีลังกา เป็นข้าวต้นสูง พางอ่อน เมล็ดยาว เรียว ข้าวอินดิค่าจะมีความผันแปรของพันธุ์มาก เช่น ความต้องการน้ำซึ่งขึ้นได้ทั้งในที่ดอน จนถึงที่ลุ่มน้ำขังลึกถึง 5 เมตร

3.5.2 **จาปอนิกา (japonica)** จะพบริเวณรอบอุ่น เช่น ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี จีนตอนเหนือและตะวันออก จะมีความผันแปรของพันธุ์น้อยกว่าข้าวอินดิค่าเป็นข้าวต้นเตี้ย เมล็ดน้อย

3.5.3 **javanica (javanic)** เป็นข้าวที่พบในประเทศไทยอินโดนีเซียบางท้องที่เท่านั้น อาจมีปลูกบ้างในฟิลิปปินส์ อินเดีย มีลักษณะคล้ายจาปอนิกา (ปราณีต จิรสุทธิ์ศรี, 2531)

ตารางที่ 1 ลักษณะที่สำคัญบางประการของข้าวประเภทกลินดิค้า จาปอนิกา และ javanica

ลักษณะ	ชนิดข้าว		
	อินดิค้า	จาปอนิกา	จาวนิค่า
รูปร่างและสีใบเมล็ด	กว้าง สีเขียวอ่อน ยาว ค่อนข้างแบน	แคบ สีเขียวแก่ สั้น กลม	กว้าง แข็ง สีเขียวอ่อน กว้างหนา
การแตกกอ	แตกกอมาก	แตกกอปานกลาง	แตกกอน้อย
ลักษณะ	สูง อ่อน สั้นมาก	เตี้ย แข็ง สั้นมาก - ยาว	สูงแข็ง สั้นมาก - ยาว
ทางของเมล็ด	สั้น	ขนมากและยาว	ขนยาว
ขนาดของข้าวเปลือก	เมล็ดร่วงง่าย	เมล็ดร่วงยาก	เมล็ดร่วงยาก
การร่วนของเมล็ด	23 - 31	20 - 25	10 - 24

ที่มา : ประพัส วีระเทพ (2526) ; ชาญ มงคล (2536)

3.6 การจำแนกข้าวตามชนิดและปริมาณของแป้งในเมล็ด

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

ข้าวเจ้าจะมีส่วนของเมล็ดใสกว่าข้าวเหนียวเมื่อนำไปหุงต้มจะไม่ค่อยเกะกะตัวจะร่วนชุยไม่เหนียวติดกัน ในการหุงต้องการน้ำในปริมาณที่มากกว่าข้าวเหนียว แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพคตินร้อยละ 64 - 92 และมีปริมาณของอะไมโลสร้อยละ 8 - 36 ของน้ำหนักเมล็ด ซึ่งปริมาณของอะไมโลสในข้าวเจ้าจะสูงกว่าข้าวเหนียวข้าวเจ้าบางพันธุ์ เมื่อหุงต้มแล้วจะพบว่ามี ความนุ่มและการเกาะตัวตึงไกล์เคียงกับข้าวเหนียว เช่น ข้าวพวงจาปอนิกา แต่คุณลักษณะอื่นๆ ในการหุงต้มและลักษณะทางเคมียังคงมีลักษณะเป็นข้าวเจ้าอยู่ ความนุ่มของข้าวเจ้าจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสในเมล็ด ปริมาณโปรตีน อายุ การเก็บรักษา ปริมาณน้ำใน การหุงต้ม เป็นต้น (วานา ผลารักษ์, 2523) ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าทำให้ข้าวเมื่อหุงสุกแล้วมีลักษณะอ่อนนุ่มหรือแข็งกระด้างต่างกันไป เรียกว่า มีคุณภาพ การหุงต้ม (cooking quality) ต่างกัน กล่าวคือข้าวพันธุ์ที่ยังมีอะไมโลสมากจะยิ่งมีเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่แข็งมาก (ชาญ มงคล, 2536)

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

ข้าวเหนียวจะมีลักษณะของเนื้อเมล็ดเป็นสีขาวซุ่น เมื่อนำไปหุงต้มจะเหนียว เมล็ดเกาะตัวกันดีมาก แป้งในเมล็ดส่วนใหญ่เป็นอะไมโลเพคตินและมีอะไมโลสเป็นส่วนน้อย หรืออาจไม่มีเลยในเมล็ดจะประกอบไปด้วยอะไมโลเพคตินร้อยละ 92 - 100 และอะไมโลส ร้อยละ 0 - 8 ของน้ำหนักเมล็ด เมล็ดข้าวเหนียวเมื่อนำไปป่นจะมีจิความนุ่มของแต่ละพันธุ์ไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่พันธุ์ที่มีความนุ่มน้อยกว่าจะเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณของอะไมโลส อยู่สูงกว่า นอกจากนี้

อาจเป็นเพาะปริมาณโปรดต้นในเมล็ด อายุการเก็บรักษาและสภาพที่เก็บรักษาด้วย (วารสาร ผลการชีว์, 2523)

3.7 การจำแนกข้าวตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ในแต่ละประเทศมีความนิยมข้าวที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เช่น ข้าวญี่ปุ่น เกาหลี ขอบข้าวเมล็ดป้อม แต่คนไทยนิยมข้าวเมล็ดยาวเรียว มาตรฐานข้าวตามประกาศของกระทรวงพาณิชย์กำหนดขนาดเมล็ด ดังนี้ (งานชั้น คงเสรี, 2542)

<u>ขั้นของเมล็ดข้าว</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

การจำแนกขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องโดยเทียบจาก USDA 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 พวง 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 ในอดีตจะถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติและต่อมาเกษตรกรอาจทำการคัดเลือกด้วยวิธีง่ายๆ ไม่มีการเปรียบเทียบพันธุ์ตามหลักวิชาการเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะ

เหมาะสมกับการต่อสู้ภัยธรรมชาติ เช่น ต้นสูง เมล็ดมี หาง ปรับตัวได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อย นอกจากรากน้ำข้าวพันธุ์พื้นเมืองมักไวต่อช่วงแสง (ประณีต จิรสุทธิ์ศน์, 2531) ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยนับว่าเป็นความหลากหลายทางด้านพันธุกรรม (genetic diversity) เป็นฐานพันธุกรรมที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ได้พันธุ์ดีในอนาคต ถ้าพันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่มีคุณภาพดีหรือทนทานต่อสภาพแวดล้อมดีได้สูญพันธุ์ไป ก็จะไม่สามารถสร้างพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของตลาดต่อไปได้ การตั้งชื่อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยจะเป็นการตั้งชื่อตามความพอใจของเจ้าของพันธุ์ โดยไม่ได้ประเมินคุณลักษณะประจำพันธุ์ทางด้านวิชาการมาก่อน ดังนั้นโอกาสที่จะซักกันจึงเป็นไปได้ สำหรับการตั้งชื่อพันธุ์ จะตั้งตามสถานที่ แหล่งที่พับหรือสถานที่ที่เก็บรวบรวมมา ตามลักษณะรูปพรรณสัณฐานที่พับตามจังหวัดตามชื่อคน ชื่อตํอกไม้ ผลไม้ สัตว์ สิ่งของ และชื่อที่บ่งบอกความหมายเป็นต้น (ฉบับรวม วุฒิญาณ, 2543)

3.8.2 ข้าวพันธุ์ดี (high yield varieties) เป็นข้าวที่ทางราชการได้ปรับปรุงและขยายพันธุ์ออกเผยแพร่สู่เกษตรกร ข้าวพันธุ์ดีโดยทั่วไป หมายถึง พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีความต้านทานโรคและแมลงดี มีอายุ พอเหมาะสม สามารถปรับตัวเองเข้ากับสภาพท้องที่ที่ปลูกได้ มีเมล็ดได้มาตรฐาน มีคุณภาพดี ข้าวพันธุ์ดีอาจเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่นักวิชาการคัดเลือกมาจากพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรปลูกอยู่มานานแล้วและทดสอบลักษณะต่างๆ ที่ต้องการ แล้วคัดไว้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหรืออาจเป็นพันธุ์ข้าวที่ผู้ผลิตพัฒนาใหม่แล้วทำการคัดเลือกและคัดลักษณะที่ต้องการไว้หลายชั้น อายุ จนพันธุกรรมคงที่ไม่กระจายตัว แล้วนำไปเปรียบเทียบผลผลิต ถ้าผลผลิตดีและลักษณะอื่นๆ ที่ต้องการดีตามจุดมุ่งหมายก็นำออกส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก (ประณีต จิรสุทธิ์ศน์, 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) ลักษณะท้องไช่ (chalkiness) ความใสของเมล็ด (grain translucency) ความขาวของข้าวสาร (whiteness of milled rice) และคุณภาพการสี (milling quality) (เครื่องวัดยึดติดวิริยะสุข, 2534)

4.1.1 น้ำหนักเมล็ด เป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุด และควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่ น้ำหนักเมล็ดจะแปรไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศก็มีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดด้วย จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ดของพันธุ์ข้าวไทยจำนวน 344 พันธุ์ พบร่วมกันน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง 1.16 - 4.17.

กรัม ข้าวพันธุ์ดีของไทยที่รู้สึกว่าสิ่งเสริมให้ปลูกจะมีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดระหว่าง 2.25 - 3.67 กรัม (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534) น้ำหนักเมล็ดสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

4.1.1.1 น้ำหนักต่อปริมาตร ประเมินเป็นกรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อลัง

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 และข้าวขัดขาวเมล็ด ยาว 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนัก 26 - 30, 22 - 24 และ 20-23 กรัม ตามลำดับ

4.1.2 สีข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งมีส่วนในการตั้งชื่อพันธุ์ในอดีต เช่น ขาวพวง ขาวนางเนย เนื่องจากมีเปลือกสีฟางหรือสีขาว เหลืองห้อม เหลืองข้างรัว เนื่องจากมีเปลือกสีน้ำตาลหรือสีเหลือง เป็นต้น เปลือกเมล็ดข้าวจะมีผลต่อสีของข้าวสารนั่ง คือ เมล็ด ข้าวเปลือกที่มีสีเข้ม ข้าวสารนั่งก็จะมีสีเข้มด้วย สีข้าวเปลือกที่พบจะมีสีขาว (white) ฟาง (straw) น้ำตาลอ่อนถึงเข้ม (light to dark brown) ร่องน้ำตาล (brown furrow) กระน้ำตาล (brown spot) น้ำตาลแดง (reddish brown) ม่วง (purple) และด้ำ (black) เป็นต้น (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

4.1.3 สีข้าวกล้อง เกิดจากสารสีที่เยื่อหุ้มผล (pericarp) ส่วนเนื้อในเมล็ดของข้าวทุกชนิดมีสีขาวเสมอ จากการสำรวจพันธุ์ข้าวต่างๆ ในธนาคารเชื้อพันธุ์ข้าวของศูนย์วิจัยข้าว ปทุมธานี พบร้าข้าวกล้องมี 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ (ม่วง) ส่วนใหญ่มีสีขาวข้าวกล้องที่มีสีแดงและม่วง มีสารสีพวงแอบโนทไไซานิน (anthocyanin pigment) ข้าวกล้องที่มีสีเข้ม ต้องใช้เวลาในการขัดร้านหรือใช้แรงกดมากเพื่อทำให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออกเป็นผล ทำให้ข้าวหักมากมีปริมาณข้าวสารน้อย ดังนั้นข้าวกล้องที่มีสีอ่อนจึงเป็นที่นิยม เช่น สีขาวหรือ น้ำตาล (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

4.1.4 ขนาดรูปร่างเมล็ด หมายถึง ความกว้าง ความยาว ความกว้าง และความป้อม หรือเรียวของเมล็ด ข้าวพอกอินเดียจะมีรูปร่างเมล็ดเรียว ค่อนข้างป้อม ข้าวพอก จาวนิคามีเมล็ดกว้างและหนา ส่วนข้าวพอกจากอนิคามีเมล็ดสั้น และกลม (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

4.1.5 ลักษณะท้องไข่ หมายถึง จุดขาวขุ่นคล้ายชอล์กที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ด เป็นลักษณะที่เกิดจากการจับตัวอย่างหลวงๆ ของเม็ดสตาร์ช (starch granule) กับเม็ดโปรตีน (protein body) ในเนื้อเมล็ดลักษณะนี้ควบคุมโดยพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ลักษณะท้องไข่ เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพและราคาของข้าว ข้าวที่เป็นท้องไข่มากเมื่อนำไปสีจะมีข้าวหักมากและไม่เป็นข้าวเกรดสูง เช่น ข้าวร้อยละ 100 เพราะข้าวเกรดสูงจะมีท้องไข่ได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ข้าวท้องไข่มีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น ข้าวท้องปลาชิว ข้าวทองข้าวหรือข้าวจือกี๊ เป็นต้น (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

การเกิดท้องไข่อาจเกิดได้หลายตำแหน่ง เช่น (งามชื่น คงเสรี, 2542)

White belly	เกิดทางด้านข้าง หรือด้านท้อง หรือด้านเดียวกับคัพภะ
White center	เกิดที่ใจกลางเมล็ด
White back	เกิดทางด้านหลังหรือด้านตรงข้ามคัพภะ

ลักษณะการเป็นท้องไข่

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 จะมีสีคล้ำ เก่าข้าวใหม่ นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวสารที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

4.1.8 คุณภาพการสี ปริมาณข้าวสารและตันข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพการสี ซึ่งการทดสอบมีขั้นตอน ดังนี้

1. ทำความสะอาดข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องเป่า
2. กะเทาะเปลือกออกโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกข้าวและแยกแกลบออก
3. ขัดข้าวคล่องเป็นข้าวสารโดยใช้เครื่องสีขนาดเล็กจะได้ข้าวสาร
4. แยกหาปริมาณตันข้าวและข้าวทั้งด้วยเครื่องแยกเมล็ดและคัดด้วยมือซ้ำอีกครั้ง

