บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิวัฒนาการและการกระจายพันธุ์ของข้าว

2.1.1 ต้นกำเนิดของพันธุ์ข้าว

วิวัฒนาการและการแพร่กระจายของข้าว นักวิชาการสันนิษฐานว่าบรรพบุรุษของข้าวมีต้นกำเนิดมาจากที่เดียวกันคือ ข้าวป่า จากนั้นมนุษย์ในสมัยโบราณได้นำข้าวป่าไปปลูก ต่อมาจึงเปลี่ยนแปลงจากข้าวป่าไปเป็นข้าวปลูก ปัจจุบันข้าวป่ามีอยู่ 21 ชนิด (Species) และข้าวปลูก 2 ชนิด คือข้าวเอเชีย (*Oryza sativa*) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima*) มีการผสมข้ามพันธุ์กันระหว่างข้าวปลูกและข้าวป่า ทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าว โดยมีพันธุ์ข้าวทั่วโลกประมาณ 120,000 พันธุ์ โดยมีชื่อเรียกและลักษณะของพันธุ์ต่างกัน (จำรัส, 2534; สงกรานต์, 2544) สำหรับพันธุ์ข้าวที่พบในเอเชีย คงเกิดจากมนุษย์โบราณชาวเอเชียได้นำข้าวป่ามาปลูกในบริเวณที่อยู่อาศัยจนกลายเป็นข้าวปลูก (*Oryza sativa*) สามารถจำแนกได้ 3 ชนิดย่อย (Sub species) คือ

ข้าวจาปอนิกา (Japonica rice) ข้าวกลุ่มนี้ปลูกทั่วไปแถบประเทศเขตกึ่งร้อน เขตอบอุ่น และเขตที่มีอากาศเย็น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และจีนตอนเหนือ เป็นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดสั้น (น้อยกว่า 5.50 มิลลิเมตร) และมีปริมาณอะไมโลสต่ำ

ข้าวอินดิกา (Indica rice) มีปลูกทั่วไปบริเวณประเทศในเขตร้อน เช่น ไทย อินเดีย และฟิลิปปินส์ เป็นข้าวที่มีลักษณะเมล็ดยาว (6.61-7.50 มิลลิเมตร) หรือยาวปานกลาง (5.51-6.60 มิลลิเมตร)

ข้าวจาวานิกา (Javanica rice) มีปลูกทั่วไปบริเวณประเทศในเขตเส้นศูนย์สูตร เช่น อินโดนิเซียและพม่า เป็นข้าวที่ผสมระหว่างข้าวอินดิกาและข้าวจาปอนิกา ลักษณะเมล็ดใหญ่ ป้อม (ความยาวต่อความกว้างน้อยกว่า 2.1)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.1.2 การสำรวจพันธุ์ข้าวในประเทศไทย

ศูนย์ปฏิบัติการและเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวแห่งชาติได้รวบรวมพันธุ์ข้าวปลูก *(Oryza spp.)* ไว้จำนวน 23,903 ตัวอย่าง จำแนกเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมือง 17,093 พันธุ์ ข้าวสายพันธุ์ดี 2,335 พันธุ์ ข้าวสายพันธุ์ต่างประเทศ 3,3391 พันธุ์ ข้าวป่า *(Oryza spp.)* 1,065 พันธุ์ และข้าวอาฟริกา (*Oryza gluberina*) 19 พันธุ์ สำหรับพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยทั้งหมดที่เก็บรวบรวมไว้จาก 76 จังหวัด ได้จำแนกชื่อในเบื้องต้นที่ไม่ซ้ำกันได้ 5,928 พันธุ์ จากความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองของประเทศไทย ทำให้คาดเดาได้ว่ามีพันธุ์ข้าวพื้นเมืองไทยมากกว่านี้ เพราะยังมีพันธุ์ข้าวอีกหลายตัวอย่างที่ไม่ได้ประเมินลักษณะประจำพันธุ์หรือจำแนกชื่อพันธุ์ออกมา และมีพันธุ์ข้าวพื้นเมืองอีกมากที่ไม่ได้มีการศึกษามาก่อนหรือรวบรวมพันธุ์ไว้ ซึ่งต้องศึกษาและค้นคว้าต่อไป (สงกรานต์, 2544)

2.2 ข้าวมีสีและสมบัติของรงควัตถุให้สี

ข้าวมีสีหรือข้าวที่มีรงควัตถุ (Pigmented rice) หมายถึงข้าวที่มีรงควัตถุหรือสารให้สีกระจายอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด ทำให้เมล็ดข้าวกล้องมีสีตามธรรมชาติที่แตกต่างกัน เช่นสีแดง สีม่วง หรือ สีน้ำตาลแดง รงควัตถุที่ให้สีที่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดคือกลุ่มของแอนโธไซยานิน (Anthocyanin ซึ่งจะสะสมอยู่ในส่วนผิวเมล็ดบริเวณเปลือกเมล็ดจนถึงเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นใน (Koh *et al*., 1996) โดยสามารถยับยั้งปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคหลอดเลือดอุดตัน และมะเร็ง (Amen, 1983; Ishihara and Hirano, 2002; Klauning and Kamendulis, 2004) ตัวอย่างข้าวมีสี เช่น พันธุ์สังข์หยด พันธุ์หอมกระดังงา พันธุ์ข้าวหอมกุหลาบแดง นอกจากนี้ยังรวมไปถึงข้าวเหนียวดำต่างๆ เช่น ก่ำดอยสะเก็ด ก่ำอมก๋อย เป็นต้น

Iqbal *et al*. (2005) ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระจากรำข้าว 5 พันธุ์ ที่พบในประเทศปากีสถาน คือ RB-kr, RB-s2, RB-bm, RB-86 และ RB-sf ซึ่งข้าวทั้งหมดได้คัดเลือกมาจากแหล่งที่ปลูกเดียวกันแล้ววิเคราะห์สารหาประกอบฟีนอลิค ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก ความสามรถในการรีดิวซิง (Reducing power) ความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะ (Metal chelating ability) การขจัดอนุมูลอิสระของ 2,2′-(Azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) และ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) และวิเคราะห์ Conjugated dienes ผลการวิเคราะห์ด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าปริมาณสารโพลีฟีนอลที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 3.59-2.51 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักรำ 1 กรัม นอกจากนี้พบ โทโคฟีรอล โทโคไตรอีนอล และแกรมมาออริซานอล อยู่ในช่วง 392-512, 343-478, 511-802 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ ตัวอย่างสารสกัดจากรำข้าวมี

Prince of Songkla University Pattani Campus

ความสามารถในการจับกับโลหะอยู่ในช่วง 610-715 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักรำ 1 กรัม ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH และ ABTS พบว่าให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน คือ รำข้าวพันธุ์ RB-kr มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลมากที่สุด แต่การกำจัดอนุมูล ABTS จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า DPPH เพราะวิธีการวิเคราะห์ด้วย ABTS สารมารถวิเคราะห์ได้ในช่วง pH ที่ค่อนข้างกว้าง และรำข้าว RB-kr มีค่าการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิกสูงแต่พบน้อยที่สุดในรำข้าว RB-sf จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นอยู่กับปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ

Zhang *et al.* (2006) ศึกษาประสิทธิภาพของชนิดตัวทำละลายที่มีขั้วต่างกัน (คือน้ำ ปิโตรเลียมอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เอทิลอะซิเตท และ บิวทิวแอลกอฮอล์) ต่อการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากข้าวมีสีดำพบว่า การสกัดด้วยน้ำ และบิวทิวแอลกอฮอล์ จะได้สารสกัดที่มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 383 และ 392 กิโลยูนิตต่อกรัมของตัวอย่างตามลำดับ และจากการศึกษาชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดพบว่าส่วนใหญ่แล้วคือสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแอนโธไซยานิน ได้แก่ Malvidin, Pelargonidin-3, 5-diglucoside, Cyaniding-3-glucoside และ Cyaniding-3, 5-diglucoside พบในปริมาณ 976, 878, 1134 และ 1087 กิโลยูนิตต่อกรัมของตัวอย่างตามลำดับ

Choi *et al.* (2007) ศึกษาคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดจากธัญพืชบางชนิดที่พบในประเทศเกาหลี โดยสกัดด้วยเมทานอลแล้ววิเคราะห์หาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอลด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วย Folin-Ciocalteo และสารในกลุ่มของแคโรทีนอยด์ และวิตามินอีด้วย HPLC ผลการวิเคราะห์พบว่า ข้าวฟ่างมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของโพลีฟีนอลสูงสุด รองลงมาคือข้าวสีดำที่พบในปริมาณ 733 และ 313 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม ส่วนแคโรทีนอยด์จะพบมากในถั่วเขียว ในปริมาณ 102 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัม จากนั้นได้นำสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้ไปวิเคราะห์ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระด้วย DPPH และ ABTS ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก และความสามารถในการรีดิวซิ่ง ผลการวิเคราะห์พบว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากข้าวฟ่างและข้าวสีดำมีความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ความสามารถในการต้านการเกิดออกซิเดชันในกรดไลโนเลอิก และความสามารถในการรีดิวซิ่งสูงกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากข้าวขาว ข้าวบาร์เลย์และถั่วเขียว