การตรวจสอบคุณภาพการสืบมักระท้าเมื่อได้ข้าวสายพันธุ์ดีเด่น ซึ่งมีลักษณะคงที่ และข้อมูลที่ได้นำไปใช้ประกอบการพิจารณาพันธุ์ในการคัดข้าวเปลือกข้าวส่วนใหญ่มี ปริมาณ แกลบประมาณร้อยละ 20 – 22 ปริมาณแกลบของข้าวพันธุ์ ต่างๆ อาจแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 18 - 26 ปริมาณรากขัดออกประมาณร้อยละ 8 - 10 ที่เหลือเป็นข้าวสารประมาณร้อยละ 70 ในส่วนของข้าวสารจะมีต้นข้าว (เมล็ดที่มีขนาดยาวกว่า 8/10 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ด) และข้าวหักปอนอยู่ ข้าวที่มีคุณภาพการสืบมักรสได้ดันข้าวไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 - 50 ขึ้นไป พันธุ์ข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาว หรือเมล็ดยาวที่มีรูปร่างป้อมและเมล็ดมีห้องไข่มาก มักมีต้นข้าวต่ำเมื่อผ่านการสืบ เช่น พันธุ์ข้าวขี้น้ำส่วนใหญ่มีห้องไข่มากและมีคุณภาพการสืบต่ำ นอกจากนี้พันธุ์ข้าวที่มีรูปร่างเมล็ดผิดปกติ เช่น ปลายแหลมมากมีคัพภะหรือจมูกข้าวใหญ่จะหักง่ายในระหว่างการสืบพันธุ์ข้าวที่มีเปลือกบางย้อมสีได้ข้าวสารมาก การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การนวด การตากแห้งที่ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไปก็ทำให้ เมล็ดข้าวร้าวก่อนสีและทำให้คุณภาพการสืบต่ำ การสืบข้าวที่มีความชื้นสูงก็ทำให้เมล็ดหักง่ายเช่นกัน (งามชื่น คงเสรี, 2542)

4.2 คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวได้ แก่ คาร์บอไไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เด็กและเส้นใยอาหาร มีผลมาจากการพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือก เป็นข้าวกล้องและข้าวสาร

4.2.1 ไขมัน

ปริมาณไขมันในส่วนต่างๆ ของข้าวจะมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) จะเห็นว่า ข้าวกล้องมีปริมาณไขมันมากกว่าข้าวขัดขาว กล่าวคือ ไขมันจะอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด ตั้งนี้จะเห็นจากปริมาณไขมันบริมาณไขมันในรำมีสูงถึงร้อยละ 18.3 ข้าวกล้องมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 3 คล้ายคลึงกับขัญชาติอื่นๆ ไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในอยู่ในส่วนด้านนอกหรือบริเวณเยื่อหุ้มของเมล็ดมากกว่าส่วนด้านในในใจกลางเมล็ด ตั้งนี้การขัดสีทำให้ข้าวขัดขาวเหลือไขมันอยู่เพียงร้อยละ 0.3 - 0.5 (Hoseney, 1986) ปริมาณของไขมันที่พบในข้าวแต่ละชนิด จะมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์ เนื่องมาจากปัจจัยทางพันธุกรรม สิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกและกระบวนการขัดสี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณไขมันต่างๆ ที่พบในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว

ชนิดไขมัน	ปริมาณไขมันในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว				
	แกงบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดข้าว	รำ	คัพกะ
ปริมาณไขมันทั้งหมด (wt%)	0.4	2.7	0.8	18.3	30.2
ชนิดกรดไขมัน (wt%)					
ปาล์มมิติก	18	23	33	23	24
โอลีอิก	42	35	21	37	36
ไลโนเลอิก	28	38	40	36	37
อื่นๆ	12	4	6	4	3

ที่มา : Juliano (1977)

สำหรับในสตาร์ชข้าวไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาร์ช 3 ลักษณะ คือ ไขมันอยู่ชิดกับโปรตีน ซึ่งอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอกหรืออาจอยู่ร่วมกับโครงสร้างอะไมโล-เพคติน สยายนอก เช่น สาย A หรือ B ส่วนผิวของเม็ดสตาร์ชลักษณะที่สองไขมันอยู่ภายนอกเม็ดสตาร์ชโดยเก้าะเกี่ยวกับสตาร์ชและลักษณะที่สามอยู่ภายนอกเม็ดสตาร์ชแต่ไม่เก้าะเกี่ยวกับสตาร์ช (Morrison, 1988)

ตารางที่ 3 ปริมาณไขมันที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบข้าวขัดข้าวบางชนิด

พันธุ์ข้าว	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดข้าว
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 พอสฟอลิปิด ไกลโคไลปิด และเทอร์พีนอยส์ ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบโมโนแอกซิลชั้งกลุ่มของโมโนแอกซิลจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าสำหรับไขมันภายในเม็ดสตาร์ชและสตาร์ชยังมีไลโซเล-ซิทิน และกรดไขมันอีกด้วย (Henry และ Kettlewell, 1996)

ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดสตาร์ซจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของสตาร์ซโดยเฉพาะความสามารถในการพองตัวการละลายและการจับตัวกับน้ำของสตาร์ซ เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียกไขมันจะรวมตัวกับอะไมโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงช้อนเอือย ทำให้ แป้งเปียกหีบแสง ชุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิมตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้ง ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (กล้ามรังค์ ศรีรอด และ เกี้กุล ปะจะอมขวัญ, 2546)

Hibi และคณะ (1990) ศึกษาผลของไขมันต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ชในข้าวหุงสุกและระหว่างการเก็บรักษาข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 5 องศา-เซลเซียส พบว่าสตาร์ชข้าวที่ผ่านการหุงแล้วเก็บรักษา มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นแบบ V-Type ต่างจากลักษณะ A-Type ของข้าวที่ไม่ได้หุงสุกซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรวมตัวกันของอะไมโลส กับไขมันเป็นสารประกอบเชิงช้อน เมื่อเก็บรักษานานขึ้นตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสตาร์ชจาก V-Type ไปเป็นแบบ B-Type ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดรีโทรกราเดชั่นของสตาร์ชเกิดขึ้นจากการคลายตัวของสารประกอบเชิงช้อนระหว่างไขมันกับอะไมโลส

4.2.2 โปรตีน

โปรตีนพบมากในส่วนที่เป็นเยื่อบริโภค มีอยู่ประมาณร้อยละ 8.3 - 9.6 ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำแต่มีคุณภาพสูงกว่าโปรตีนในธัญพืชชนิดอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ดีและเป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย โปรตีนที่พบแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ตามคุณสมบัติการละลายในตัว ทำละลาย ได้แก่ ออริเซนิน (Oryzenin) คือโปรตีนที่สามารถละลายได้ในตัวละลายด่างเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในข้าว (ร้อยละ 80 - 85) อัลบัมูนิน (Albumin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ดี ในน้ำ โกลบูลิน (Globulin) เป็นโปรตีนละลายในแอมโมเนียมซัลเฟต และโพรมามิน (Prolamin) คือโปรตีนที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ (กุณฑลิยา ครุฑาก, 2544)

ปริมาณของโปรตีนที่พบในข้าวแต่ละชนิดจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์เนื่องมาจากปัจจัยทางพันธุกรรม สิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกและกระบวนการขัดสี จะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง เพราะโปรตีนส่วนมากจะพบที่ผิวของเมล็ดข้าวและอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ด เป็นส่วนมาก ซึ่งจะเกิดการสูญเสียในระหว่างการขัดสี จึงพบปริมาณโปรตีนในข้าวขัดขาวต่ำกว่าในข้าวกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด

พันธุ์ข้าว	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ขาวดอกมะลิ	7.16	6.27
ปทุมราษฎร์	8.44	7.08
สังข์หยดพัทลุง	7.41	6.72
เล็บนกปีตานี	7.20	6.32
เฉียงพัทลุง	7.08	6.37
เหนียวแพร	7.08	5.35
เหนียวสันป่าตอง	7.08	5.55

ที่มา : กรมการข้าว (2550)

ภายในเม็ดสตาร์จะมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยโปรตีนจะเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของเม็ดสตาร์ คือ ทำให้เกิดประจุบนผิวของเม็ดสตาร์ มีผลต่อการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ ทำให้เปลี่ยนมือตราชารุดชับน้ำ อัตราการพองตัวและอัตราการเกิดเจลาตินเซ็นต์ต่างกันออกไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (กลัณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อฤทธิ์ ปิยะจอมขวัญ, 2546)

Chrastil (1990) ทดลองหาอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนออริชานินกับสตาร์ข้าว ในขณะเก็บรักษา พบร่วมความเหนียวของข้าวหุงสุกมีผลมาจากการเกาะเกี่ยวกันของออริชานิน กับโมเลกุลสตาร์ซึ่งในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยทดลองในลักษณะระบบจำลองจากการสกัดสตาร์ อะไมโลส และสตาร์ที่ปราศจากออริชานินแล้วเติมออริชานิน เปรียบเทียบลักษณะที่เติมกับไม่เติม เปรียบเทียบกับข้าวปกติที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 และ 40 องศาเซลเซียส พบร่วมความสัมพันธ์ กับโปรตีนและความเหนียวของข้าว โดยในโครงสร้างของโปรตีน ส่วนที่มีพันธะชัลไฟฟ์คู คือชิสทีนที่เกาะเกี่ยว กับเม็ดสตาร์จะขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ ทำให้ความหนืดต่ำความเหนียวลดลง ปริมาณโปรตีนมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าว กล่าวคือ ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงดูดซึมน้ำได้มากกว่าเนื่องจากโปรตีนที่อยู่รอบโมเลกุลของสตาร์จะขัดขวางการดูดซึมน้ำดังนั้นการดูดซึมน้ำจึงเกิดอย่างช้าๆ นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนสูงยังทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาตินเซ็นต์ต่ำกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2536 ; น้ำฝน ศิตะจิตต์, 2548) และนอกจากนี้ปริมาณโปรตีนยังมีความสำคัญกับความเหนียวของข้าว คือ ในระหว่างการหุงต้ม ข้าวทำให้โปรตีโนอริเซนิน (Oryzenin) และสตาร์ชบางส่วนถูกทำลาย ซึ่งทั้งสองส่วนนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกันได้เกิดโปรตีโนอริเซนินกับสตาร์ชมากทำให้มีความเหนียวมาก แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นานความสามารถในการเกิดพันธะระหว่างโปรตีโนอริ-

เช่นนิ กับ ส塔ร์ชลดลง ทำให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียวลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน (Ramesh และคณะ, 2000)

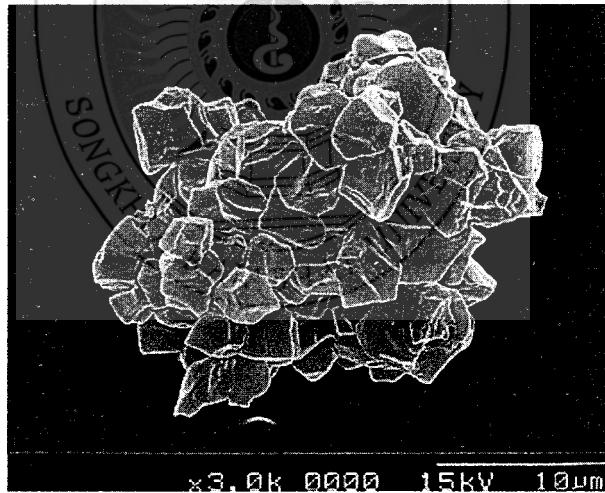
4.2.3 คาร์บอไฮเดรต

คาร์บอไฮเดรตในข้าวพบอยู่ในรูปสแตร์ช น้ำตาล เชลลูโลส และเอมิ-เชลลูโลสโดย คาร์บอไฮเดรตที่พบส่วนมากอยู่ในรูปของสแตร์ชประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักแป้งสแตร์ชจะ ประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นหน่วยย่อยที่สำคัญ

4.2.3.1 สแตร์ช

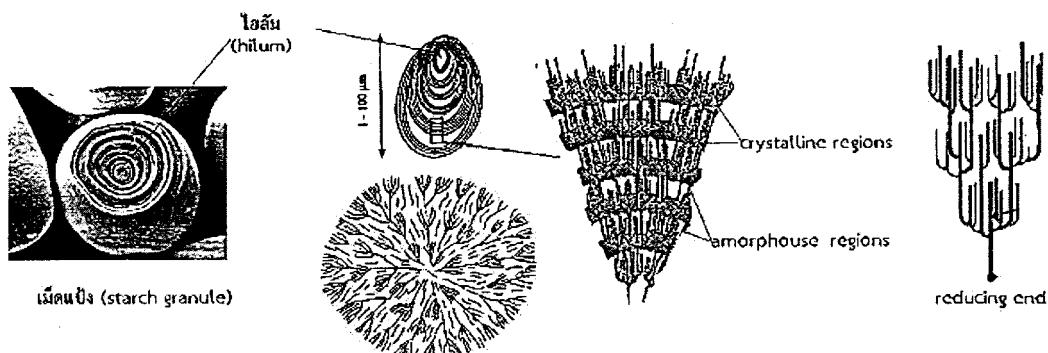
สแตร์ช ซึ่งในเม็ดนี้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักคือ สแตร์ชโดยมี อัตราถึง 90% ในรูปเม็ดสแตร์ชข้าวซึ่งมีรูปทรงหลากร伶俐้มอัดแน่นรวมกันเป็นกลุ่มเม็ดสแตร์ช ขนาด 3-9 ไมครอนหรือเดียว ขนาด 2-4 ไมครอน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

สแตร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสและเป็นโอยโมโพลิ- แซ็กคาไรด์ ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืชที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ภายในเม็ดสแตร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ กลูแคน 2 ชนิดผสมกัน คือ อะไมโลสและอะไมโลเพคติน (นิธยา รัตนานันท์, 2545)



ภาพที่ 2 รูปร่างของเม็ดสแตร์ชที่ได้จากข้าว

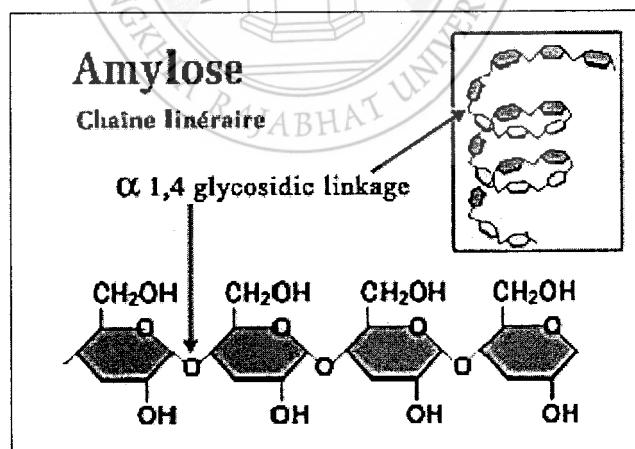
ที่มา : Cheng และ Lai (1991)



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

4.2.3.2 อะไมโลส

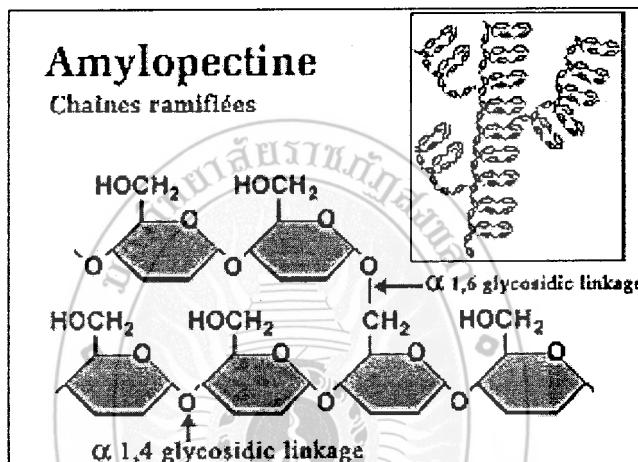
อะไมโลสเป็นโพลีเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ แอลfa-1,4-กลูโคซิดิก (α -1,4-glycosidic linkage) ดังภาพที่ 4 สตาร์ชแต่ละชนิดมีระดับโพลีเมอร์ไฮเซน (degree of polymerization : DP) ของอะไมโลส ต่างกัน โครงสร้างของอะไมโลสอยู่ในเกลียวม้วนหรือเกลียวทึ่คลายตัว (Whistler and Daniel, 1984)



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

4.2.3.3 อะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อต่อ กันด้วยพันธะแอลfa-1,4- กลูโคซิດิก และส่วนที่ เป็น กิ่งสาข ที่ เป็น พอลิเมอร์ กลูโคสสายสั้น มีระดับพอลิเมอร์ ระหว่าง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อ กันด้วยพันธะแอลfa-1,6- กลูโคซิດิก หน่วยกลูโคสที่มีพันธะแอลfa-1,6- กลูโคซิດิก มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณ หน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โครงสร้างอะไมโลเพกติน

ที่มา : science.sru.ac.th (2557)

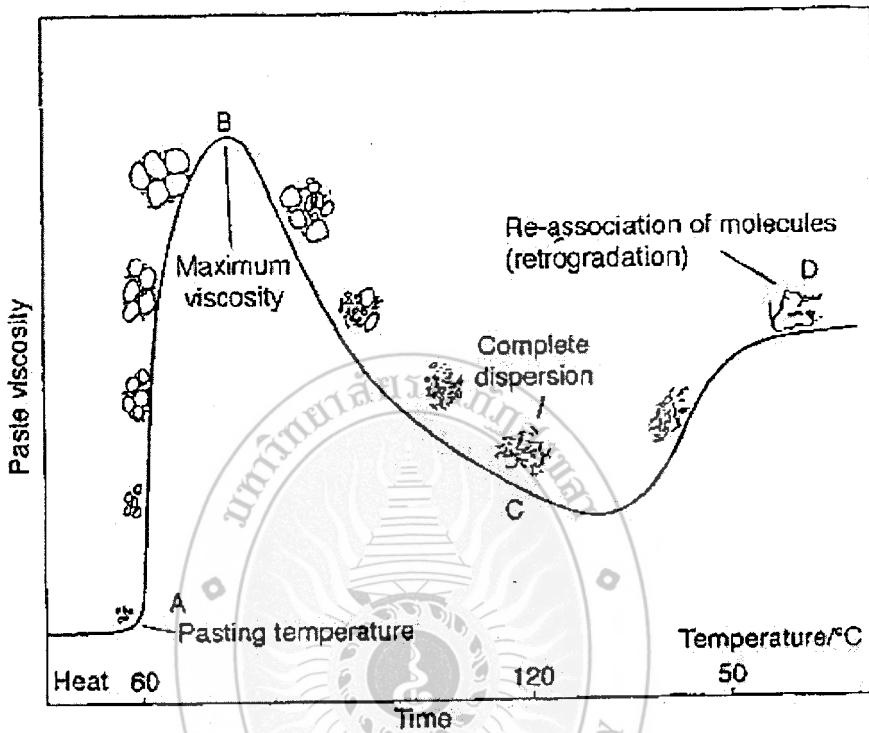
โครงสร้างของอะไมโลเพกติน ส่วนหนึ่งแสดงลักษณะที่เป็นผลึก (crystallite region) ส่วนที่สองแสดงลักษณะอสัณฐาน (amorphous region) โดยมีอะไมโลส ออยู่ในทั้งสภาพอิสระ สภาพที่อยู่ร่วมกับลิพิด และอยู่ร่วมกับอะไมโลเพกตินเป็นเกลียว

5. การเปลี่ยนแปลงของข้าวเมื่อได้รับความร้อน

5.1 การเกิดเจลาทีนซ์

เจลาทีนเซชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารละลายสตาร์ชได้รับความร้อนทำให้ เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) คือพันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัว ดูดนำและพองตัว ทำให้น้ำมีความหนืดและใสขึ้น ความหนืดที่เปลี่ยนไปสามารถวิเคราะห์ได้ด้วย เครื่องวัดความหนืดของแป้ง (Brabender Visco Amylograph), เครื่องวัดพฤติกรรมทางด้านความข้นหนืดและการคืนตัวกลับของแป้ง (Rapid Visco Analyzer) และเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถผันกลับได้สตาร์ชจะสูญเสีย

ความสามารถในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ และสูญเสียความเป็นผลึก (Slad และ Levine, 1988) อุณหภูมิที่สารละลายนี้เริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเจลตีนซ์



ภาพที่ 6 การเกิดเจลตีนซ์
ที่มา : [http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/350/gelatinization-การเกิดเจลตีนซ์ \(2557\)](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/350/gelatinization-การเกิดเจลตีนซ์ (2557))

5.2 อุณหภูมิที่เกิดเจลตีนเซชัน

การตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลตีนเซชันของเมล็ดข้าวทำได้ด้วยการวัดการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (กรรมการข้าว, 2552) และด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลตีนเซชันด้วยเครื่อง DSC ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลง (Onset, T_o) ค่าอุณหภูมิสูงสุด (Peak, T_p) ค่าอุณหภูมิสุดท้าย (Endset, T_c) และค่าพลังงานเออลทอลปี (Enthalpy) ของการเกิดเจลตีนเซชัน ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลตีนเซชัน เช่น การจัดเรียงตัวและความแข็งแรงของโมเลกุลของสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมีนอกจากนี้สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินและปริมาณฟอสฟอรัสก็มีผลต่อการเกิดเจลตีนเซชันด้วย (Tester, 1997) แต่พบว่าขนาดโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินไม่มีผลต่อค่าพลังงานเออลทอลปีในการเกิดเจลตีนเซชัน (Chiang และ Yeh, 2002) อุณหภูมิในการเกิดเจลตีนเซชันของแป้งจะแตกต่างกับสตาร์ชโดยที่สตาร์ชมีค่า T_o ,

T_p , และ T_c ต่ำกว่าของแป้งเนื่องจากแป้งมีองค์ประกอบทางเคมี เช่น ไขมันและโปรตีนสูงกว่า สตาร์ช แต่สตาร์ชมีค่าเอนทัลปีสูงกว่าของแป้ง

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

Li และ Yeh (2001) ศึกษาการพองตัวของสตาร์ชจากรัญพืชจากรากและหัวในช่วงอุณหภูมิจาก 55 – 95 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีการพองตัวสูงสุด สตาร์ชข้าวโพดที่มีอ่อนไมโลสสูงมีการพองตัวต่ำสุดและพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งสตาร์ชาคูและสตาร์ชข้าวโพดเหนียว มีการพองตัวสูงถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเริ่มลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น

Noosuk และคณะ (2003) ศึกษากำลังในการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชข้าวไทยพันธุ์ กข6 พันธุ์หอมมะลิ และพันธุ์สุพรรณบุรี 1 พบร้าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (กข6) มีกำลังในการพองตัวสูงที่สุด (ร้อยละ 33.54 - 34.92) และมีความสามารถในการละลายต่ำ (ร้อยละ 6.00 - 8.50) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากข้าวพันธุ์อื่น กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหล่านี้ลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการละลายมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณอะไมโลสลดลง การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเป็นผลเนื่องจากพันธุ์ไฮดรเจนในโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย จากนั้นไม่เลกุล ของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลิสิระ การมีปริมาณอะไมโลสในปริมาณมากช่วยเสริมให้อันตรกิริยาระหว่างไมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้การจับกันระหว่างไมเลกุลของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระในสายไมเลกุลของสตาร์ชมีค่าลดลงและทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชต่ำลง แต่สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงก็จะมีปริมาณอะไมโลส ที่ละลายออกมากจากเม็ดสตาร์ชสูงด้วย

รุ่งนภา และคณะ (2546) ศึกษาการเกิดเจลาทีไนเซชันของสตาร์ชข้าวไทยจำนวน 16 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 90 เหลืองประทว 123 กข 23 กข 6 เหนียวสันป่าตอง พิษณุโลก 1 สุพรรณบุรี 1 พิษณุโลก 2 เลี้ยงพทลุง สังข์หยด ขาวห้าร้อย กข 15 และเจกเซย ด้วยเครื่อง DSC ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนเซชันของสตาร์ชข้าวให้ผลสอดคล้องกับอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ที่ตรวจสอบด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาทีไนเซชันของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะสูงกว่าในสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เพราะ

โครงสร้างของอะไมโลสในสตารชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเกลี่ยม้วน ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้นจึงส่งผลให้เกิดเจลาทีนเขชันที่อุณหภูมิสูงกว่า

ดังนั้นสตารชข้าวแต่ละชนิดจึงมีเจลาทีนเขชันต่างกัน ดังตารางที่ 8 จะเห็นว่าข้าวเหนียวมี T_g ที่ต่ำกว่าข้าวเจ้าคืออยู่ในช่วง 49.00 - 67.29 องศาเซลเซียส ในขณะที่ข้าวเจ้ามี T_g อยู่ในช่วง 66.00 - 66.84 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเจลาทีนเขชันมีความสำคัญต่อการแปรรูปข้าว

ตารางที่ 5 อุณหภูมิในการเกิดเจลาทีนเขชันของสตารชข้าวบางชนิด

พันธุ์ข้าว		T_g ($^{\circ}\text{C}$)	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 การเกิดริโตรกราเดชัน

การเกิดริโตรกราเดชันหรือการคืนตัวเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุลอะไมโลส หลังจากการเกิดเจลาทีนเขชันแล้วสายโมเลกุลจะมีโมเลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่และยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (Zhou และคณะ, 2002) เกิดเป็นร่องแทบสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีกมีความคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายพิล์มหรือพลีกเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดริโตรเกรเดชัน หรือ การคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้นโมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า ซินเนอรีซีส (Syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของสตารช

เมื่อลดอุณหภูมิของสารละลายลงอย่างช้าๆ จะเกิดตะกอน แต่ถ้าลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดเจล

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

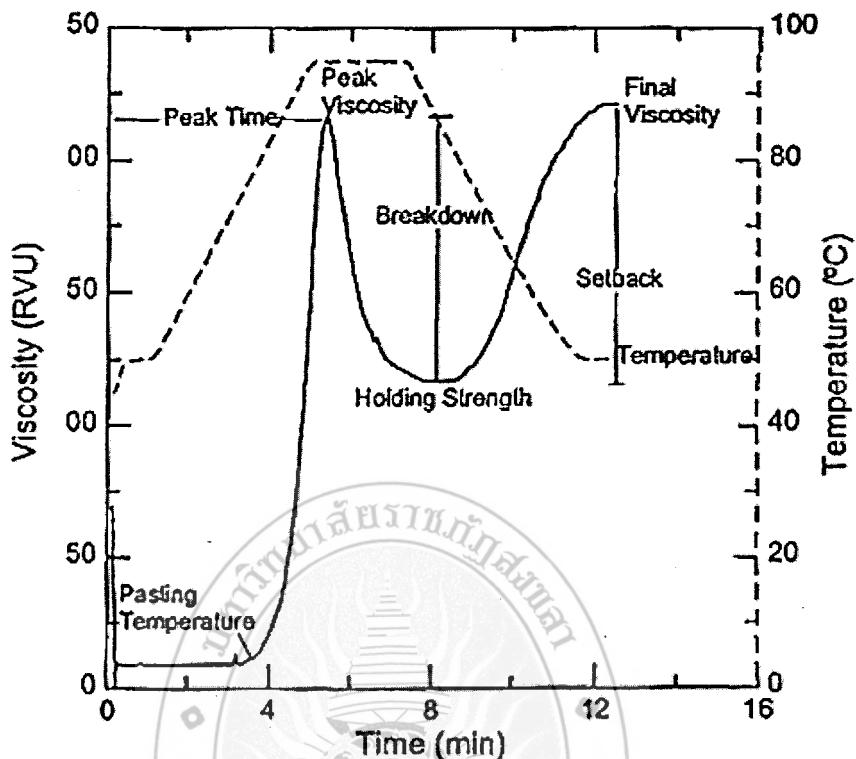
Kim และคณะ (1997) ศึกษาการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นของแป้งต่างกันคือร้อยละ 10 และ 50 เป็นเวลา 1, 3 และ 6 วัน ด้วยเครื่อง DSC พบร่วมแป้งข้าวที่มีความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 50) มีค่าการเกิดรีโทรกราเดชันสูงกว่าแป้งที่มีความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 10) และแป้งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเกิดรีโทรกราเดชันได้มากกว่าและเร็วกว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการรับประทานของข้าว เนื่องจากข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำและยังมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการแปรรูปอีกด้วย เพราะสตาร์ชที่มีอะไมโลสสูง 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 พันธุ์ ตรวจสอบการเกิดรีโทรกราเดชันด้วย DSC และเนื้อสัมผัสของเจล (ตัวอย่างเข้มข้นร้อยละ 8) ผลการทดลองพบว่าการเกิดรีโทรกราเดชันและเนื้อสัมผัสของเจลเมื่อความสัมพันธ์กับปริมาณของอะไมโลสบาริสุทธิ์ (AAM) อะไมโลสอิสระ (FAM) อะไมโลสไลปิด คอมเพล็กซ์ (LAM) และความมียางของสายใยเชื่อมอะไมโลเพคติน ตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ (Ambient) จะมีการเกิดรีโทรกราเดชันที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณ AAM และ FAM แต่การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบร่วมกับการเกิดรีโทรกราเดชันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ AAM และ FAM นอกจากนี้ปริมาณของ LAM มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดรีโทรกราเดชัน เนื่องจากการเกิดผลึกใหม่ร่วมกันระหว่างไขมันกับอะไมโลสสตาร์ช ข้าวที่มีองค์ประกอบของสายอะไมโลเพคตินในช่วง DP 6 - 9 และ DP > 25 จะส่งผลให้การเกิดรีโทรกราเดชันต่ำลง ในขณะที่สายอะไมโลเพคติน เท่ากับ DP 12 - 22 จะสนับสนุนการเกิดรีโทรกราเดชัน ผลการศึกษานี้อธิบายว่าความแน่นเนื้อและความแข็งของเจลมีค่าเพิ่มขึ้น