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3 คุณภาพของข้าว

2.3.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

สมบัติทางกายภาพหมายถึงสมบัติที่กำหนดจากคุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นด้วยสายตา และสามารถทำการชั่ง ตวง วัด ได้ คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวดังนี้

2.3.1.1 น้ำหนักเมล็ด กำหนดได้ 2 แบบ คือ น้ำหนักต่อปริมาตร หมายถึงการชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวด้วยปริมาตรคงที่ เช่น กรัมต่อลิตร และแบบที่สองเป็นน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึงการชั่งน้ำหนักข้าวด้วยจำนวนเมล็ดคงที่ เช่น กรัมต่อ 100 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดจึงเป็นลักษณะประจำพันธุ์ที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าวซึ่งควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรม และมีความคงที่มากที่สุด จากการตรวจสอบพันธุ์ข้าวในเมืองไทย ประมาณ 344 พันธุ์ จะมีน้ำหนักเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 16.20-41.68 กรัมต่อ 1000 เมล็ด (เครือวัลย์, 2536)

2.3.1.2 สีเปลือกของข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าว มีหลายสีตั้งแต่สีขาว สีฟาง น้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม น้ำตาลทอง ร่องน้ำตาล กระน้ำตาล น้ำตาลแดง ม่วง หรือดำ สำหรับพันธุ์ข้าวของประเทศไทยมีสีเปลือกส่วนใหญ่เป็นสีขาว หรือสีฟาง และสีน้ำตาล ส่วนสีน้ำตาลแดง สีเขียวแกมเทา และดำ มีเป็นส่วนน้อย พันธุ์ข้าวที่ดีควรมีสีเปลือกอ่อน เพราะสีเปลือกเข้ม เมื่อผ่านการขัดสีแล้ว จะมีเปอร์เซ็นต์แกลบสูงกว่า (เครือวัลย์, 2536; อังคณา และ เครือวัลย์, 2539)

2.3.1.3 สีข้าวกล้อง เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าว ที่เหมือนกับสีของข้าวเปลือก มียีนหลายคู่ที่สร้างสารสีประเภท แอนโทไซยานิน อยู่ในเยื่อหุ้มผล มีสีต่างๆกัน เช่น ขาว แดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงถึงม่วงเกือบดำ สีข้าวกล้องของพันธุ์ข้าวในประเทศไทยจัดกลุ่มได้ 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และม่วงหรือม่วงเกือบดำ (เครือวัลย์, 2536; อังคณา และ เครือวัลย์, 2539)

2.3.1.4 ขนาดและรูปร่างเมล็ด ใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายข้าวในประเทศไทย โดยวัดขนาดเป็นความยาว ความกว้าง และการวัดความหนาของเมล็ด ซึ่งความยาวของเมล็ดใช้จำแนกเมล็ดข้าวได้ดังตารางที่ 1 ดังนี้

ความยาวของเมล็ด หมายถึง ระยะทางจากปลายสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด

ความกว้างของเมล็ด หมายถึง ระยะทางที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ถึงเปลือกเล็ก

ความหนาของเมล็ด หมายถึง ระยะทางมากที่สุดจากเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 1 การจำแนกเมล็ดข้าวตามความยาวของเมล็ด

ขนาดเมล็ด	ความยาว (มิลลิเมตร)
ยาวมาก	มากกว่า 7.50
ยาว	7.06-7.50
ค่อนข้างยาว	6.61-7.059
ปานกลาง	6.101-6.609
ค่อนข้างสั้น	5.51-6.10
สั้น	น้อยกว่า 5.50

ที่มา: อังคณา และเครือวัลย์ (2539)

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกเมล็ดข้าวโดยใช้รูปร่างเป็นเกณฑ์ได้ (เรียว ปานกลาง ป้อม) โดยคำนวณความยาวของเมล็ดข้าวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจำแนกรูปร่างของเมล็ดข้าวตามเกณฑ์ค่าความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าว

รูปร่าง	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
เรียว	>3.4	>3.1	>3.0
ปานกลาง	2.3-3.3	2.1-3.0	2.0-2.9
ป้อม	<2.2	<2.0	<1.9

ที่มา: http://www.riceproduct.org [5/07/2552]

มาตรฐานข้าวไทยที่กำหนดโดยกรมการข้าว ไม่กำหนดรูปร่างเมล็ด เนื่องจากข้าวส่วนใหญ่มีเมล็ดยาวเรียว และยึดถือข้าวที่มีความยาวเกิน 7.0 มิลลิเมตรเป็นข้าวคุณภาพดี และข้าวไทยเป็นข้าวประเภทข้าวอินดิกา จึงทำให้เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าข้าวชนิดนี้มีเมล็ดยาวเรียว แต่โดยความเป็นจริงมีข้าวไทยพันธุ์พื้นเมืองบางพันธุ์มีเมล็ดป้อมเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 3 ความยาว รูปร่าง และน้ำหนักเมล็ดของข้าวไทยบางพันธุ์

พันธุ์	ความยาว (มิลลิเมตร)	รูปร่าง	น้ำหนัก 100 เมล็ด (กรัม)
กข 1	7.1	เรียว	2.66
กข 2	7.4	ป้อม	3.59
กข 3	7.5	เรียว	2.72
กข 4	7.3	เรียว	2.99
กข 5	7.2	เรียว	2.34
กข 6	7.2	เรียว	2.70
ขาวดอกมะลิ 105	7.4	เรียว	2.77
เหลืองใหญ่ 148	7.3	เรียว	3.17
เหนียวสันป่าตอง	7.2	เรียว	2.96
เหลืองปะทิว 123	7.4	เรียว	2.88
นางฉลอง	7.4	ป้อม	3.67
ตะเภาแก้ว 161	7.5	เรียว	2.70
เล็บมือนาง 111	7.6	เรียว	3.25
ปิ่นแก้ว	7.5	เรียว	3.06
นางพญา 132	7.4	เรียว	2.55
ซิวแม่จัน	7.4	เรียว	3.04
ดอกพยอม	7.3	เรียว	2.58
กู้เมืองหลวง	8.4	เรียว	3.64
ข้าวเหนียวอุบล 1	7.2	เรียว	2.73
แก่นจัน	7.2	เรียว	2.54
สุพรรณบุรี 60	7.5	เรียว	3.06
ปทุมธานี 60	7.5	เรียว	3.02
พัทลุง 60	7.1	เรียว	3.03

ที่มา: เครือวัลย์ (2536)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.1.5 ข้าวท้องไข่ หมายถึงจุดขาวขุ่นคล้ายชอล์ก ที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ดข้าวสารมี 3 ลักษณะคือ จุดขาวขุ่นตรงกลางเนื้อเมล็ดข้าวสาร จุดขาวขุ่นด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ด ซึ่งเป็นด้านเดียวกับคัพภะ และจุดขาวขุ่นด้านหลังของเมล็ดข้าวสาร เป็นด้านตรงข้ามกับคัพภะ เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพ และส่งผลถึงราคาของข้าวเปลือก เนื่องจากเมล็ดที่เป็นท้องไข่มาก เมื่อนำไปขัดสีจะทำให้มีการแตกหักของข้าวสารในปริมาณสูง จึงมีผลต่อคุณภาพในการสีโดยตรง นอกจากนี้ยังเป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงคุณภาพในด้านลักษณะปรากฏ ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความต้องการข้าวสารที่มีลักษณะใส ทำให้ข้าวท้องไข่มีราคาตก การปลูกข้าวในอากาศร้อน (อุณหภูมิกลางวัน 38 องศาเซลเซียส กลางคืน 21 องศาเซลเซียส) จะทำให้เกิดข้าวท้องไข่มากกว่าการปลูกในพื้นที่อากาศเย็นกว่า (อุณหภูมิกลางวัน 26 องศาเซลเซียส กลางคืน 15 องศาเซลเซียส) ลักษณะของข้าวท้องไข่พบได้ในข้าวเจ้า หรือข้าวที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าว สำหรับข้าวเหนียวซึ่งมี อะไมโลเพกตินเกือบทั้งหมด จะให้ลักษณะข้าวขาวขุ่นทั้งเมล็ด จึงไม่เห็นลักษณะข้าวท้องไข่ (อรอนงค์, 2547)

2.3.1.6 ความเลื่อมมันของเมล็ด เป็นปัจจัยที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและราคาข้าว เนื่องจากข้าวกล้องที่มีความเลื่อมมันดี เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวหักน้อย

2.3.1.7 ความขาวของข้าวสาร เป็นผลมาจากการขัดสีข้าวกล้อง ระดับการขัดสีที่แตกต่างกันส่งผลถึงความขาวของข้าวสาร

2.3.1.8 ความใสของเมล็ด เป็นลักษณะการโปร่งแสง ข้าวที่มีเมล็ดใสแสงสามารถส่องผ่านได้ทั้งเมล็ดต่างจากข้าวท้องไข่ ข้าวในข้าวเจ้าด้วยกันจะมีความใส หรือความขุ่นที่ต่างกันขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่ปลูก ข้าวเหนียวจะมีความทึบแสง (เครือวัลย์, 2536)

2.3.2 คุณภาพในการขัดสี (Milling qualities)