แต่ความยืดหยุ่นลดลงเมื่อมีปริมาณของ AAM และ FAM เพิ่มขึ้นและขนาดของอะไมโลเพคตินไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของเจล

5.4 ความหนืดของแป้ง (Viscoamylograph)

อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดของแป้งสุกสามารถวัดโดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งแสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อน เมื่อให้ความร้อนเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ความหนืดเริ่มต้นเพิ่มขึ้นความหนืดจะสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุด เรียกว่าความหนืดที่จุดสูงสุดนี้ว่า peak viscosity และแสดงถึงความสามารถในการรวมตัวของน้ำแป้งเอง อะมิโลเพคตินมีความสามารถรวมตัวกับน้ำสูงปัจจัยที่มีผลต่อ peak viscosity ได้แก่ อายุการเก็บรักษา (Aging) ปริมาณโปรตีน และปริมาณอะมิโลส โดยทั่วไปแป้งจากข้าวจะมี peak viscosity ต่ำกว่าแป้งอย่างอื่น ยกเว้นแป้งข้าวเหนียว (waxy starch) หลังจากเกิด peak viscosity แล้วความหนืดจะลดลงเนื่องจากการแตกตัวของเม็ดแป้ง อะมิโลสจะถูกปล่อยออกมากับสารละลาย และอาจมีบางส่วนที่เป็นอะมิโลเพคตินด้วย ความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงไปสู่ขั้นสลายตัวหรือเรียกว่า breakdown ค่า breakdown มีความสัมพันธ์กับอะมิโลส เมื่อเข้าสู่ระยะการทำให้น้ำแป้งเย็นตัวลง ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีกเป็นความหนืดที่เกิดจากโครงสร้างของแป้งที่เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (retrogradation) ช่วงอุณหภูมิที่แป้งคืนตัวเรียกว่า setback ส่วน peak viscosity มีหน่วยเป็น RVU ค่านี้สามารถใช้ในการคาดคะเนความแข็งกระด้างของข้าวสุกได้อัตราส่วนระหว่างอะมิโลสต่ออะมิโลเพคตินมีผลต่อการเกิด setback เมื่อระดับอะมิโลสสูงทำให้ setback สูงขึ้นตาม (Leach และคณะ, 1959 ; งานนัย พานิชย์กุล, 2537) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
ที่มา : งานนี้ พานิชย์กุล (2537)

5.6 ปริมาณความซึ้งในเมล็ดข้าว

ปริมาณความซึ้งในเมล็ดข้าวเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีสำคัญต่อคุณภาพเมล็ดข้าวทั้งทางตรงและทางอ้อม คือปริมาณความซึ้งของข้าวทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสาร ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญในการซื้อขายข้าว เนื่องจากปริมาณความซึ้งสามารถบ่งบอกถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อและผู้ขายเกี่ยวข้องกันโดยตรงในการกำหนดราคากิจซื้อ - ขาย และในทางอ้อมนั้น ความซึ้งสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าวหรือบ่งบอกถึงความปลดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

Juliano (1985) ได้ทำการทดลอง พบร่วมกับข้าวที่มีความซึ้งสูงจะเสื่อมเร็วกว่าข้าวที่มีความซึ้งต่ำระดับความซึ้งของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสม คือร้อยละ 13 ซึ่งจะเก็บรักษาได้ดีภายในเวลา 6 เดือน และถ้าข้าวมีความซึ้งร้อยละ 12 จะทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น นอกจากนี้ความซึ้งของข้าวยังมีผลต่อคุณภาพการสีข่องข้าวเปลือกโดยเป็นปัจจัยสำคัญตั้งแต่การเก็บเกี่ยวข้าวความซึ้งที่เหมาะสม (ร้อยละ 22 - 26) การตากข้าวเปลือก



เพื่อลดความซึ้งลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา (ความชื้นไม่สูงกว่าร้อยละ 14) จนถึงเวลาการสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นที่เหมาะสมก็จะทำให้ข้าวที่เต้มเมล็ดสูงและหักน้อย

6. ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีแหล่งกำเนิดในจังหวัดพัทลุง มีการเพาะปลูกกันมานานมากกว่า 100 ปี เป็นข้าวที่มีคุณค่าด้วยตัวของพันธุ์ข้าวเอง ถูกเก็บรักษาไว้ด้วยวัฒนธรรมและภูมิปัญญาของชาวพัทลุง ซึ่งจากข้อมูลการรวบรวมพันธุ์ข้าวในปี 2495 - 2496 โดยกองบำรุงรักษាទันธุ์ข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบร่วมมีข้าวสังข์หยดเป็นหนึ่งในตัวอย่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่เก็บรวบรวมจากจังหวัดพัทลุง และได้รับการปรับปรุงพันธุ์เรื่อยมานจนถึงปัจจุบัน ข้าวสังข์หยดที่ดี มีความสม่ำเสมอตามลักษณะประจำพันธุ์ คือข้าวสังข์หยดเป็นข้าวที่ໄวด้อแสง เป็นข้าวนานาส่วนที่มีคุณภาพดี ต้านทานโรคและแมลงศัตรูพืช สามารถปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 330 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นข้าวเมล็ดมีสีฟาง เมล็ดยาวเรียว ข้าวสารมีสีขาวขุ่น ข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มสีขาวปนแดงจากจันถั่งสีแดงเข้ม เมื่อหุงสุกจะมีความนุ่ม ข้าวสังข์หยดยังได้รับคำประกาศรับรองให้เป็นสินค้าบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographic Indications : GI) ตามพระราชบัญญัติคุ้มครองสินบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ พ.ศ. 2546 โดยใช้ชื่อว่า “ข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง” ซึ่งนับว่าเป็นข้าวพันธุ์แรกที่ได้รับการรับรองให้เป็นสินบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ เพื่อส่งเสริมให้มีการพัฒนาคุณภาพสินค้าที่ผลิตในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและเป็นเครื่องมือทางการตลาดเพื่อพัฒนาทางด้านการค้า และเป็นการกระตุ้นให้ผู้ผลิตในท้องถิ่นมีการดูแลรักษามาตรฐานของสินค้าพร้อมทั้งเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มและกระจายรายได้สูงท้องถิ่น และสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชน ภายในข้าวสังข์หยดจะมีรังควัตๆ ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค

6.1 แอนโทไซยานิน

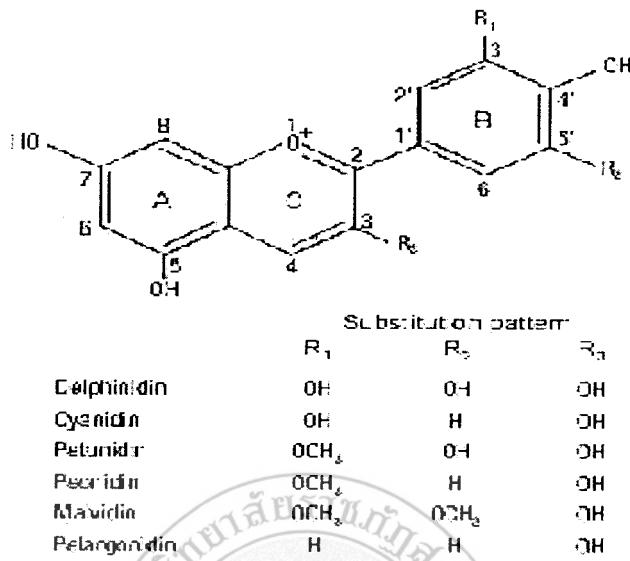
แอนโทไซยานิน (anthocyanins) มีชื่อย่อมาจากภาษากรีกศัพท์เดิมของกรีก คือ anthos แปลว่า ดอกไม้และ kyanos แปลว่า สีน้ำเงิน แอนโทไซยานิน จึงหมายถึง ดอกไม้สีน้ำเงิน แอนโทไซยานินเป็นรงค์วัตๆ ที่ละลายน้ำได้ (water – soluble pigment) จัดอยู่ในกลุ่มพลาโนยด์ (flavonoids) สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไป ตามสภาพและความเป็นกรด-ด่าง โดยมีสีน้ำเงินเข้มในสภาพที่เป็นด่าง (pH มากกว่า 7) มีสีขาวเมื่อเป็นกลาง (pH 7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้มในสภาพที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 7) สามารถพบแอนโทไซยานินได้ทั่วไปในแคร์โนลและเซลล์เนื้อเยื่อขั้นนอกของดอก ผล และใบของพืช (angiosperms) ยกเว้นในพืชพวงตะบองเพชร ผักกาดหัว ผักโภคและพืชสาหร่าย บางครั้งปรากฏในส่วนเนื้อเยื่อพืช (plant tissue)

tissue) ได้แก่ รากหัวใต้ดินของพืช (tuber) ลำต้น หน่อยอด (bulbil) และพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperms) ต่างๆ เช่น เฟิร์นและไบโอลิฟต์ (bryophytes) นอกจากแอนโกลาไซยานินและจะทำให้ตอกไม้มีสีสันสวยงามแล้วยังช่วยป้องกันพืชไม่ให้ได้รับอันตรายจากสิ่งแวดล้อมและแมลงต่างๆ แอนโกลาไซยานินจากธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้หลายชนิด แต่ที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันคือ คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (anti – oxidant) ซึ่งมีแนวโน้ม นำมาประยุกต์ใช้ในด้านสุขภาพและความงาม โดยช่วยลดการเกิดริ้วรอยของผิวจากการรังสียูวีและมลภาวะ อีกทั้งช่วยป้องกันเซลล์เส้นผมให้อ่อนแอและทำให้เส้นผมเงางามแข็ง (นิริยา รัตนานนท, 2545)

6.1.1 การเกิดและโครงสร้างของแอนโกลาไซยานิน

แอนโกลาไซยานินประกอบด้วยส่วนของอะไกลโคน (aglycone) น้ำตาล (sugar) และหมู่เอซิล (acyl group) (Anderson และ Markham, 2006) กำลังการผลิตแอนโกลาไซยานินทั่วโลกประมาณ 10,000 ตัน (คำนวณกำลังการผลิตจากองุ่นเพียงชนิดเดียว) ปัจจุบันมีการค้นพบแอนโกลาไซยานินมากกว่า 300 ชนิดจากสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ได้พบว่า 7,000 ชนิดแต่ละชนิดจะมีสีสันและคุณสมบัติแตกต่างกันไปแม้ว่าแอนโกลาไซยานิน (anthocyanins) มีคาร์บอน 15 อะตอมอยู่ภายในโมเลกุล คือโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของ 2-phenylbenzopyrylium หรือ flavylium cation แอนโกลาไซยานินสามารถเกิดได้ประมาณ 20 ชนิด แต่มีอยู่ 6 ชนิดเท่านั้นที่พบได้บ่อยในพืชคือ pelargonidin (Pg) คิดเป็นร้อยละ 18 cyanidin (Cy) คิดเป็นร้อยละ 30 delphinidin (Dp) คิดเป็นร้อยละ 22 และ peonidin (Pn) petunidin (Pt) และ malvidin (Mv) คิดเป็นร้อยละ 20 (Anderson และ Markham, 2006) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแอนโกลาไซยานินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันดังนี้

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



ภาพที่ 8 การแทนที่ของแอนโอนโทไซยานิน

ที่มา : Mazza และคณะ (2007)

การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซี (OH) และหมู่เมทอกซี (OCH_3) ของ flavylium ring จะทำให้เกิดสีของแอนโอนโทไซยานินดิน กล่าวคือ การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซีจะทำให้เกิดเชตของสีฟ้า (bluish shade) ส่วนการเพิ่มจำนวนของหมู่เมทอกซีจะทำให้เกิดสีแดง (redness)

Mazza (2007) ได้รายงานว่า การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซีจะทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) เพิ่มขึ้น และเนื่องมาจากการแทนที่ของกรดและด่างเกิดขึ้นได้ในหลายตำแหน่ง จึงทำให้จำนวนของแอนโอนโทไซยานินมีมากกว่าแอนโอนโทไซยานิน 15 - 20 เท่าโมเลกุลของน้ำตาลที่ต่อ กับ แอนโอนโทไซยานิน ได้แก่ กลูโคส (glucose) กาแลกโตส (galactose) แรมนโนส (rhamnose) อาราบินโนส (arabinose) ไดแซ็กคาไรด์ และไตรแซ็กคาไรด์ โดยแอนโอนโทไซยานินที่พบมากที่สุดคือ 3-monoside, 3-bioside, 3,5-diglycosides และ 3,7-diglycosides (Sikorski, 2007)

ตารางที่ 6 สีและการดูดกลืนแสงของแอนโถไซานิน

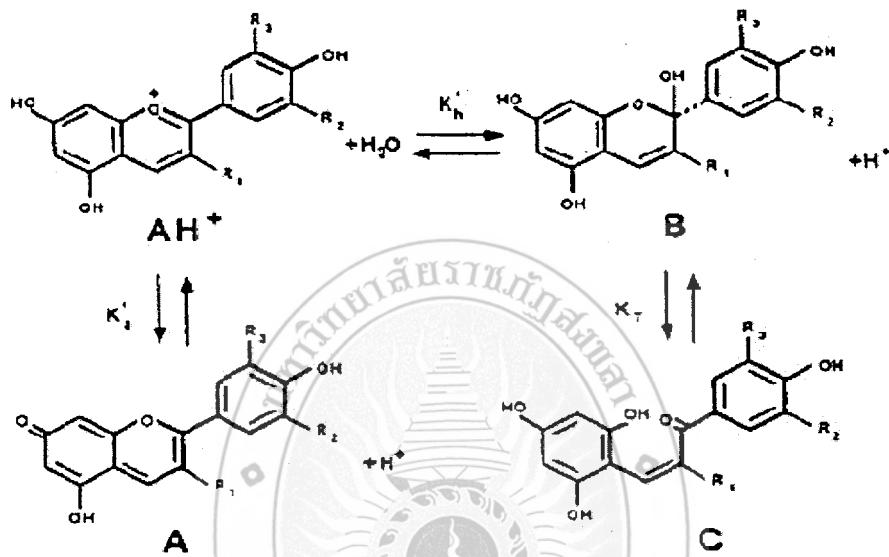
กลุ่มของรงค์ตุ (Pigment class)	ชนิดโครงสร้าง (Structural type)	การให้สี (Colour)	การดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)
แอนโถไซานิน (anthocyanins)	แอนโถไซานิน (anthocyanins)	ส้ม - แดง	535
ไซานิน ไกลโคไซด์ (Cyanindins glycosides)	แอนโถไซานิน (anthocyanins)	น้ำเงิน-แดง	546
เดลพินิดิน ไกลโคไซด์ (Delphinnidins glycosides)	แอนโถไซานิน (anthocyanins)		
มัววิดิน (Malvidins glycosides)	แอนโถไซานิน (anthocyanins)	น้ำเงิน - แดง	542
เพลาโภนิดิน ไกลโคไซด์ (Pelargonidins glycosides)	แอนโถไซานิน (anthocyanins)	ส้ม	520
พิโอนิดิน ไกลโคไซด์ (Peonidins glycosides)	แอนโถไซานิน (anthocyanins)	ส้ม - แดง	532
เพทูนิดิน ไกลโคไซด์ Petunindins glycosides)	แอนโถไซานิน (anthocyanins)	น้ำเงิน - แดง	543

ที่มา : Kidmos และคณะ (2002)

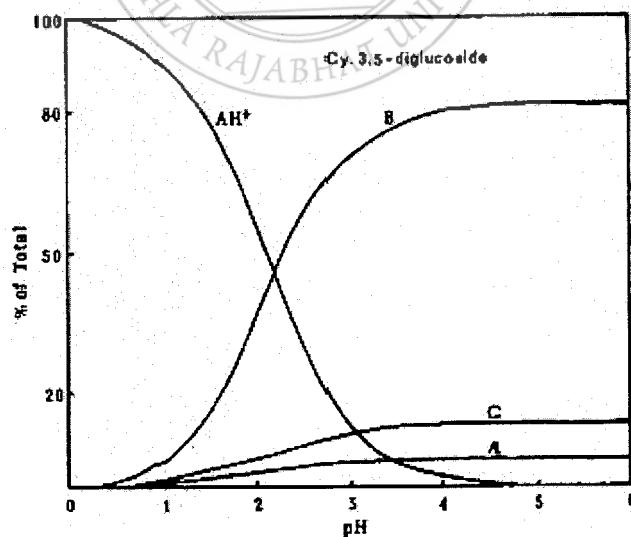
6.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของแอนโถไซานิน

ในสารละลายตัวกลาง (aqueous media) แอนโถไซานินจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH indicator) คือ ให้สีแดงที่ pH ต่ำ ให้สีน้ำเงินที่สภาวะเป็นกลาง และไม่มีสีที่ pH สูง ในสารละลายที่เป็นกรดและเป็นกลางนั้น มีโครงสร้างแอนโถไซานิน 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 และโครงสร้างของแอนโถไซานินจึงทำให้ปริมาณของ AH^+ , A, B

และ C ที่สภาวะสมดุลมีความแตกต่างกันเช่น โครงสร้าง 3-glycoside และ 3-5 diglycoside จะเกิดขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นมากกว่า 3 ซึ่งจะเป็น colorless carbinol pseudobase (B) อย่างไร ก็ตามปริมาณเพียงเล็กน้อยของ 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 ปัจจัยที่มีผลต่อสีและความเสถียรภาพของแอนโトイไซยานิน

จากการศึกษาค้นคว้าปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของแอนโトイไซยานิน พบร่วมกับปัจจัยทางเคมีและฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของแอนโトイไซยานินมีผลต่อความเสถียรของแอนโトイไซยานินมากที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ความเป็นกรด-ด่าง ชัลเฟอร์ไดออกไซด์ โลหะน้ำตาลและออกซิเจน รวมทั้งความเข้มข้น โครงสร้างเคมีและองค์ประกอบของแอนโトイไซยานิน

6.1.3.1 โครงสร้าง (Structure) ความเสถียรและสีของแอนโトイไซยานินขึ้นอยู่กับธรรมชาติและจำนวนของน้ำตาลที่ใกล้กับ flavylium ion และจำนวนของกรดที่เข้มต่อกับ glycosylic moiety รวมทั้งเกี่ยวข้องกับจำนวนและตำแหน่งในการแทนที่ flavylium ion ของไฮดรอกซิลและเมทอกซิล

การเพิ่มจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ในวงแหวนของแอนโトイไซยานินนำไปสู่การดูดซับแสงสูงสุด ทำให้ความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนสีจากสีส้มไปเป็นสีน้ำเงิน-แดง แต่การแทนที่ด้วยหมู่เมทอกซิล (OCH₃ group) จะให้ผลตรงกันข้ามกัน หมู่ไฮดรอกซิลที่ C-3 จัดว่ามีความสำคัญเนื่องจากเป็นจุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเหลืองเป็นสีส้มและสีแดง (Sikorski, 2007)

6.1.3.2. อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง (Temperature and pH) การย่อยสลายทางความร้อน (thermal degradation) มีผลต่อความเสถียรภาพของแอนโトイไซยานิน คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่ม ความเสถียรของแอนโトイไซยานินและองค์วัตถุต่างๆในอาหารจะลดลง ตัวอย่างเช่น cyanidin3-glucoside และ cyanidin3-rutinoside จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสารละลายน้ำกรดอ่อน (pH1-4) ทั้งสองวิธีที่มีออกซิเจน หรือความเสถียรทางความร้อนของแอนโトイไซยานินที่สกัดจากเปลือกของดอกทานตะวัน (sunflower hulls) จากการสกัดด้วยชัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำที่อุณหภูมิ 65 - 95 องศาเซลเซียส และที่ pH 1-5 พบร่วมกับการสลายตัวของแอนโトイไซยานินจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของชัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลายน้ำที่ได้จากการสกัด

Hiemori และคณะ (2009) ได้ศึกษาองค์ประกอบและความเสถียรภาพทางความร้อนของแอนโトイไซยานินใน black rice (*Oryza sativa L. japonica* var.SBR) โดยแอนโトイไซยานิน 6 ชนิดถูกนำมาวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC – PDA และ LC - (ESI)MS/MS พบร่วมกับแอนโトイไซยานินที่พบมากที่สุดคือ cyanidin-3-glucoside (572,047 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 91.13 ของปริมาณแอนโトイไซยานินทั้งหมด) และ peonidin-3-glucoside (29.78 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 4.74 ของปริมาณแอนโトイไซยานินทั้งหมด) รองลงมาคือ cyanidin-dihexoside isomer 3 ไอโซเมอร์และ cyanidin hexoside อีก 1 ชนิด นอกจากนี้ความเสถียรทางความร้อนของแอนโトイไซยานินที่ประเมินจากการหุงข้าวและความดันที่ใช้พบร่วมกับ

วิธีการทั้งหมดกระบวนการหุงข้าว black rice เป็นสาเหตุทำให้ปริมาณของแอนโトイไซยานินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยความดันที่ใช้ในการหุงข้าวเป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณของ cyanidin3-glucoside ลดลง รองลงมาคือ หม้อหุงข้าวและปริมาณก๊าซที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 79.8, 74.2 และ 65.4 ตามลำดับ ในขณะเดียวกันปริมาณของ protocatechuic rice เป็นสาเหตุให้เกิดการสลายตัวทางความร้อนของ cyanidin3-glucoside และ การเกิดของ protocatechuic acid ขึ้นพร้อมกัน

6.1.3.3 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acids) มีผลต่อความเสถียรภาพของแอนโトイไซยานินเกิดจากการควบแน่นของกรดแอสคอร์บิกที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของแอนโトイไซยานิน กรดแอสคอร์บิกมีความสามารถในการป้องกันแอนโトイไซยานิน เนื่องจากสามารถลดการเกิด o-quinone formed ก่อนกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน การสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก มีผลทำให้เกิดการสลายตัวของแอนไซยานิน (anthocyanin degradation) เพิ่มขึ้น (Sikorski, 2007) กรดแอสคอร์บิกเป็นนิวเคลียโลไทด์ (nucleophiles) ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยจะเข้าทำลายที่ส่วนประจุของโมเลกุลของแอนโトイไซยานิน นอกจากนี้ยังมีกลไกของกรดแอสคอร์บิกที่มีผลต่อความเสถียรของแอนโトイไซยานิน คือ กรดแอสคอร์บิกเป็นสาเหตุทำให้เกิด oxidative cleavage ที่ pyrilium ring จากการกระทำของอนุมูลอิสระ กรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่เป็น molecular oxygen activator ในการสร้างอนุมูลอิสระออกมาทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแอนโトイไซยานิน การเติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 330 มิลลิกรัมต่อลิตรในสารละลายน้ำที่มี malvidin 3-glucoside, malvidin3,5-diglucoside และ flavylium salt จะเกิดการแทนที่ที่ต่างกันใน คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 4 (pH 2) โดยโครงสร้างของ anthocyanin flavylium salt มีบทบาทสำคัญต่อความเสถียรของ anthocyanin ซึ่ง diglucoside จะทำให้สีของ anthocyanin 亮 คงทนกว่า monoglucoside ทั้งนี้ชนิดของ flavylium cation ไม่มีผลต่อ อัตราสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก (rate of ascorbic acid degradation) อย่างมีนัยสำคัญ

6.1.3.4 น้ำตาล (Sugar) การเติมน้ำตาลมีผลต่อความเสถียรภาพของแอนโトイไซยานิน ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ความเข้มข้นของแอนโトイไซยานินและชนิดของน้ำตาลโดย reducing และ non-reducing sugar มีผลในการทำลายความเสถียรภาพของแอนโトイไซยานิน ในเบลล์ค เคอเรนท์ (black currant) ความเสถียรภาพทางความร้อนของแอนโトイไซยานิน (anthocyanin thermostability) จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของซูครส (concentration of sucrose) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 20 ขณะที่ความเข้มข้นที่ร้อยละ 40 จะมีผลต่อ ความเสถียรภาพของรงควัตถุ ตรงกันข้ามความเสถียรภาพทางความร้อนของรงควัตถุ (thermostability of pigments) จะลดลงแบบเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของฟรุกโตส (concentration of fructose) เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการเกิดฟูโรอลดีไฮด์ (furaldehyde formation)

6.1.3.5 ปัจจัยอื่น แอนโ陶ไซยานินจะมีสีสางลงที่ pH 3 โดยการเติมโซเดียมซัลไฟต์ที่ C-2 หรือ C-4 ในส่วนกำเนิดสี (chromophore) ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วที่สภาวะความเป็นกรด (acidification) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ EDTA และส่วนผสมระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ EDTA มีผลต่อการสูญเสียแอนโ陶ไซยานินในน้ำผลไม้สตรอเบอร์รี่น้อยมากเมื่อกีบรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 10 สัปดาห์ ในทางกลับกัน การเติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกีบรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้มีเกิดการสูญเสียแอนโ陶ไซยานินและทำให้สารประกอบพอลิเมอร์ลดลง

6.1.4 คุณสมบัติของแอนโ陶ไซยานิน

แอนโ陶ไซยานิน เป็นสารให้สีธรรมชาติในกลุ่มสารประกอบฟีนอลและฟาราโนนอยด์ที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีความแตกต่างกันทั้งทางเคมีชีววิทยาและชีววิทยา เช่น เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (biological activity) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สามารถลดการอักเสบ (anti-inflammatory) โดยเพิ่มความแข็งแรงของสันไประดับในเนื้อเยื่อเกี้ยวพัน (connective tissue) และกระดูกอ่อน (cartilage) จึงลดการทำลายจากอนุมูลอิสระอันตรายที่สำคัญ ได้แก่ DPPH, O₂, OH, O₂ และ H₂O₂ (Changlian และคณะ, 2006) นอกจากนี้ยังช่วยปกป้องหลอดเลือด (vasoprotective) โดยการขยายหลอดเลือดและกระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ลดคอลเลสเทอโรลในเลือดโดยบัญการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Francis, 2002) ลดความเสี่ยงของโรค มะเร็งและต้านไวรัส ช่วยกระตุ้นให้เส้นผมดำ ชะลอผมหงอก ช่วยให้ผิวพรรณเปล่งปลั่งและมีสุขภาพดี ต้านรังสี UV (พิมพ์อร ศีตคุณรัตน์, 2552) แต่คุณสมบัติเด่นที่สุดของแอนโ陶ไซยานินคือ ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant effectiveness) โดยแอนโ陶ไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีและอีสีนิวเจ็ด เท่า ความสนิใจเกี่ยวกับแอนโ陶ไซยานินจึงเน้นไปยังการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ธรรมชาติ

7. ข้าวนำไปรับประทาน

7.1 ข้าวนำไปรับประทาน (Parboiled rice)

ข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่น้ำและอบแห้งด้วยความร้อนและทำให้แห้งก่อน การสี ข้าวที่นิยมนำมาทำข้าวนำไปรับประทาน คือ ที่ลักษณะเรียวยาวเนื่องจากน้ำและความร้อนสามารถเข้าถึงใจกลาง Endosperm ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้กระบวนการแช่และให้ความร้อนทำได้จ่ำย และรวดเร็ว วิธีดังกล่าวจะมีคุณค่าทางอาหารเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวทั่วไป เนื่องจากสารอาหารที่อยู่บริเวณผิวของเมล็ดละลายน้ำซึ่งเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าวระหว่างขั้นตอนการผลิต