คุณภาพในการขัดสีกำหนดจากการประเมินปริมาณแกลบ รำ ข้าวสารเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวเปลือก สิ่งสำคัญที่ใช้ในการประเมินราคาข้าวเปลือกคือ ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าว ซึ่งถ้ามีปริมาณมาก ราคาข้าวเปลือกจะสูง ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในการสีคือ กระบวนการสีข้าว ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าว และการปฏิบัติการทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้

2.3.2.1 กระบวนการขัดสี มีวัตถุประสงค์เพื่อ แยกเปลือก รำ และคัพภะ ออกจากเนื้อเมล็ดข้าว เพื่อให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุด ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การทำความสะอาด การกะเทาะเปลือก การขัดขาว และการคัดแยกขนาด ระดับของการขัดสี คือความหนักเบาหรือความมากน้อยในการกำจัดเยื่อหุ้มเมล็ดออกจากข้าวกล้อง สิ่งที่ได้จากการขัดคือ รำ คัพภะ และส่วนของเนื้อเมล็ด

Prince of Songkla University Pattani Campus

(ข้าวสาร) ระดับการขัดสีคำนวณจากปริมาณรำที่ถูกกำจัดออกจากข้าวกล้องเทียบกับน้ำหนักของข้าวกล้อง ดังสูตร

$$\text{ปริมาณรำ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100$$

โดย m_1 คือน้ำหนักข้าวกล้อง

m_2 คือน้ำหนักข้าวสาร

การแปลผลค่าที่คำนวณได้เพื่อหาระดับของการขัดสี สามารถแบ่งระดับการสีออกเป็น 4 ระดับคือ

1. สีดีพิเศษ หมายถึง น้ำหนักรำที่หายไป 8 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า
2. สีดี หมายถึง น้ำหนักรำที่หายไป 7-7.9 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า
3. สีดีปานกลาง หมายถึง น้ำหนักรำที่หายไป 6-6.9 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า
4. สีธรรมดา หมายถึง น้ำหนักรำที่หายไป 5-5.9 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า

2.3.2.2 พันธุ์ข้าว มีลักษณะประจำพันธุ์ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพในด้านขนาด รูปร่าง สีเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวท้องไข่ หรือความเลื่อมมันของเมล็ดข้าวแต่ละพันธุ์ จะมีผลต่อคุณภาพในการสี เช่น ข้าวที่มีเมล็ดยาวมาก หรือมีข้าวท้องไข่มาก เมื่อนำไปสีจะทำให้เกิดการแตกหักง่ายทำให้ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวน้อย ส่วนข้าวที่มีลักษณะเมล็ดยาว เรียว เมล็ดใส จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวสูง พันธุ์ข้าวสีเปลือกเข้ม เมื่อผ่านการขัดสีแล้ว จะมีเปอร์เซ็นต์แกลบสูงกว่า (เครือวัลย์, 2536; อังคณา และ เครือวัลย์, 2539)

2.3.2.3 การปฏิบัติก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (เครือวัลย์, 2536; กิติยา, 2539) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพในการขัดสีที่เกิดจากการปฏิบัติก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว คือ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ถ้าเก็บช้าหรือเร็วไป จะมีผลต่อปริมาณและคุณภาพข้าวที่สีได้ต่ำกว่าการเก็บเกี่ยวในเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากถ้าเก็บเกี่ยวช้า เมล็ดจะแก่ ตากแดดตากน้ำค้างนาน ทำให้ภายในเมล็ดร้าว เมื่อไปสีจะมีการหักสูง ถ้าเก็บเกี่ยวช้าไป เมล็ดข้าวสร้างเนื้อไม่สมบูรณ์ น้ำหนักเมล็ดเบา ข้าวหักง่าย ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคือ นับจากการออกดอกข้าวแล้ว 80 เปอร์เซ็นต์ ไปอีก 30-35 วัน การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว คือ การตากข้าวก่อนนวด เป็นการลดความชื้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนวด และได้ข้าวเปลือกที่คุณภาพในการสีสูง เก็บไว้ได้นาน การตากข้าวหลังการนวด ความกำหนดให้มีความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ เพราะถ้าความชื้นสูง อาจเกิดราในขณะเก็บได้ และควรเก็บในที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.3 คุณค่าทางโภชนาการ (Nutritional properties)

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปข้าว นอกจากนี้การขัดสีก็เป็นผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของข้าวแตกต่างกันด้วย ดังตัวอย่างในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวสังข์หยดพัทลุงเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
โปรตีน	7.41	6.72
ไขมัน	2.18	0.10
เส้นใย	4.55	2.05
เถ้า	1.31	0.34
คาร์โบไฮเดรต	77.88	81.11

ที่มา: กรมการข้าว (2550)

2.3.3.1 วิตามิน

วิตามินที่สำคัญที่พบในข้าวคือ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 และวิตามินอี โดยวิตามินเหล่านี้พบมากในข้าวกล้อง และข้าวที่มีสี แต่จะพบน้อยในข้าวขัดขาว เนื่องจากกระบวนการขัดสีจะทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินไปกับรำข้าว ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณวิตามินบางชนิดของข้าวมีสีในรูปข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

วิตามิน (ยูนิตต่อ 100 กรัม)	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
วิตามินบี 1	2.30	1.20
วิตามินบี 2	0.40	0.14
วิตามินบี 3	21.0	13.00
วิตามินอี	0.60	0.03

ที่มา: Xia *et al.* (2002)

Prince of Songkla University Pattani Campus

นันทยา (2550) ศึกษาปริมาณวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 ในข้าวหอมมะลิ ข้าวเหนียวและข้าวมันปู รวมทั้งอาหารสุขภาพจากจมูกข้าวและรำข้าว นอกจากนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณวิตามินบี 1 ในข้าวที่เหลือจากการสูญเสียเนื่องจากการทำให้สุก จากการศึกษาวิจัยพบว่าข้าวที่ผ่านการสีในระดับต่ำ เช่น ข้าวกล้อง ข้าวมันปู มะลิอนามัย และข้าวซ้อมมือ ปริมาณวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 เท่ากับ 0.34-0.61 และ 0.11-0.18 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวที่ผ่านการสีและขัดหลายๆครั้งมีปริมาณวิตามินบี 1 เท่ากับ 0.08-0.28 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และวิตามินบี 2 เท่ากับ 0.02-0.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนในข้าวเหนียวแต่ละชนิดจะมีปริมาณวิตามินทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันมากนัก คือมีปริมาณวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 เท่ากับ 0.06-0.11 และ 0.04-0.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียวิตามินบี 1 ภายหลังการทำให้สุก โดยคิดจากปริมาณข้าวดิบ 302.37 กรัม (ปริมาณการบริโภคข้าวของคนไทยต่อคนต่อวัน) พบว่า การทำให้สุกไม่ว่าโดยวิธีหุงข้าวแบบไม่เช็ดน้ำ หรือเช็ดน้ำ ไม่มีข้าวชนิดไหนที่จะมีวิตามินบี 1 เหลืออยู่ในปริมาณที่พอเพียงกับความต้องการตามปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับประจำวัน (Recommended Dietary Allowance หรือ RDA) กำหนดเอาไว้ได้ อย่างไรก็ตามการหุงข้าวโดยวิธีไม่เช็ดน้ำในกลุ่มข้าวที่ขัดสีน้อยยังคงมีวิตามินบี 1 ในปริมาณที่มากกว่าข้าวขัดขาวโดยทั่วไปอยู่มากโดยมีปริมาณเท่ากับ 0.52-0.93 มิลลิกรัม ในขณะที่ข้าวขัดขาว หรือข้าวที่ขัดสีมากๆและผ่านการหุงโดยวิธีเช็ดน้ำจะมีวิตามินบี 1 เหลืออยู่เพียง 0.04-0.12 มิลลิกรัมเท่านั้น สำหรับในข้าวเหนียวภายหลังการแช่ค้างคืนแล้วนึ่งสุกแล้วจะมีวิตามินบี 1 น้อยมากคือจะเหลือเพียง 0.08-0.13 มิลลิกรัม สำหรับการศึกษาวิจัยปริมาณวิตามินทั้ง 2 ตัวนี้ในอาหารสุขภาพจำพวกจมูกข้าวและรำข้าวพบว่า มีปริมาณวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 สูงมาก คือ 2.14-3.40 และ 0.99-1.33 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

Xia *et al.* (2002) ศึกษาปริมาณวิตามินชนิดต่างๆของข้าวสีดำเปรียบเทียบกับข้าวขาว ด้วยเทคนิค HPLC ผลการศึกษาพบว่าข้าวดำมีปริมาณวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 และวิตามินอี เท่ากับ 2.30 0.40 21.00 และ 0.60 ยูนิตต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ในขณะที่พบวิตามินดังกล่าวในข้าวขาวในปริมาณที่ต่ำกว่า

Deepa *et al.* (2008) ศึกษาชนิดและปริมาณวิตามินของข้าวจากประเทศอินเดีย 3 พันธุ์ คือ Njavara Jyothi และ IR 64 ด้วยเทคนิค HPLC ผลการทดลองพบว่า ข้าวทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณของกรดโฟลิคไม่แตกต่างกัน โดยอยู่ในช่วง 0.04-0.05 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ปริมาณวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินบี 3 ที่วิเคราะห์ได้จากข้าว Njavara มีความแตกต่างจากข้าวอีก 2 ชนิด และพบในปริมาณที่สูงที่สุด เท่ากับ 0.52 0.07 และ 7.32 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ

2.3.3.2 แร่ธาตุ

แร่ธาตุในข้าวที่สำคัญคือ ฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และซิลิเนียม ซึ่งในข้าวกล้องมีปริมาณมากกว่าข้าวขัดขาว ดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณแร่ธาตุบางชนิดของข้าวมีสีเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

แร่ธาตุ (ยูนิตต่อ 100 กรัม)	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ฟอสฟอรัส	1694.10	1542.50
แคลเซียม	60.20	45.30
โพแทสเซียม	673.70	624.60
แมกนีเซียม	79.40	80.40
โซเดียม	2.11	4.35
เหล็ก	16.46	6.30
สังกะสี	8.96	4.92
ทองแดง	1.49	0.91
ซิลิเนียม	0.15	0.06

ที่มา: Xia *et al.* (2002)

Xia *et al.* (2002) ศึกษาปริมาณแร่ธาตุของข้าวสีดำเปรียบเทียบกับข้าวขาว โดยใช้เทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ผลการทดลองพบว่าข้าวดำมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และซีลีเนียม สูงกว่าข้าวขัดขาว โดยมีค่าเท่ากับ 1694.10 60.20 673.70 16.46 8.96 1.49 และ 0.15 หน่วยต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ในขณะที่ข้าวขาวมีแมกนีเซียม โซเดียมสูงกว่าข้าวสีดำ โดยมีค่าเท่ากับ 80.40 และ 4.35 หน่วยต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

Deepa *et al.* (2008) ศึกษาปริมาณแร่ธาตุบางชนิดของข้าวพันธุ์จากประเทศอินเดีย 3 ชนิด คือ Njavara Jyothi และ IR 64 ด้วยเครื่อง AAS ผลการทดลองพบว่า ข้าวพันธุ์ Jyothi และ IR 64 มีปริมาณเหล็กสูงกว่าข้าว Njavara แต่ข้าว Njavara มีปริมาณแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส สูงกว่าข้าวอีก 2 พันธุ์อย่างชัดเจน โดยมีค่าเท่ากับ 11.6 30.9 216 304 และ 354 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

Prince of Songkla University Pattani Campus

ข้าวพื้นเมืองของไทยบางพันธุ์มีธาตุเหล็กสูงเทียบเท่ากับข้าวพันธุ์ปรับปรุงให้มีเหล็กสูงที่มาจากศูนย์วิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่อยู่บนพื้นที่สูงของประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์จะแนะแนะ ผลการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์จะแนะแนะมีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวขัดขาว โดยอยู่ในช่วง 8.42-17.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุเหล็กในคัพภะและเนื้อแป้งพบว่า คัพภะมีปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าเนื้อแป้งโดยข้าวพันธุ์จะแนะแนะ มีปริมาณธาตุเหล็กในคัพภะมากที่สุด คือ 42.2±0.8 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมากกว่าในคัพภะของข้าวพันธุ์ IR68144 ที่ได้มาจากศูนย์วิจัยข้าวนานาชาติ (ชนากานต์ และคณะ, 2550) ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุเหล็กในข้าวบางชนิดเปรียบเทียบระหว่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

พันธุ์	ปริมาณธาตุเหล็ก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		ปริมาณธาตุเหล็กในคัพภะและเนื้อแป้ง (ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว	ส่วนของเมล็ด	ปริมาณธาตุเหล็ก
IR68144	15.06±0.67	9.22±0.84	คัพภะ	42.2±0.8
(ข้าวเจ้า)			เนื้อแป้ง	17.6±0.5
จะแนะแนะ	17.14±0.10	7.16±0.13	คัพภะ	44.4±3.6
(ข้าวเหนียว)			เนื้อแป้ง	12.7±0.7
ข้าวดอกมะลิ 105	8.42±0.04	5.16±0.08	คัพภะ	21.7±0.6
(ข้าวเจ้า)			เนื้อแป้ง	8.3±0.2
เหนียวอุบล2	9.91±0.07	8.35±0.05	คัพภะ	19.9±1.8
(ข้าวเหนียว)			เนื้อแป้ง	8.2±0.6

ที่มา : ชนากานต์ และคณะ (2550)

สุขจิตต์ และคณะ (2006) ศึกษาปริมาณธาตุเหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ในตัวอย่างข้าวขาวและข้าวมีสี 10 ชนิด ด้วยเทคนิค AAS มีการเตรียมตัวอย่างข้าวโดยการย่อยสลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้นที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส ในตัวอย่างข้าวที่ศึกษามีค่าในช่วง 0-25.03 11.80-23.89 0-2.22 และ 3.59-30.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงถึงแนวโน้มของปริมาณธาตุทั้ง 4 ว่ามีค่าแตกต่างกันในตัวอย่างข้าวแต่ละชนิด โดยเฉพาะข้าวมีสีจะมีปริมาณแร่ธาตุสูงกว่า และเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายในแต่ละวัน

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.4 คุณภาพทางเคมี (Chemical compositions)

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยอาหาร มีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยว และกระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร

2.3.4.1 ไขมัน

ปริมาณไขมันในส่วนต่างๆ ของข้าว จะมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 8) จะเห็นว่าข้าวกล้องมีปริมาณไขมันมากกว่าข้าวขัดขาว กล่าวคือ ไขมันจะอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ด ดังจะเห็นจากปริมาณไขมันปริมาณไขมันในรำมีสูงถึง 18.3 เปอร์เซ็นต์ ข้าวกล้องมีปริมาณไขมันประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ คล้ายคลึงกับธัญชาติอื่นๆ ไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในอยู่ในส่วนด้านนอกหรือบริเวณเยื่อหุ้มของเมล็ดมากกว่าส่วนด้านในใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีทำให้ข้าวขัดขาวเหลือไขมันอยู่เพียง 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์ (Hoseney, 1986) ปริมาณของไขมันที่พบในข้าวแต่ละชนิด จะมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์ เนื่องมาจากปัจจัยทางพันธุกรรม สิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูก และกระบวนการขัดสี ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ปริมาณไขมันประเภทต่างๆ ที่พบในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าว

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

ที่มา: Juliano (1977)

สำหรับในสตาร์ชข้าว ไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาร์ช 3 ลักษณะ คือ ไขมันอยู่ชิดกับโปรตีน ซึ่งอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอก หรืออาจอยู่รวมกับโครงสร้างอะไมโลเพคตินสายนอก เช่น สาย A หรือ B ส่วนผิวของเม็ด สตาร์ชลักษณะที่สองไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช และลักษณะที่สามอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชแต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (Morrison, 1988)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 9 ปริมาณไขมันที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด

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

ที่มา: กรมการข้าว (2550)

ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมาคือ ฟอสฟอลิปิด ไกลโคไลปิด และเทอร์พีนอยส์ ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ช เป็นไขมันประเภทสารประกอบโมโนแอซิล ซึ่งกลุ่มของโมโนแอซิลจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าสำหรับไขมันภายในเม็ดสตาร์ช และสตาร์ชยังมีไลโซเลซิทินและกรดไขมันอีกด้วย (Henry and Kettlewell, 1996)

ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดสตาร์ชจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของสตาร์ช โดยเฉพาะความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของสตาร์ช เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียก ไขมันจะรวมตัวกับอะไมโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฉื่อย ทำให้แป้งเปียกทึบแสง ขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้ง ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546)

Hibi *et al.* (1990) ศึกษาผลของไขมันต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ชในข้าวหุงสุกและระหว่างการเก็บรักษาข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชข้าวที่ผ่านการหุงแล้วเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นแบบ V-Type ต่างจากลักษณะ A-Type ของข้าวที่ไม่ได้หุงสุก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรวมตัวกันของอะไมโลสกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างสตาร์ชจาก V-Type ไปเป็นแบบ B-Type ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดรีโทรกราเดชั่นของสตาร์ช เกิดขึ้นจากการคลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไขมันกับอะไมโลส

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.4.2 โปรตีน

โปรตีนพบมากในส่วนที่เป็นเอมบริโอมีอยู่ประมาณ 8.3-9.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำแต่มีคุณภาพสูงกว่าโปรตีนในธัญพืชชนิดอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ดีและเป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย โปรตีนที่พบแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ตามคุณสมบัติการละลายในตัวทำละลาย ได้แก่ ออริเซนิน (Oryzenin) คือโปรตีนที่สามารถละลายได้ในตัวละลายด่าง เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในข้าว (80-85 เปอร์เซ็นต์) อัลบลูมิน (Albumin) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ โกลบูลิน (Globulin) เป็นโปรตีนละลายในแอมโมเนียมซัลเฟต และโพรลามิน (Prolamin) คือโปรตีนที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ (กุณฑลิยา, 2544)

ปริมาณของโปรตีนที่พบในข้าวแต่ละชนิด จะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามแต่ละพันธุ์ เนื่องมาจากปัจจัยทางพันธุกรรม สิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูก และกระบวนการขัดสี จะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง เพราะโปรตีนส่วนมากจะพบที่ผิวของเมล็ดข้าว และอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นส่วนมาก ซึ่งจะเกิดการสูญเสียในระหว่างการขัดสี จึงพบปริมาณโปรตีนในข้าวขัดขาวต่ำกว่าในข้าวกล้อง ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวกล้องเปรียบเทียบกับข้าวขัดขาวบางชนิด

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

ที่มา: กรมการข้าว (2550)

ภายในเม็ดสตาร์ชจะมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรตีนจะเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของเม็ดสตาร์ช คือ ทำให้เกิดประจุบนผิวของเม็ดสตาร์ช มีผลต่อการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ

Prince of Songkla University Pattani Campus

อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาทิไนเซชั่นต่างกันออกไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2546)

Chrastil (1990) ทดลองหาอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนออริซานิน กับสตาร์ชข้าวในขณะเก็บรักษา พบว่าความเหนียวของข้าวหุงสุกมีผลมาจากการเกาะเกี่ยวกันของออริซานิน กับโมเลกุล สตาร์ชทั้งในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน โดยทดลองในลักษณะระบบจำลองจากการสกัดสตาร์ช อะไมโลส และสตาร์ชที่ปราศจากออริซานิน แล้วเติมออริซานินเปรียบเทียบลักษณะที่เติมกับไม่เติม เปรียบเทียบกับข้าวปกติที่เก็บรักษาไว้ที่ 4 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่ามีความสัมพันธ์กับโปรตีนและความเหนียวของข้าว โดยในโครงสร้างของโปรตีนส่วนที่มีพันธะซัลไฟด์คู่คือ ซิสทีน ที่เกาะเกี่ยวกับเม็ดสตาร์ช จะขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้ความหนืดต่ำ ความเหนียวลดลง

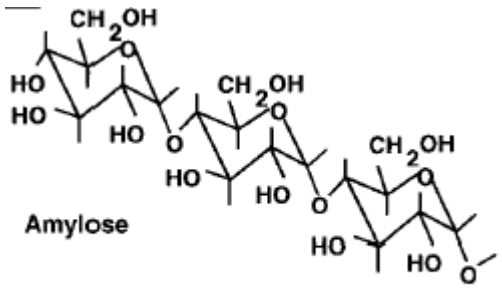
ปริมาณโปรตีนมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าว กล่าวคือข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ และข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงดูดซึมน้ำได้ช้ากว่า เนื่องจากโปรตีนที่อยู่รอบโมเลกุลของสตาร์ชจะขัดขวางการดูดซึมน้ำ ดังนั้นการดูดซึมน้ำจึงเกิดอย่างช้า ๆ นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนสูงยังทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (งามชื่น, 2536; น้ำฝน, 2548) และนอกจากนี้ปริมาณโปรตีนยังมีความสำคัญกับความเหนียวของข้าว คือ ในระหว่างการหุงต้มข้าวทำให้โปรตีนออริเซนิน (Oryzenin) และสตาร์ชบางส่วนถูกทำลาย ซึ่งทั้งสองส่วนนี้สามารถเกิดปฏิกิริยา อันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกันได้เกิดโปรตีนออริเซนินกับสตาร์ชมากทำให้มีความเหนียวมาก แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นาน ความสามารถในการเกิดพันธะระหว่างโปรตีนออริเซนินกับสตาร์ช ลดลง ทำให้ข้าวหุงสุกมีความเหนียวลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน (Ramesh *et al.*, 2000)

2.3.4.3 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในข้าวพบอยู่ในรูปสตาร์ช น้ำตาล เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยคาร์โบไฮเดรตที่พบส่วนมากอยู่ในรูปของสตาร์ชประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้ง สตาร์ชจะประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นหน่วยย่อยที่สำคัญ

2.3.4.3.1 อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคส (Glucose) ประมาณ 2000 หน่วย มาเชื่อมกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage (Oates, 1996) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของอะไมโลส
ที่มา: Oates (1996)

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น Butanol, Fatty acid, Surfactant, Phenol และ Hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ จะไม่ละลายในน้ำโดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวรอบสารประกอบอินทรีย์ อะไมโลสที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า 45 หน่วยกลูโคสเมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินม่วง ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ

ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพกติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึก ในแป้งสาลีพบ อะไมโลสอยู่ในส่วนอสัณฐาน ในแป้งมันฝรั่งพบอะไมโลสอยู่ร่วมกับอะไมโลเพกตินในส่วนผลึก การศึกษาการเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งมันฝรั่ง (Jane and Chen, 1993) พบอะไมโลสในส่วนรอบนอกของเม็ดแป้งมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางเม็ดแป้ง อะไมโลสที่ขนาดโมเลกุลใหญ่จะพบเป็นเป็นเกลียวคู่กับอะไมโลเพกตินอยู่ใจกลางเม็ดแป้ง สำหรับอะไมโลสขนาดโมเลกุลเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดแป้ง (Oates, 1996) ปริมาณอะไมโลสในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดข้าว โดยในข้าวเหนียวมีปริมาณต่ำกว่าข้าวเจ้า ปริมาณอะไมโลสในข้าวไทยบางชนิดแสดงในตารางที่ 11 และตารางที่ 12 อะไมโลสมีบทบาทสำคัญต่อลักษณะเนื้อสัมผัสหรือความเหนียว ความนุ่มของข้าว สามารถจำแนกกลุ่มข้าวตามปริมาณอะไมโลสคือ ข้าวอะไมโลสต่ำ (<20 เปอร์เซ็นต์) ข้าวอะไมโลสปานกลาง (20-25 เปอร์เซ็นต์) และข้าวอะไมโลสสูง (>25 เปอร์เซ็นต์)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 11 ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าไทยบางชนิด

พันธุ์ข้าว	อะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)	อ้างอิง
ขาวดอกมะลิ 105	12-17	งามชื่น (2536)
	15.12±0.12	อารีรัตน์ (2544)
	16.67±0.37	ศศิธร (2547)
	15-16	กรมการข้าว (2550)
มะลิดอ	17.06±0.64	ศศิธร (2547)
	15-16	กรมการข้าว (2550)
กข 15	14-17	งามชื่น (2536)
	17.74±1.03	ศศิธร (2547)
	15-16	กรมการข้าว (2550)
ขาวตาแห้ง 17	26-28	งามชื่น (2536)
	24-25	กรมการข้าว (2550)
	29.42+0.50	อารีรัตน์ (2544)
กข 7	24-28	งามชื่น (2536)
	20-21	กรมการข้าว (2550)
กข 23	26-30	งามชื่น (2536)
	21-22	กรมการข้าว (2550)
เหลืองประทิว 123	28-32	งามชื่น (2536)
	26-28	กรมการข้าว (2550)
ปทุมธานี 60	27-32	งามชื่น (2536)
	27-28	กรมการข้าว (2550)
สุพรรณบุรี 60	22.90±0.07	อารีรัตน์ (2544)
	17-18	งามชื่น (2536)
	22-23	กรมการข้าว (2550)
สังข์หยดพัทลุง	16-17	กรมการข้าว (2550)

Prince of Songkla University Pattani Campus

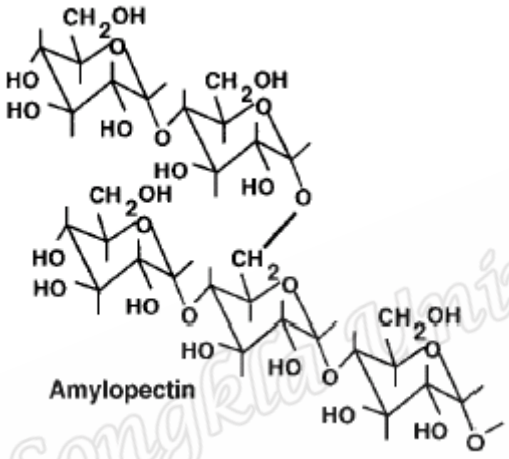
ตารางที่ 12 ปริมาณอะไมโลสในข้าวเหนียวไทยบางชนิด

พันธุ์ข้าว	อะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)	อ้างอิง
กข 6	5-6	กรมการข้าว (2550)
	6.40±0.74	ศศิธร (2547)
กข 10	6-6.5	กรมการข้าว (2550)
	5.95±0.02	ศศิธร (2547)
ชิวแม่จัน	4.6	กรมการข้าว (2550)
	6.29±0.36	ศศิธร (2547)
สกลนคร	4.9	กรมการข้าว (2550)
	6.98±0.12	ศศิธร (2547)
สันป่าตอง	5-6	กรมการข้าว (2550)
	5.68±0.04	ศศิธร (2547)
หางยี 71	4.5	กรมการข้าว (2550)
	5.57±0.39	ศศิธร (2547)
เหนียวแพร่	5.7	กรมการข้าว (2550)
	6.75±0.93	ศศิธร (2547)
เหนียวอุบล	5.4	กรมการข้าว (2550)
	6.50±0.57	ศศิธร (2547)
ก่ำใน (ข้าวเหนียวดำ)	7.34±0.36	ศศิธร (2547)
ก่ำมุกดาหาร (ข้าวเหนียวดำ)	6.39±0.58	ศศิธร (2547)
ก่ำคำม่วง (ข้าวเหนียวดำ)	6.83±0.33	ศศิธร (2547)
ก่ำพยัคฆ์ (ข้าวเหนียวดำ)	7.62±3.15	ศศิธร (2547)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.4.3.2 อะไมโลเพกติน