ข้าวนี่ง ข้าวนี้งเป็นที่นิยมมากในประเทศอินเดีย ปากีสถาน บังคลาเทศ อัฟริกา และประเทศไทย ทางตะวันออกกลาง ประเทศไทยมีการทำข้าวนี้งมาข้านานแล้วโดยส่งออกเป็นสินค้าออกปีละหลายแสนตัน เพราะความต้องการของตลาดโลกสูง ข้าวนี้งเป็นกระบวนการให้ความร้อนแบบชื้น (Hydrothermal) ซึ่งทำให้โครงสร้างของเม็ดสารซ้ายในเมล็ดข้าวเปลี่ยนรูปจากผลึก (Crystalline form) ให้เป็นรูปอ่อน懦 (Amorphous form) อันเป็นผลมาจากการพองตัวแบบย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible swelling) และการเชื่อมกัน (Fusion) ของเม็ดสารซ้าย (อรอนงค์ นัยวิกฤต, 2532)

8. คุณภาพของข้าวนี้ง

คุณภาพของข้าวนี้งทางกายภาพ พิจารณาจากสิ่งจากต่างๆ ได้แก่ สี เป็นสีเหลืองทองหรือน้ำตาลอ่อนกลิ่นหุงสุกแล้วควรมีกลิ่นน้อยที่สุด คุณภาพการขัดสี สีได้เนื้อ มีข้าวหักน้อยมาก ลักษณะเมล็ดใส แกร่ง ไม่มีห้องไข่ ขนาดธัญปร่างเมล็ดเหมือนข้าวธรรมด้า ลักษณะข้าวสุก หุงสุกแล้วเมล็ดร่วนไม่ติดกัน (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2534)

8.1 คุณภาพด้านการขัดสี เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการทำข้าวนี้งมาขัดสีจะได้ข้าว เด้มเมล็ดมากขึ้นเกือบร้อยละ 100 เนื่องจากสารซ้ายที่เป็นเจลแล้วจะเรียงตัวกันหรืออาจจับกันไปตีนบางส่วน เกิดการเชื่อมรอยร้าวทำให้ผิวของข้าวใสและแข็งแรงขึ้น ไม่แตกง่ายในขณะขัดสี แต่ต้องใช้พลังงานในการขัดสีมากขึ้น ผลของการขัดสีท้าให้สูญเสียแร่ธาตุ น้ำตาลและวิตามินน้อยกว่าการขัดสีข้าวเปลือกธรรมด้า

8.2 คุณภาพด้านการเก็บรักษา ข้าวนี้งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของไขมันได้ง่าย เนื่องจากลิพิดถูกทำลายด้วยความร้อนและในสภาพการเก็บที่มีมือากษัตรายเทจะช่วยให้เกิดการเหม็นหืนช้ากว่าการเก็บที่สว่างและในถุงที่ปิดมิดไม่มือากษัตรายเทการสูญเสียวิตามินเป็นอยู่กว่าข้าวธรรมด้าและข้าวนี้งจะทนต่อการทำลายของแมลงกัดกินเมล็ดข้าวหลายชนิด จึงเก็บข้าวนี้งได้นานกว่าข้าวธรรมด้า

8.3 White belly ในเมล็ดข้าวนี้งบางครั้งจะพบลักษณะชุ่นขาวทึบแสงภาย ในเมล็ดข้าว ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อข้าวเกิดการ Gelatinization ไม่ทั่วทั้งเมล็ด ลักษณะชุ่นขาวดังกล่าวเรียกว่า White belly (บุปผา นุชนาถ, 2547)

9. การเปรียบเทียบระหว่างข้าวนึ่งกับข้าวธรรมดा

ตารางที่ 7 ข้อดีและข้อด้อยของการผลิตข้าวนึ่ง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. การนึ่งและการอบแห้งทำให้เปลือกข้าวแตกง่ายเบล็อกง่ายกว่าข้าวธรรมดា	1. ใช้เวลาในการขัดสีมากกว่าข้าวธรรมดา
2. คุณภาพการขัดสีดีกว่าข้าวหักน้อยกว่า	2. ข้าวนึ่งใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวธรรมดา
3. เก็บรักษาได้นานกว่าข้าวธรรมดายên Enzyme lipase ถูกทำลาย	3. มีกลิ่นและรสไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค
4. ข้าวนึ่ง นึ่งแล้วเมล็ดจะไม่เป็นห้องไว้	4. ข้าวนึ่งเพาะไม่ออก แต่ข้าวธรรมดายังออก
5. มีวิตามินบีและอีสูงกว่าข้าวสารธรรมดា (พันธุ์เดียวกัน)	5. มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าข้าวธรรมดา
6. หุงขึ้นห้องกว่าข้าวธรรมดานึงจากการเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์การทำให้การดูดซึมดีขึ้นและขยายตัวทางด้านปริมาตรเพิ่มขึ้น	6. กระบวนการผลิตทำให้สีของเมล็ดข้าวที่ได้มีสีคล้ำลง เนื่องจากสีของเปลือกข้าวซึ่งเข้าสู่เมล็ดข้าวระหว่างปฏิกริยาเมลาร์ด
7. ย่อยง่ายกว่าข้าวธรรมดายên Glucose ถูกทำลายครั้งหนึ่งแล้วสายโซ่ของ	7. เศษรำ米ไขมันมากทำให้เกิดการอุดตันบนตะแกรงร่องขณะขัดสีอาจร้าวอก เพราะว่ามีไขมันจาก Endosperm พร้อมกามาสละสมไปแล้ว
8. รำข้านึ่งมีน้ำมันร้อยละ 25 – 30 ในขณะที่ข้าวธรรมดามีเพียงร้อยละ 15 – 20	8. อยู่ในชั้นของรำมากขึ้น
9. เชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในเมล็ดข้าวจะถูกทำลายในระหว่างการทำความร้อน	8. สารที่เป็นตัวยับยั้งการเหม็นหืน เช่น โทโคเฟอรอล (Tocopherol) จะถูกทำลายระหว่างการทำความร้อนแก่เมล็ดข้าวทำให้เกิดการเหม็นหืนด้วยกระบวนการการออกซิเดชัน
10. ข้าวนึ่งที่หุงสุกแล้วเมล็ดข้าวสุกคงรูปร่างไม่แข็งและเติดกัน ไม่สูญเสียสารอาหารในน้ำต้มและสามารถเก็บได้นานกว่าข้าวขาว	

ที่มา : เครื่อวัลย์ อัตตะวิริยะสุข (2534)

10. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำข้าวนึ่ง

10.1 ข้าวเปลือกหรือวัตถุดิบสำหรับทำข้าวนึ่ง ควรมีสีของเปลือกและสีขี้นเปลือกรำอ่อน เช่น สีขาว (ฟาง) หรือสีน้ำตาล เมล็ดอยู่ในสภาพที่สะอาด ไม่มีรอยแมลงกัดกินหรือเชื้อรา ทำลาย

10.2 ต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำและระยะเวลาการแช่ให้พอเหมาะสม เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นและสีที่ไม่ดีของข้าวนึ่ง ใน การแซ่ครัวทำให้มีการหมุนเวียนของน้ำและข้าวด้วย เพื่อป้องกันความร้อนสะสมซึ่งจะทำให้เกิดเมล็ดผิดปกติ (Deform grain)

10.3 อุณหภูมิและเวลาขณะนี้ต้องควบคุมให้พอเหมาะสม ไม่ควรให้สูงเกินไป เพราะจะมีผลต่อสีข้าวนึ่ง ลักษณะเมล็ดผิดปกติ และข้าวสารแข็งเกินไปเมื่อใช้เวลานาน

10.4 การทำให้แห้ง ต้องเป็นไปอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ ถ้าใช้ความร้อนสูงเกินไปและทำให้แห้งรวดเร็ว ข้าวจะแตกร้าว ขัดสีแล้วหักมากขึ้น

10.5 ความชื้นของข้าวนึ่งไม่ควรเกิน ร้อยละ 14 เมื่อกีบไว้ในยุงฉางหรือโภดัง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการทำลายของจุลทรรศน์โดยเฉพาะเชื้อราต่างๆ (บุพชา นุชนาด, 2547)

11. กรรมวิธีการผลิตข้าวนึ่ง

11.1 การแซ่ (Soaking or Steeping) ในขั้นนี้จะทำให้ช่องว่าง (Void space) บริเวณเปลือกข้าว (Hull) และในเมล็ดข้าว (Kernel) มีน้ำแทรกที่อากาศ เม็ดสารซึ่งพองตัวขึ้นทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น ความชื้นซึ่งทำให้เมล็ดสถาาร์ซพองตัวได้นั้นเพียงพอที่จะเกิดการ Gelatinization ได้ การเร่งให้เมล็ดข้าวดูดความชื้น (ร้อยละ 30 – 35) ได้อย่างรวดเร็วมีความจำเป็นมากเพราะการแซ่ข้าวในน้ำมากเกินไปจะทำให้อ่อนไขม์ภายในเมล็ดข้าวทำงานเร็วขึ้นและเกิดกระบวนการหมักขึ้นได้

การแซ่เมล็ดข้าวเปลือกในอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 3 – 6 ชั่วโมงหรือที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1 – 3 ชั่วโมง จึงทำให้เมล็ดข้าวเปลือกดูดความชื้นได้พอเหมาะสม สีของข้าวนึ่งที่ได้จะเหมาะสมกับความต้องการของตลาดมากที่สุด

การแซ่ข้าวเปลือกทำให้แร่ธาตุและวิตามินที่ละลายน้ำได้บริเวณผิวของเมล็ดข้าว ละลายน้ำและเข้มข้นสูงเมล็ด แต่ข้าวเปลือกแยกออกจากก็จะทำให้สูญเสียวิตามินและแร่ธาตุบางส่วนไปในน้ำ

11.2 การนึ่ง (Steaming) เมื่อเมล็ดสถาาร์ซภายใน Endosperm ของเมล็ดข้าวดูดซึมน้ำไว้เพียงพอแล้วก็มาถึงขั้นตอนการให้ความร้อนเพื่อทำให้สถาาร์ซเกิดการ Gelatinization โดย

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

การเปลี่ยนแปลงลักษณะการละลายกลุ่มโปรตีนในข้าวจะลดลงขึ้นอยู่กับเวลาในการแข็งและความดันไอน้ำโดยถ้าเวลาเช่นเดียวกันความดันไอน้ำสูงจะทำให้สกัดโปรตีนได้น้อยลงแสดงว่าโปรตีนละลายได้น้อยลง

11.3 การอบแห้ง (Drying) เป็นกระบวนการสุดท้ายของการทำข้าวนึ่ง ข้าวเปลือกหลังจากนึ่งเสร็จแล้วจะมีความชื้นสูงถึง ร้อยละ 35 มาตรฐานเปียก ซึ่งไม่สามารถเก็บและขัดสีได้ จึงจำเป็นที่จะต้องลดความชื้นของข้าวนึ่งลงจนถึงจุดเหมาะสมเพื่อเก็บรักษาและการขัดสีโดยปกติความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษาจะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 14 – 16 มาตรฐานเปียก

การอบแห้งจะต้องค่อยๆ ทำเป็นระยะไม่ทำอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดการแตกร้าวนื่องจากเกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิว กับ ใจกลางของเมล็ดที่มากเกินไป (บุปผา นุชนาถ, 2547)

บทที่ 3

การทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ

- ตัวอย่างข้าวในการทดลองคือ ข้าวพันธุ์สังข์หยดเมืองพัทลุง (ข้าวเปลือก) ที่มีการปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ ระยะเวลาเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 1 ปี จากศูนย์การเรียนรู้เกษตรกรรมชาติบางแก้ว 880 หมู่ที่ 6 ตำบลท่ามะเดื่อ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง
- วัสดุที่ใช้ในวิเคราะห์ทางด้านเคมี การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ และการวิเคราะห์ทางด้านเคมีกายภาพ
- สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านเคมีกายภาพและการวิเคราะห์ทางด้านเคมี
- ถุงโพลีไพรพลีน ขนาด 8x14 นิ้ว

อุปกรณ์

- ถังพลาสติกที่ใช้แข็งข้าวเปลือก จำนวน 9 ถัง ซึ่งมีความจุในการข้าวเปลือกที่ประมาณ 2 กิโลกรัม
- หม้อนึ่งที่มีขนาด 2 ชั้น
- ผ้าขาวบาง จำนวน 9 ผืน
- ตู้อบลมร้อน รุ่น venticell ยี่ห้อ mmgroup
- เครื่องซึ่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius
- เครื่องซึ่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius
- เครื่องสีข้าว
- เครื่องปั่นไฟฟ้า ยี่ห้อ Tefal รุ่น HB713
- เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง รุ่น Spectronic®20 ยี่ห้อ GENESYS™
- เครื่องมือวัดขนาดของเมล็ดข้าวโดยใช้เวอร์เนียร์
- เตาเผา รุ่น mufflesize 2 ยี่ห้อ Gaiienkamp
- ตู้ดูดความชื้น
- เครื่องมือชุดการย่อยโปรตีน

15. เครื่องมือชุดการกสั่นโปรตีน
16. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน
17. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเก้า
18. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเยื่อไช
19. เครื่องย่อยสารเยื่อไช รุ่น Flwe 6 ยี่ห้อ Velp
20. เครื่องแก้วสำหรับวิเคราะห์ทางด้านกายภาพเคมีและทางด้านเคมี
21. อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น ข้อง ดาดที่ร่อนแป้ง หม้อน้ำที่มีขนาด 2 ขั้นและชามผสม เป็นต้น



วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่าง

ข้าวเปลือกพันธุ์สังข์หยดพัทลุง ที่มีการปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ซึ่งมีระยะการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 1 ปี จากศูนย์การเรียนรู้เกษตรกรรมชาติบางแก้ว 880 หมู่ที่ 6 ตำบล ท่ามะเดื่อ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง

2. กระบวนการผลิตข้าวนึ่ง

2.1 นำข้าวเปลือกมาขึ้นน้ำหนัก ใส่ในภาชนะที่ปิดสนิทเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทดลอง

2.2 จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ได้มารับตามสภาพการทดลอง และนำข้าวเปลือกไปล้างด้วยน้ำที่สะอาด เพื่อจัดสิ่งแปลกปลอมหรือผุ่นต่างๆออกจากข้าวเปลือก

2.3 ทำการแข็งข้าวเปลือกในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยกำหนดอัตราส่วนของน้ำต่อข้าว เท่ากับ 2:1 ที่ระยะเวลาในการแข็งข้าว 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับและสะเด็ดน้ำออก

2.4 ทำการนึ่งข้าวเปลือกหลังการแข็งน้ำที่ระยะเวลา 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ ด้วยหม้อนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิกึ่งที่ (100 องศาเซลเซียส)

2.5 อบแห้งข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งด้วยเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือ จนกระทั่งความชื้นของข้าวต่ำกว่าร้อยละ 14

2.6 นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งไปภาคเทาเปลือก ที่ศูนย์การเรียนรู้เกษตรกรรมชาติบางแก้ว โดยใช้เครื่องขัดสีขันวดเล็ก (ปริมาณในการขัดสีได้ประมาณ 2-3 กิโลกรัม)

2.7 นำตัวอย่างข้าวที่ได้จากการภาคเทาเปลือกปั่นจนได้เป็นผงละเอียด หลังจากนั้น มาร่อนผ่านตะแกรงร่อน เก็บตัวอย่างแบ่งข้าวที่ได้ในภาชนะที่ปิดสนิท 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 วิเคราะห์ปริมาณของเล้า โดยวิธี A.O.A.C (2000)
- 1.5 วิเคราะห์ปริมาณของเยื่อไผ่ 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 (ΔE)

4. การวิเคราะห์ทางด้านเคมี

วิเคราะห์ปริมาณของแอนโกลไซดานโดยวิธีของ Nollet (1996)

5. การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ

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

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยอดเมืองพัทลุง

1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยอดเมืองพัทลุงที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ่ง

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

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยอดเมืองพัทลุง

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 ความชื้นของข้าวนึ่งสังข์หยอดเมืองพัทลุง

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

ปริมาณความชื้นในข้าวนั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและระยะเวลาในการเก็บรักษา จึงต้องมีการควบคุมให้อยู่ในระดับที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือไม่เกินร้อยละ 14 ตามมาตรฐานข้าว (กระทรวงพาณิชย์, 2540)

ตารางที่ 9 ความชื้นของข้าวเมื่อจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน

เวลาแห่งน้ำ (ชั่วโมง)	เวลา nie (นาที)	ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)
ชุดควบคุม	-	10.40 ± 0.55^a
6	20	8.00 ± 1.03^b
	40	8.03 ± 0.67^b
	60	8.10 ± 0.87^b
12	20	8.50 ± 0.84^{bc}
	40	8.70 ± 0.06^{bc}
	60	8.90 ± 0.42^{bc}
24	20	9.10 ± 0.25^{bc}
	40	9.10 ± 0.17^{bc}
	60	9.30 ± 0.10^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และอัகซารที่เหมือนกันในคอลัมน์

เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

2. วิเคราะห์คุณภาพการขัดสีของข้าวเมื่อจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

เมื่อนำตัวอย่างข้าวเปลือกชุดควบคุมและชุดข้าวเปลือกนึ่งที่สภาวะต่างๆ มาจะเทาเปลือกพบว่าตัวอย่างข้าวชุดควบคุมให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องและแกลบเท่ากัน 72.39 และ 27.61 ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างข้าวนึ่งในสภาวะต่างๆ โดยส่วนใหญ่ให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องที่สูงกว่าและร้อยละแกลบที่ต่ำกว่าตัวอย่างชุดควบคุม โดยชุดข้าวที่ผ่านการแช่ 6 ชั่วโมง และการนึ่ง 20 นาที ให้ปริมาณร้อยละข้าวกล้องสูงสุดคือ 74.16 และร้อยละแกลบต่ำสุดคือ 25.84 ปริมาณร้อยละของข้าวกล้องและปริมาณแกลบตั้งแสดงในตารางที่ 10 ร้อยละของข้าวกล้องที่ได้มีความสอดคล้องกับปริมาณร้อยละข้าวหัก กล่าวคือในชุดการทดลองที่มีการแตกหักของข้าวมากจะทำให้เศษข้าวที่หักบางส่วนสูญเสียไปพร้อมกับเปลือกข้าวระหว่างการจะเทาเปลือก เนื่องจากแรงลมที่เกิดจากการเป่าแกลบและรำข้าวออกจากเครื่องสีข้าว เช่นเดียวกันตัวอย่างชุดควบคุมชุดควบคุมให้ปริมาณร้อยละข้าวเต็มเมล็ดและร้อยละข้าวหักเท่ากัน 88.43 และ 11.57 ตามลำดับ ขณะที่ตัวอย่างข้าวนึ่งบางสภาวะที่ให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงและร้อยละข้าวหักต่ำ

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

ขั้นตอนการจะเปลือกข้าวทำเพื่อนำเปลือกของข้าวออกไปโดยที่ให้ปริมาณการแตกหักของข้าวน้อยที่สุด โดยทั่วไปภายในข้าวจะมีช่องว่างของอากาศระหว่างเม็ดสารซึ่ง การแข่งข้าวเปลือกจะทำให้น้ำซึมผ่านผิวเปลือกแข็งเข้าสู่เนื้อในเมล็ดโดยเข้าไปแทนช่องว่างของอากาศภายในเมล็ด การนึ่งในช่วงแรกทำให้เกิดความร้อนเพื่อให้น้ำกระจายเข้าสู่ช่องว่างของอากาศระหว่างเม็ดสารซึ่งได้ดีขึ้น ในเวลาต่อมาผลของความร้อนที่อุณหภูมิเพียงพอทำให้เกิดเจลาทีนซ์ของสารซึ่ง ปรากฏการณ์นี้ทำให้ลักษณะภายในของข้าวเปลือกเปลี่ยนต่อ กันของเม็ดสารซึ่งที่เกิดเจลาทีนซ์และปิดช่องว่างระหว่างเม็ดสารซึ่งได้ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณข้าวหักจากข้าวนั่นนับปริมาณน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวชุดควบคุม แต่เวลาในการแข่งและการนึ่งควรจะคำนึงถึงความเหมาะสมเพื่อการทำให้ข้าวเกิดเจลาทีนซ์มากเกินไปจะทำให้ข้าวนี้มีลักษณะแข็งจนเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าข้าวชุดควบคุม (วุฒิชัย นารรักษ์, 2539 : Luh and Mickus, 1991 : Nomhoom, 2001)

ตารางที่ 10 ร้อยละของข้าวกล้อง ร้อยละแกลบ ร้อยละข้าวเต็มเมล็ด และร้อยละข้าวหักของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน

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

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

3. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

ทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงทั้งในชุดควบคุมและข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ โดยระบบ CIE Lab เพื่อหาค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE) พบร่วมกับค่าความสว่างของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ได้รับการต้มอย่างเดียวกัน ค่าความสว่างของข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ได้รับการต้มอย่างเดียวกันคือ 33.19 ค่าความเป็นสีแดง 15.63 ค่าความเป็นสีเหลือง 18.55 และค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม แสดงดังตารางที่ 11

ตัวอย่างข้าวหลังจากผ่านกระบวนการนึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี นั่นคือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เรียกว่าปฏิกิริยาเมลาร์ด ปฏิกิริยาเมลาร์ดจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำตาล รีดิวซ์และกรดอะมิโนทำปฏิกิริยากันโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่ง นอกจากนี้ยังอาจมีการเปลี่ยนโครงสร้างสารสีหรือวิตามิน ปัจจัยต่างๆเหล่านี้เป็นส่วนผลให้ตัวอย่างทดลองมีค่าความสว่างและค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเปลี่ยนแปลงไป (นิธิยา รัตนานปนท., 2545)

ตารางที่ 11 ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง ความเป็นสีเหลือง และความแตกต่างของสีโดยรวม
ของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยอดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน

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

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความ
แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) และ L* คือ ค่าสว่างของสี, a* คือ ค่าที่
บ่งบอกความเป็นสีแดงและสีเขียว, b* คือ ค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลืองและสีน้ำ
เงิน

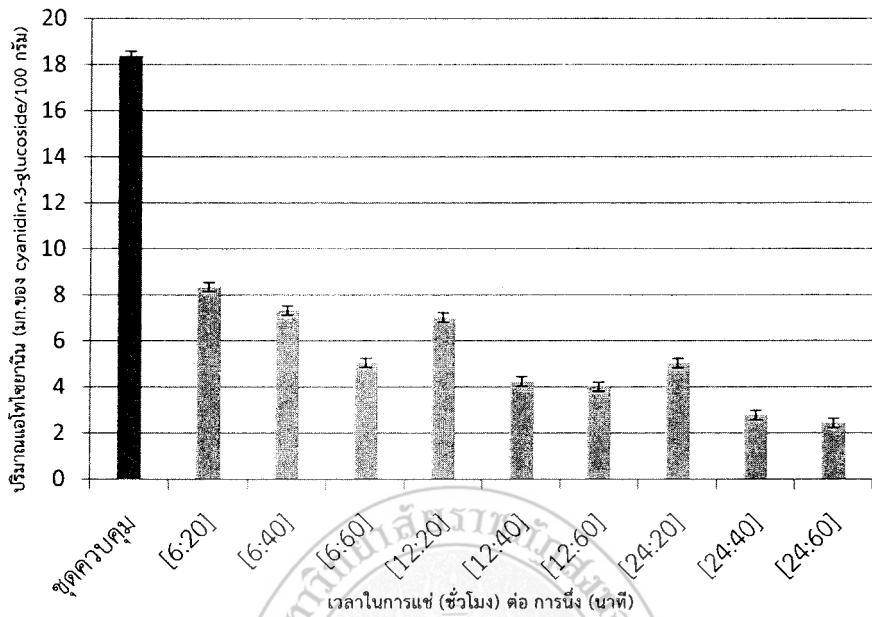
4. วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยอดเมืองพัทลุง

ทำการวิเคราะห์ปริมาณแอนโกลไซยานินคงเหลือของตัวอย่างข้าวสังข์หยอดเมืองพัทลุงหลัง
ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ โดยวิธีของ Nollet (1996) ปริมาณแอนโกลไซยานินที่พบใน
ตัวอย่างข้าวชุดควบคุมเท่ากับ 18.36 มก.ของ cyanidin-3-glucoside/100 กรัมตัวอย่างแห้ง
ขณะที่ตัวอย่างข้าวหลังผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ จะมีปริมาณแอนโกลไซยานินต่ำกว่าชุด
ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อการใช้เวลาในการแช่และการ
นึ่งที่มากขึ้น ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการแช่ที่ 6 ชั่วโมงมีปริมาณแอนโกลไซยานินโดยรวมมากที่สุดเมื่อ
เทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 12 และ 24 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณแอน
โกลไซยานินในตัวอย่างข้าวพบว่าการใช้เวลาในการนึ่งน้อยที่สุดคือที่เวลา 20 นาที ในทุก
ช่วงเวลาการแช่ มีปริมาณแอนโกลไซยานินโดยรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่

40 และ 60 นาที แต่อย่างไรก็ตามชุดตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการนี้ที่มีปริมาณคงเหลือของ แอนโทไซยานินที่มากที่สุดคือ ข้าวที่ผ่านการแข่นนาน 6 ชั่วโมง และการนึ่งที่ 20 นาที ซึ่งมีปริมาณแอนโทไซยานินเท่ากับ 8.35 มก.ของ cyanidin-3-glucoside/100 กรัม แสดงดังภาพที่ 11

การย่อยสลายทางความร้อนมีผลต่อความเสถียรภาพของแอนโทไซยานิน กล่าวคือเมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นความเสถียรของแอนโทไซยานินและรงค์วัตถุต่างๆจะลดลง (กรมวิทยาศาสตร์ บริการ, 2553)

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



ภาพที่ 11 ปริมาณแอลกอฮอล์เหลืองในตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่ สภาวะต่างๆ

5. วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีภายในตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุง

วิเคราะห์ปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำโดยวิธีของ Noomhorm และคณะ (1997) จาก ตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบร่วมตัวอย่างข้าวชุด ควบคุมมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำเท่ากับ 23.35 และตัวอย่างข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่ สภาวะต่างๆ พบร่วงการใช้เวลาในการแช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่ม สูงขึ้น โดยการใช้เวลาในการแช่ที่ 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อ เทียบกับการใช้เวลาในการแช่ที่ 6 และ 12 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณร้อย ละการดูดซับน้ำในตัวอย่างข้าว พบร่วงการใช้เวลาในการนึ่งที่ 60 นาที จะมีปริมาณร้อยละการ ดูดซับน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่ 20 และ 40 นาที แสดงดังตารางที่ 12

วิเคราะห์กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลาย โดยวิธีของกล้านรงค์ ศรีรอดและ เกื้อกูล ปิยะ จอมขวัญ (2543) จากตัวอย่างข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่ สภาวะต่างๆ พบร่วงตัวอย่างข้าวชุดควบคุมมีกำลังการพองตัวเท่ากับ 12.93 และปริมาณร้อยละ การละลายเท่ากับ 0.09 และข้าวที่ผ่านกระบวนการนึ่งที่สภาวะต่างๆ พบร่วงการใช้เวลาในการ แช่และการนึ่งที่นานขึ้นจะทำให้ กำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายเพิ่มสูงขึ้น โดย

การใช้เวลาในการแข่งที่ 24 ชั่วโมง จะมีกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายมากที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการแข่งที่ 6 และ 12 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนต่อกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายในตัวอย่างข้าว พบร่วมกับการใช้เวลาในการนึ่ง ที่ 60 นาที จะมีกำลังการพองตัวและปริมาณร้อยละการละลายมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการนึ่งที่ 20 และ 40 นาที แสดงดังตารางที่ 12

ปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำ กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายเป็นค่าที่บวกถึงความสามารถในการเกิดเจลาทีนซ์ของสตาร์ช กล่าวคือภายในของสตาร์ชจะมีอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจัดเรียงตัวกันเป็นวง ภายในวงจะมีชั้นของ Amorphous และ Crystalline ส่วนที่เป็น Amorphous จะมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหลวমๆ เนื่องจากโครงสร้างของอะไมโลเพคตินผลของความร้อนจากการนึ่งจะทำให้เกิดส่วนที่สามารถละลายและหลอกจากเม็ดสตาร์ชก่อนชั้นของ Crystalline เจลที่เกิดขึ้นเองมีปริมาณอะไมโลสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอยู่ในชั้นของ Crystalline ที่มีการละลายและหลอกกามาได้น้อย ตามโครงสร้างของอะไมโลสจะมีความสามารถในการเก็บอุ่มน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้ทำให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำ กำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย สามารถเป็นตัวชี้ในการวัดการเกิดเจลาทีนซ์ของเม็ดสตาร์ชได้ (อร อนงค์ นัยวิกฤต, 2547 : นิธิยา รัตนานันท์, 2545)