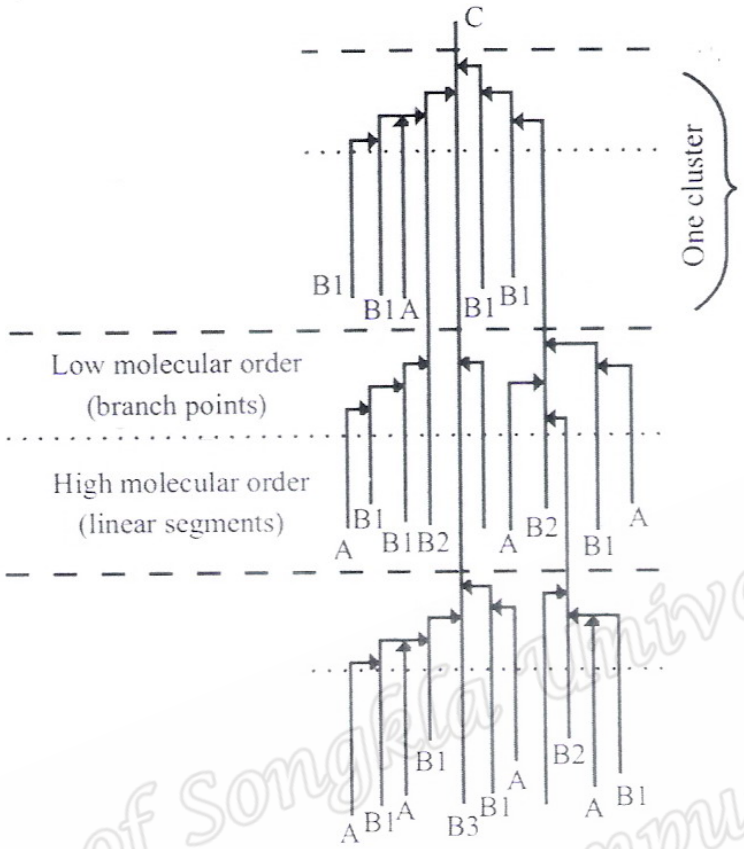
อะไมโลเพคติน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ซึ่งส่วนที่เป็นเส้นตรงเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 glucosidic linkage และส่วนที่ต่อออกเป็นกิ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6 glucosidic linkage จะเป็นพอลิเมอร์สายสั้นมีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างอะมิโลเพกติน
ที่มา: Richardson *et al*. (2000)

อะไมโลเพคตินเป็นโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขามากทำให้มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โมเลกุลของอะไมโลเพคตินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย หรือมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1000 เท่าของอะไมโลส (Eliasson, 2004) โครงสร้างของอะไมโลเพคติน (รูปที่ 3) ประกอบด้วยสายโซ่ 3 แบบ คือ สาย A (A–chain) เป็นสายที่สั้นที่สุด (DP เท่ากับ 6-15) เชื่อมต่อกับสายอื่นด้วยพันธะ α-1,6 ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ ส่วนสาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ อาจไปต่อกับสาย A หรือสาย B ก็ได้ สายโซ่แบบ B นี้ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย B1, B2, B3 และ B4 โดยการแบ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่และระยะห่างของคลัสเตอร์ (Cluster) ตัวอย่างเช่น B1 (DP เท่ากับ 15-25) มีระยะห่างเพียง คลัสเตอร์เดียว B2 (DP เท่ากับ 44-50) มีระยะห่างสองคลัสเตอร์ และสาย C (C–chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ในอะไมโลเพคติน แต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น (Robin *et al.,* 1975)

Prince of Songkla University Pattani Campus



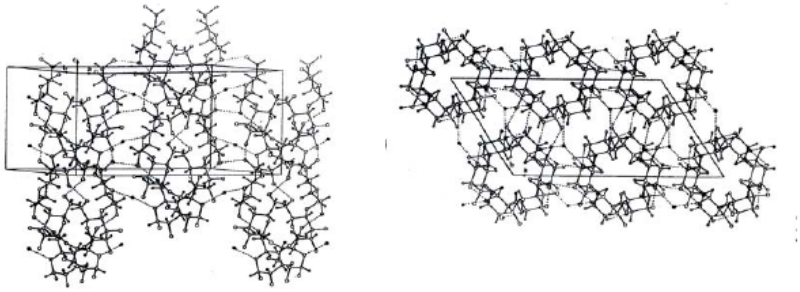
รูปที่ 3 แบบจำลองสายโซ่ของอะไมโลเพกติน

ที่มา: Eliasson (2004)

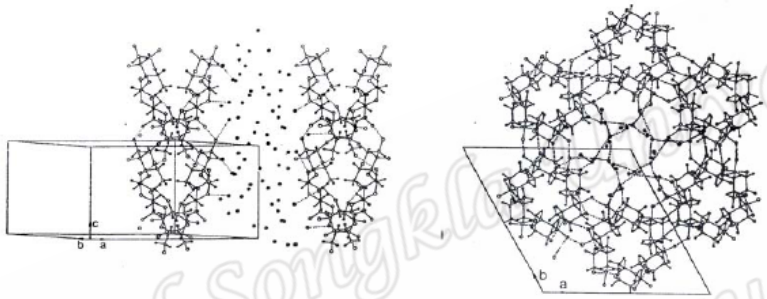
Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.4.3.3 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเม็ดสตาร์ชและลักษณะโครงสร้างผลึก

โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจัดเรียงตัวในเม็ดสตาร์ชในลักษณะเซมิคริสตัลไลน์ (Semicrytalline) คือ มีส่วนที่เป็นผลึก (Crytalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) เรียงสลับกัน ซึ่งส่วนผลึกประกอบไปด้วย Branching point ของอะไมโลเพกติน และส่วนอสัณฐาน ประกอบด้วยอะไมโลเพกตินที่เป็นเส้นตรงของกิ่ง และโมเลกุลอะไมโลส ในการฟอร์มเป็นเม็ดสตาร์ชของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีจุดเริ่มต้นอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช เรียกว่า Hilum ซึ่งสามารถมองเห็นได้โดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงปกติ และเมื่อใช้แสงโพลาไรซ์จะมองเห็น Maltese Cross ซึ่งเป็นส่วนผลึกของเม็ดสตาร์ช



A type crystal

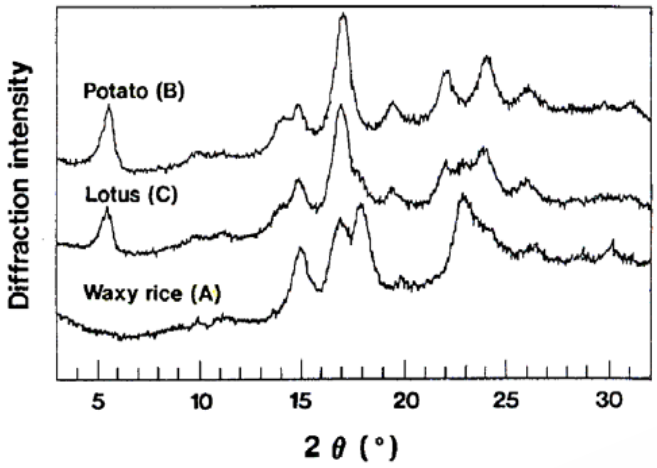


B type crystal

รูปที่ 4 แบบจำลองโครงสร้างผลึกของสตาร์ชแบบ A และแบบ B
ที่มา: Imberly *et al.* (1991)

สตาร์ชมีโครงสร้างผลึก 2 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ได้แก่แบบ A และแบบ B โดยโครงสร้างผลึกแบบ A มีการจัดเรียงของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน อย่างหนาแน่น (รูปที่ 4) จากการตรวจรูปแบบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD จะให้พีค 2θ เท่ากับ 17° และ 17.9° รูปแบบโครงสร้างผลึกแบบ A สามารถพบจากแป้งจากธัญพืชต่างๆ ส่วนโครงสร้างผลึกแบบ B มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างหลวมๆ เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำ 36 โมเลกุลอยู่ตรงกลาง การตรวจดูด้วยเครื่อง XRD พบว่าโครงสร้างผลึกแบบ B ให้พีค 2θ เท่ากับ 5.6° ซึ่งเป็นพีคของน้ำ และพีที่ 17.2° แต่ไม่มีพีคที่ 17.9° สามารถแบบสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B จากแป้งจากพืชหัว (มันฝรั่งดิบ) แป้งกล้วยดิบ และโครงสร้างผลึกแบบ C เกิดจากการเรียงตัวทั้งแบบ A กับ B คือ จะมีพีค 2θ เท่ากับ 5.6° และ 17.9° ซึ่งพบจากแป้งถั่ว (Hizukuri, 1996) ดังรูปที่ 5

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 5 รูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ช 3 แบบจากการวิเคราะห์ด้วย XRD

ที่มา: Hizukuri (1996)