ตารางที่ 12 ร้อยละดูดซับน้ำ การละลายและกำลังการพองตัวของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดเมืองพัทลุงที่สภาวะแตกต่างกัน

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

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

6. คุณสมบัติต้านความร้อนของข้าวนึ่งจากข้าวสังข์หยดพัทลุง

ข้าวสังข์หยดพัทลุงที่ผ่านกระบวนการการให้ความร้อนชื้นที่ระดับสภาวะที่แตกต่างกันโดยใช้ระยะเวลาเช่นข้าวเปลือกที่ระยะเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมานึ่งด้วยหม้อน้ำอ่อนน้ำที่ระยะเวลา 20, 40 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่ากระบวนการการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติการเกิดเจลอาทินซ์ ดังแสดงในตารางที่ 8 กระบวนการการให้ความร้อนชื้นแก่ข้าวสังข์หยดทำให้คุณสมบัติการเกิดเจลอาทินซ์ของข้าว ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล (T_0) อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจล (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (T_c) และพลังงานความร้อนทั้งหมดในการเกิดเจลอาทินซ์ (ΔH) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวสังข์หยดชุดควบคุม ($P < 0.05$) อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลในตัวอย่างข้าวสังข์หยดชุดควบคุมมีค่าเท่ากับ 74.61 องศาเซลเซียส และข้าวที่ผ่านกระบวนการเช่นนี้และให้ความร้อนชื้นที่ระยะเวลาแตกต่างกันมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 76.02-81.63 องศาเซลเซียส โดยข้าวที่แช่ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง และให้ความร้อนชื้นที่ระยะเวลา 60 นาทีมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลมีค่าสูงที่สุด การแช่ข้าวที่

ระยะเวลาเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนขึ้นสูงขึ้นทำให้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลเพิ่มสูงขึ้นตาม แต่อย่างไรก็ตามค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดในการเกิดเจลลดลงเมื่อระยะเวลาในการแข็งและระยะเวลาในการให้ความร้อนขึ้นเพิ่มขึ้น โดยค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดของข้าวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนขึ้นมีค่าต่ำกว่าข้าวชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

Oli *et al.* (2014) รายงานว่าอุณหภูมิการเกิดเจลอาทิตย์ของข้าว สามารถแบ่งข้าวเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลอาทิตย์ต่ำกว่า 55-69 องศาเซลเซียส ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลอาทิตย์ระดับกลางระหว่าง 70-74 องศาเซลเซียส และข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลอาทิตย์สูงอยู่ระหว่าง 70-74 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างนี้มีปัจจัยมาจากการพันธุ์ของข้าวและสภาวะแวดล้อมของการเพาะปลูกเป็นหลัก (Bhattacharya, 1979) การเกิดเจลอาทิตย์ของข้าวมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงสุกและเนื้อสัมผัสของข้าว ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจากอุณหภูมิการเกิดเจลอาทิตย์ของข้าวเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นเพื่อสามารถนำมาใช้ในการปรับระยะเวลาในการแข็งข้าวและอุณหภูมิในการแข็งที่เหมาะสมต่อไป Islam *et al.* (2002) รายงานว่ากระบวนการการให้ความร้อนขึ้นทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลอาทิตย์ของข้าวเพิ่มขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของกระบวนการให้ความร้อนนั้น ๆ

ตารางที่ 13 ผลของกระบวนการความร้อนขึ้นต่อระดับการเกิดเจลอาทิตย์ในส่วนของข้าวนึ่งจากข้าว

สังข์ยุบพัทธลุง

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

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

7. คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวнесจากข้าวสังข์หยดพัทลุง

คุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวสังข์หยดที่ผ่านกระบวนการการให้ความร้อนขึ้นที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่าการให้ความร้อนขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวสังข์หยดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนขึ้น ($P<0.05$) ข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนขึ้นมีความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคืนตัวลดลงเมื่อเทียบกับข้าวชุดควบคุม โดยข้าวชุดควบคุมมีความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคืนตัวเท่ากับ 116.88 และ 123.65 RVU ตามลำดับ และข้าวที่ผ่านกระบวนการความร้อนขึ้นมีค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดหลังการคืนตัวอยู่ระหว่าง 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 ข้าวที่ผ่านกระบวนการการให้ความร้อนขึ้น ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลและความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกหัก และค่าความหนืดในการคืนตัว (setback) ลดลง โดยข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีผลในการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดได้ชัดมากกว่าข้าวที่มีอะไมโลปานกลางและต่ำ (Zavareze *et al.*, 2010)

ตารางที่ 14 ผลของกระบวนการความร้อนขึ้นต่อคุณสมบัติการเกิดเจลของข้าวนึ่งจากข้าวสีงข์

หยดพัทลุง

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

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



บทที่ 5

สรุป

ข้าวสังข์หยดพัทลุงเป็นข้าวที่มีสีพันธุ์พื้นเมืองเฉพาะภูมิภาค ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง หลังจากที่ผ่านกระบวนการนึ้ง ข้าวสังข์หยดที่ผ่านกระบวนการนึ้งและการแปรรูปที่บางส่วนจะให้ ร้อยละข้าวและข้าวเต็มเมล็ดที่สูงขึ้นแต่บางส่วนมีปริมาณของข้าวที่แตกหักมากกว่าข้าวที่ไม่ ผ่านกระบวนการนึ้ง อีกทั้งข้าวสังข์หยดที่ผ่านกระบวนการนึ้งมีค่าความสว่างและปริมาณแอน โทไซยานินลดลงเมื่อมีการใช้เวลาในการนึ้งและการแปรรูปนานขึ้น และในส่วนของการแปรรูปและ การนึ้งที่นานขึ้นส่งผลให้ข้าวมีร้อยละการคุดซับน้ำ กำลังการพองตัวและร้อยละการละลายที่ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวสังข์หยดที่ไม่ผ่านกระบวนการนึ้ง ทั้งนี้ส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ข้านึ้งจากข้าวสังข์หยดคือส่วนที่การแปรรูปข้าวที่เวลา 6 ชั่วโมงและการนึ้งที่เวลา 20 นาที โดย ส่วนที่นี้จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงสุดและมีปริมาณการสูญเสียสารแอนโทไซยานินน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- กรรมการข้าว. 2550. ข้าว: โภชนาการ สุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กรรมการข้าว. 2552. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าว. สืบคันได้จาก: <http://www.riceproduct.org> [12/02/2557].
- กรมวิชาการเกษตร. 2527. ข้าวและการทำนา. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. กัญญา เชื้อพันธุ์. 2545. คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนเปื้อนในข้าวหอมมะลิไทย ในคุณภาพข้าวทางกายภาพ. หน้า 1-10. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กล้านรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมชัย. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กุณฑลิยา ครุฑะ. 2544. การผลิตโยเกิร์ตแข็งแข็งจากน้ำนมถั่วเหลืองน้ำมันข้าวกล้องและรำข้าว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. หน้า 51. เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. ศูนย์วิจัยข้าวพัฒนา.
- เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2536. คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. หน้า 1-53. เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. ศูนย์วิจัยข้าวพัฒนา.
- โครงสร้างของอะไมโลส. 2557. สืบคันจาก: science.srru.ac.th [17/01/57]
- โครงสร้างของอะไมโลเพตติน. 2557. สืบคันจาก: science.srru.ac.th [17/01/57]
- งามชื่น คงเสรี. 2536. คุณภาพเมล็ดทางเคมี. หน้า 54-70. เอกสารประกอบการบรรยายฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์วิจัยข้าวพัฒนา, ฝ่ายฝึกอบรมสถาบันวิจัยข้าววิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- งามชื่น คงเสรี. 2542. เทคนิคการทดสอบคุณภาพข้าว. น.ส.พ.กสิกร . 72(5): 467-473.
- จารนัย พานิชย์กุล. 2537. แป้ง (Starch) การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำให้แป้งสุก. วารสารจารพา. 11: 22-24.
- จำรัส โปรดศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ฉวีวรรณ วุฒิญาณ. 2543. ข้าวพื้นเมืองไทย. ศูนย์ปฏิบัติการและเก็บเมล็ดเชื้อพันธุ์ข้าวแห่งชาติ. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. หน้า 215.

- ชาญ มงคล. 2536. ข้าว. หน้า 149. ตำราเอกสารวิชาการฉบับที่ 63. ภาควิชานาตำราและเอกสารวิชาการหน่วยศึกษาในเทคโนโลยี. กรมการฝึกหัดครู. กรุงเทพฯ.
- นิธิยา รัตนานปนท. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอดี้ยนสโตร.
- น้ำฝน ศีตะจิตต์. 2548. การเกิดริ่หร gereเดชันของข้าวและข้าวนึ่งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงหุ่ง สุกแซ่บเยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- บุปผา นุชนาถ. 2547. การผลิตข้าวนึ่งบรรจุกระป๋อง. ปัญหาพิเศษ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ประพาส วีระเทพย. 2526. ความรู้เรื่องข้าว. หน้า 108. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพฯ.
- ปราณีต จิรสุทธิ์ศน. 2531. ข้าว. หน้า 241. ภาควิชาเกษตรศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวิทยาลัยครุพัฒนา.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานปนท. 2557. เม็ดสถาาร์ซ. สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0567/starch-granule-mecd-แป้ง> [09/09/2556]
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานปนท. 2557. การเกิดเจลาทีน. สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/350/gelatinization-การเกิดเจลาทีน> [09/09/2556]
- พิมพอร์ ศีตคุณรัตน. 2552. ข้าวกล่องอกราชาแห่งข้าว สุดยอดอาหารเพื่อสุขภาพ และ ความงาม. หน้า 154-155. ฐานบัณฑิต. กรุงเทพฯ.
- ไพบูลย์ สังโวลี. 2543. ข้าวไทยจากนารมชาติสู่ข้าวปลดสารเคมี. หน้า 158. มูลนิธิศูนย์ สืบเพื่อการพัฒนา. กรุงเทพฯ.
- มรกต ตันติเจริญและศิริพร จำรัสเลิศลักษณ์. 2547. เทคโนโลยีชีวภาพกับสายพันธุ์ข้าว. สืบค้นจาก: <http://knowledge.biotec.or.th> [18/06/2557].
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, กล้านรงค์ ศรีรอด, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, ไซรัตน์ เพ็ชรชลานุวัฒน์ รุ่งทิวา วันสุขศรี, บุญทิวา นิลจันทร์ และ Naoyashi Inouchi. 2546. การศึกษา คุณสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศไทยเพื่อเป็นกลยุทธ์ในการสร้าง ผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม. รายงานการวิจัย ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะ อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- วานานา ผลารักษ์. 2523. ข้าว. หน้า 78. ภาควิชาพีชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ. การค้าของข้าวไทย. สืบค้นจาก: <http://app1.bedo.or.th/rice/EN/GeneralInfo.aspx?id=5> [09/09/2556]

- สำเริง แซ่ตัน. 2548. ข้าวเพื่อสุขภาพ: พันธุ์สังข์หยดพัทลุง. หน้า 25-29. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการข้าวและรัญพีชเมืองหนอง ประจำปี 2548 .วันที่ 7-8 มีนาคม 2548 .สถาบันข้าว. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สุนันทา ทองทา. 2549. ผลของอุณหภูมิปริมาณน้ำและการเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพต่อการเกิดริโตรเกรดซันของแป้งมันสำปะหลัง. รายงานวิจัย. สาขาวิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ การอาหาร สำนักวิชาการเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- อมรรัตน์ ถนนแก้ว. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากข้าวสังข์หยด. หน้า 18. รายงานวิจัย. สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยทักษิณ คณะเทคโนโลยีและ การพัฒนาชุมชน. มหาวิทยาลัยทักษิณ. พัทลุง.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2532. เคมีทางรัศมัญญาหาร. หน้า. 148. ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุดสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. 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. 1997. A comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-ray and α -amylase method. *Starch-Stärke.* 49: 71-75.
- Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry.* 36: 534-544.
- Li, J.Y. and Yeh, A.I. 2000. 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 4th International Conference on Starch Technology. In **Structure and functional properties of Thai waxy rice starches.** Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand, November 6-7, 2007, 161-166.
- 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. 2003. Relationship between viscoelastic properties and starch structure in rice from Thailand. *Starch-Stärke.* 57: 587-598.
- Norman, F.T. and Marshall, W.E. 1989. Differential Scanning Calorimetry of whole grain milled rice and milled rice flour. *Journal of Cereal Chemistry.* 66: 317-320.

- Oli, P., Ward, R., Adhikari, B. and Torley, P. 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 jood 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 seperated 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 crystallinitycharacteristics and gelatinization behavior.** Journal of cereal science. 38: 43-52.
- Webb, B.D. 1980. Rice: Production and Utilization. *In Rice quality and grades.* (B.S. Luh., eds.). pp. 543-565.
- Whistler, R.L. and J.R. Daniel. 1984. Molecular Structure of Starch. *In Starch: Chemistry and Technology 2nd.* (R.L. Whistler, J.N. BeMiller and E.F. Paschall., 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 มหาวิทยาลัยราชภัฏสังขลา
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

เคมีแป้ง วิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร เทคโนโลยีจัดห้องอาหาร

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

1. โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาปัญหาการดำเนินการวิชาปัญหาพิเศษของนักศึกษาโปรแกรม
วิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏสังขลา
แหล่งงบประมาณ กิจกรรมส่งเสริมบูรณาการและการวิจัยในชั้นเรียน คณะ
เทคโนโลยีการเกษตร ปีงบประมาณ 2556

2. โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษากระบวนการผลิตไปเยี่ยมจากไข่นกระทาและการเปลี่ยนแปลงระหว่างการ เก็บรักษา

แหล่งงบประมาณ งบประมาณแผ่นดิน วช. ปีงบประมาณ 2555

3. โครงการวิจัยเรื่อง ผลของการบูรณาการผลิตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวnew จากข้าวสั่งหยอดเมืองพัทลุง

แหล่งงบประมาณ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาประจำปี 2556