2.3.4.3.4 รูปร่างและขนาดของเม็ดสตาร์ชข้าว

Ong and Blanshard (1995a) ศึกษารูปร่างและขนาดของสตาร์ชข้าวในกลุ่มอินดิกา จำนวน 11 พันธุ์ด้วยเครื่อง SEM พบว่า สตาร์ชข้าวมีขนาดอยู่ในช่วง 4-7 ไมโครเมตร และจากการศึกษาของ Li and Yeh (2001) พบว่าสตาร์ข้าวจากประเทศไต้หวัน มีขนาดเฉลี่ย 6.4 ไมโครเมตร

Sodhi and Singh (2003) ศึกษารูปร่างและขนาดของสตาร์ชข้าวจากอินเดียจำนวน 5 พันธุ์คือ PR-106, PR-114, PR-103, IR-8 และ PR-113 ด้วยเครื่อง SEM ผลการทดลองพบว่าเม็ดสตาร์ชส่วนมากมีรูปร่างแบบ polyhedral และมีขนาดในช่วง 2.4-5.4 ไมโครเมตร ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 13 รูปร่างและขนาดของสตาร์ชข้าวของประเทศอินเดียบางชนิด

พันธุ์ข้าว	ขนาดเม็ดสตาร์ช (ไมโครเมตร)	รูปร่างเม็ดสตาร์ช
PR-106	3.1-4.8	Hexagonal
PR-114	2.4-4.2	Polyhedral
PR-103	2.5-3.5	Polyhedral
PR-113	3.1-5.4	Polyhedral
IR-8	2.6-4.8	Polyhedral

ที่มา: Sodhi and Singh (2003)

Prince of Songkla University Pattani Campus

Jacquier *et al.* (2006) ศึกษาขนาดของเม็ดสตาร์ชที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายสตาร์ช โดยตัวอย่างเป็นสตาร์ชจากข้าวเหนียวและข้าวเจ้า (อะไมโลส 11 เปอร์เซ็นต์) ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Rheometer) ผลการทดลองพบว่าเม็ดสตาร์ชข้าวเหนียวดิบมีขนาด 6 ไมโครเมตร แต่เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สารละลาย เม็ดสตาร์ชจะมีการพองตัวมีขนาด 17 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 67 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับสตาร์ชข้าวเจ้า ที่มีการพองตัวแบบสองขั้นตอน โดยที่อุณหภูมิ 55-70 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชจาก 6 ไมโครเมตร พองตัวเป็น 10 ไมโครเมตร และที่อุณหภูมิมากกว่า 90 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชพองตัวมีขนาด 16 ไมโครเมตร

2.3.5 คุณภาพการหุงต้ม การรับประทาน และการแปรรูป (Cooking, eating and processing qualities)

2.3.5.1 คุณภาพการหุงต้ม

คุณภาพในการหุงต้ม (Cooking qualities) หมายถึง การยืดตัวของเมล็ดข้าว และการขยายปริมาตรของข้าวหลังจากการหุง การอุ้มน้ำของข้าวสุก และปริมาณของของแข็งที่ละลายในน้ำข้าวสุก (Juliano, 1985) โดยมีผลมาจากปัจจัยหลัก 3 ข้อ คือ ความแตกต่างของพันธุ์ข้าว อายุการเก็บรักษา และกระบวนการแปรรูป คุณภาพในการหุงต้ม มีผลมาจากวิธีการหุงต้มข้าว ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว สามารถตรวจวัดได้จากลักษณะปรากฏของข้าวหุงสุก หรือจากเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก การสำรวจวิธีการหุงต้มของประชากรทั่วโลก สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 วิธีคือ (Juliano, 1985) การหุงต้มข้าวในเตาอบ การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำน้อย การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำปานกลาง การหุงต้มข้าวด้วยปริมาณน้ำมาก การนึ่ง การนึ่งแบบเติมน้ำมัน และการหุงต้มข้าวในน้ำเติมน้ำมัน สำหรับการหุงต้มข้าวเมล็ดยาวในประเทศไทย เพื่อให้ได้วิธีที่ดีที่สุดตามสภาพข้าว เช่นข้าวที่มีอะไมโลสสูง เป็นข้าวชนิดร่วนแข็ง นิยมใส่น้ำมากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำกว่า ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะดูดน้ำไว้ เมื่อเมล็ดสุกแต่ยังน้ำเหลืออยู่ ต้องหุงต้มต่อไปอีกสักครู่จะช่วยให้เมล็ดข้าวดูดน้ำเพิ่มมากขึ้น ช่วยลดความแข็งกระด้างของข้าวสุกได้ ในทางตรงกันข้าม ข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ต้องระวังในการใช้ปริมาณน้ำ เพราะถ้าน้ำมากไป ทำให้ข้าวที่ได้เนื้อสัมผัสไม่ดี อย่างไรก็ตามการหุงต้มข้าวครั้งละมากๆ อัตราการระเหยของน้ำในระหว่างการหุงต้มจะลดลง จึงต้องลดปริมาณน้ำส่วนนี้ลง และควรปรับน้ำหนักข้าว และน้ำให้เป็นปริมาตร ดังนั้นวิธีการหุงต้มข้าวสุกจึงมีผลโดยตรงต่อคุณภาพการหุงต้มซึ่งเกี่ยวข้องกับพันธุ์ข้าว โดยพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน เช่น ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว จะต้องปรับปรุงวิธีการหุงต้มให้ได้ลักษณะที่ตรงตามผู้บริโภคต้องการ

Prince of Songkla University Pattani Campus

Sakai *et al*. (1996) ศึกษารูปร่างและลักษณะของเมล็ดข้าวที่เปลี่ยนไปหลังจากการหุง โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือข้าวพันธุ์ Nipponbare, Bluebonnet 50, Jhona 349 และ Arborro วิเคราะห์หาความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าว และอัตราการยืดตัว พบว่า ข้าวพันธุ์ Bluebonnet 50 มีความยาวของเมล็ดมากที่สุดคือ 7.75 มิลลิเมตร ส่วนข้าวพันธุ์ Nipponbare มีความยาวของเมล็ดน้อยที่สุดคือ 5.39 มิลลิเมตร ข้าวพันธุ์ Arborro มีความกว้างของเมล็ดมากสุดคือ 3.47 มิลลิเมตร และข้าวพันธุ์ Bluebonnet 50 มีความกว้างของเมล็ดน้อยสุดคือ 2.18 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวหลังการหุงพบว่า ข้าวพันธุ์ Bluebonnet 50 มีอัตราการยืดตัวมากสุดคือ 3.45

Yadav and Jindal (2007) ศึกษาผลของระยะเวลาในการหุงต้มต่อการดูดซับน้ำและการสูญเสียปริมาณของแข็งของข้าว โดยใช้ข้าวจำนวน 10 พันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน (16-29 เปอร์เซ็ตน์) คือ KDML 105, HKLG, HSPR, SPR 60, RD 7, RD 23, SPR 90, SPR 1, CNT 1 และ LPT 123 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหุงต้มขึ้น เมล็ดข้าวมีความชื้นเพิ่ม แต่การดูดซับน้ำลดลง เพราะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ชจะคลายตัวมากขึ้น ทำให้ในช่วงแรกที่มีการเพิ่มอุณหภูมิ เม็ดสตาร์ชมีการดูดซับน้ำเข้าไปมากขึ้น แต่เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่และเม็ดสตาร์ชแตกตัว อัตราการดูดซับน้ำจะน้อยลง และในระหว่างการหุงต้ม เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ เมล็ดข้าวจะมีการสูญเสียของแข็งที่ละลายได้มากขึ้น คืออะไมโลส และอะไมโลเพคตินสายสั้นๆ

2.3.5.2 คุณภาพการรับประทาน

คุณภาพการรับประทานคือคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสของข้าวเช่น ความแน่นเนื้อ (Firmness) ความแข็ง (Hardness) ความเหนียวติดกัน (Adhesiveness) ความยืดหยุ่น (Springiness) ความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ความเหนียวยึดติด (Gumminess) และกลิ่นรสที่ได้จากข้าวหุงสุก มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพการหุงต้ม เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสของข้าวที่ดี นอกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสแล้ว การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบต่างๆ เช่น เทกซ์เจอโรมิเตอร์ (Texturometer) เครื่องยูนิเวอร์เซล เทสติ้ง (Universal testing machine) และเครื่องเชียร์เพรส (Shear press) การทดสอบคุณภาพการรับประทานที่ตรงที่สุดคือ การทดสอบโดยประสาทสัมผัสของผู้ชิม ที่ผ่านการฝึกฝน 3-24 คน หรือผู้บริโภค 30-100 คน และจำนวนตัวอย่างที่ให้ชิมเวลาเดียวกันประมาณ 3-20 ตัวอย่าง ลักษณะของข้าวหุงสุกที่ประเมิน คือ เนื้อสัมผัส (ความนุ่ม หรือความแข็ง หรือกระด้าง ความเกาะตัวกัน หรือความเหนียวติดกัน) รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความขาวหรือสี การเตรียมตัวอย่างขึ้นอยู่กับลักษณะของเนื้อสัมผัสที่กลุ่มผู้ชิม หรือผู้บริโภคคุ้นเคย ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อเนื้อสัมผัสของ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ข้าวหุงสุก ได้แก่ พันธุ์ข้าว องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว และวิธีการหุงต้ม

Ong and Blanchard (1995a) ศึกษาผลของปริมาณและขนาดโมเลกุลอะไมโลส และ อะไมโลเพคตินในสตาร์ชต่อเนื้อสัมผัสของข้าวในกลุ่มของข้าวอินดิกาจำนวน 11 พันธุ์ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของข้าวแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน และมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกคือ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง จะมีเนื้อสัมผัสของข้าวแข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ นอกจากนี้พบว่าสายโมเลกุลชนิด B ที่มีความยาว DP เท่ากับ 92-98 มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวแข็ง เนื่องจากโลเลกุลที่มีสายยาวมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยากับ ไขมัน โปรตีน และโพลีแซคคาไรด์อื่นๆได้ง่าย ข้าวที่สุกจึงมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง

Perdon *et al.* (1999) ศึกษาผลกระทบจากการเกิดรีโทรกราเดชั่นของสตาร์ชในข้าวหุงสุกจากข้าวเมล็ดยาวที่มีอะไมโลสสูง (Cypress) และข้าวเมล็ดปานกลางที่มีอะไมโลสต่ำ (Bengal) ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ –13, 3, 20 และ 36 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 48 และ 96 ชั่วโมง เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อสัมผัสของข้าวสุก วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเป็นค่าความแข็งและความเหนียว กับการเกิดรีโทรกราเดชั่นของสตาร์ชด้วยเครื่อง DSC พบว่าการเก็บรักษาข้าวหุงสุกที่ –13 และ 3 องศาเซลเซียส เวลานานขึ้นทำให้ความแข็งของข้าวหุงสุกเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเหนียวลดลง ทำนองเดียวกันกับระดับของการเกิดรีโทรกราเดชั่นของสตาร์ชในข้าวทั้ง 2 พันธุ์เพิ่มขึ้น

Leelayuthsoonthorn and Thipayarat (2006) ศึกษาสภาวะการหุงต่อการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสและโครงสร้างของข้าวขาวดอกมะลิ105 โดยใช้สภาวะการหุงที่ 80, 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 0, 0.1, 0.3 และ 0.5 เมกกะปาสคาล ผลการทดลองพบว่าเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิสูงจะมีความนุ่มและมีความเหนียวมากกว่า แต่เมล็ดข้าวจะมีความขาวน้อยกว่าข้าวที่หุงที่อุณหภูมิต่ำ การศึกษาโครงสร้างของข้าวด้วยเครื่อง SEM พบว่าการหุงข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลต่อการทำลายโครงสร้างของเมล็ดข้าวมากขึ้น ซึ่งการหุงข้าวโดยใช้อุณหภูมิสูงๆ มีผลต่อการเพิ่มปริมาณรูพรุนของเมล็ดข้าว โดยเมล็ดข้าวจะมีลักษณะที่คล้ายฟองน้ำจะเกิดขึ้นในชั้นเอนโดเสปิร์มชั้นใน ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีลักษณะนุ่มมากขึ้น และเมล็ดข้าวจะมีผิวสัมผัสที่เรียบ

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.5.3 คุณภาพในการแปรรูป

คุณภาพในการแปรรูป หมายถึง คุณภาพของข้าวที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพันธุ์นั้นๆ สมบัติดังกล่าวได้แก่การเกิดเจลาทิไนเซชัน และการเกิดรีโทรกราเดชัน

2.3.5.3.1 การเกิดเจลาทิไนซ์

เจลาทิไนเซชัน เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารละลายสตาร์ชได้รับความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) คือพันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัว ดูดน้ำและพองตัว ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดและใสขึ้น ความหนืดที่เปลี่ยนไป สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย Brabender Visco Amylograph, Rapid Visco Analyzer และ Viscometer การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถผันกลับได้ สตาร์ชจะสูญเสียความสามารถในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ และสูญเสียความเป็นผลึก (Slade and Levine, 1988) อุณหภูมิที่สารละลายนี้เริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเจลาติไนซ์

การตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันของเมล็ดข้าว ทำได้ด้วยการวัดดารสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (กรมการข้าว, 2552) และด้วยวิธีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลาทิไนเซชันด้วยเครื่อง DSC ทำให้ทราบถึงอุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลง (Onset, T_o) ค่าอุณหภูมิสูงสุด (Peak, T_p) ค่าอุณหภูมิสุดท้าย (Endset, T_c) และค่าพลังงานเอลทาลปี (Enthalpy) ของการเกิดเจลาทิไนเซชัน ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน เช่น การจัดเรียงตัวและความแข็งแรงของโมเลกุลของสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินและปริมาณฟอสฟอรัสก็มีผลต่อการเกิดเจลาทิไนเซชันด้วย (Tester, 1997) แต่พบว่าขนาดโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ไม่มีผลต่อค่าพลังงานเอนทาลปีในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (Chiang and Yeh, 2002) อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งจะแตกต่างกับสตาร์ช โดยที่สตาร์ชมีค่า T_o, T_p, และ T_c ต่ำกว่าของแป้งเนื่องจากแป้งมีองค์ประกอบทางเคมีเช่น ไขมัน และโปรตีนสูงกว่าสตาร์ช แต่สตาร์ชมีค่าเอนทาลปีสูงกว่าของแป้ง

Normand and Marshall (1989) ศึกษาการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของเมล็ดข้าวและแป้งข้าวด้วย DSC พบว่าเมล็ดข้าวจะแสดงการเปลี่ยนแปลงการดูดความร้อนสองครั้ง โดยในครั้งแรกเกิดในช่วงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส พีคที่ได้จะเล็กและแคบ ช่วงที่สองเกิดที่ 80-90 องศาเซลเซียส พีคที่ได้จะใหญ่กว่า แต่แป้งข้าวจะดูดความร้อนเพียงครั้งเดียวเนื่องจากโครงสร้างไม่สมบูรณ์ เพราะโครงสร้างบางส่วนของแป้งข้าว เช่น ผนังเซลล์ถูกทำลายในระหว่างการบดแห้ง ดังนั้นค่าเอนทาลปีในการเกิดเจลาทิไนเซชั่นของเมล็ดข้าวสูงกว่าแป้งข้าวประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์

Li and Yeh (2001) ศึกษาการพองตัวของสตาร์ชจากธัญพืช จากรากและหัวในช่วงอุณหภูมิจาก 55 –95 องศาเซลเซียส พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีการพองตัวสูงสุด สตาร์ชข้าวโพดที่มีอะไม โลสสูงมีการพองตัวต่ำสุด และพบว่าสตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชสาคูและสตาร์ชข้าวโพดเหนียวมีการพองตัวสูงถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเริ่มลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น

Noosuk *et al.* (2003) ศึกษากำลังในการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชข้าวไทยพันธุ์ กข6 พันธุ์หอมมะลิ และพันธุ์สุพรรณบุรี1 พบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (กข6) มีกำลังในการพองตัวสูงที่สุด (33.54-34.92) และมีความสามารถในการละลายต่ำ (6.00-8.50 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากข้าวพันธุ์อื่น กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหล่านั้นลดลงแบบเชิงเส้นเมื่อมีปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการละลายมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ อะไมโลสลดลง การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเป็นผลเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย จากนั้นโมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ การมีปริมาณอะไมโลสในปริมาณมาก ช่วยเสริมให้อันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระในสายโมเลกุลของสตาร์ชมีค่าลดลงและทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชต่ำลง แต่สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงก็จะมีปริมาณอะไมโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ชสูงด้วย

รุ่งนภา และคณะ (2546) ศึกษาการเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชข้าวไทยจำนวน 16 พันธุ์ คือ ขาวดอกมะลิ105 ปทุมธานี1 ชัยนาท1 สุพรรณบุรี90 เหลืองประทิว123 กข23 กข6 เหนียวสันป่าตอง พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 พิษณุโลก2 เฉี้ยงพัทลุง สังข์หยด ขาวห้าร้อย กข15 และเจ๊กเชย ด้วยเครื่อง DSC ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชข้าวให้ผลสอดคล้องกับอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ที่ตรวจสอบด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะสูงกว่าในสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เพราะโครงสร้างของอะไมโลสในสตาร์ชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเกลียวม้วน ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดเจลาทิไนเซชันที่อุณหภูมิสูงกว่า

ดังนั้นสตาร์ชข้าวแต่ละชนิดจึงมีเจลาทิไนเซชันต่างกัน ดังตารางที่ 14 จะเห็นว่าข้าวเหนียวมี T_o ที่ต่ำกว่าข้าวเจ้าคืออยู่ในช่วง 49.00-67.29 องศาเซลเซียส ในขณะที่ข้าวเจ้ามี T_o อยู่ในช่วง 66.00-66.84 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันมีความสำคัญต่อการแปรรูปข้าว

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 14 อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันของสตาร์ชข้าวบางชนิด

พันธุ์ข้าว		T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)	อ้างอิง
Waxy rice	RD 6	60.74	67.75	74.32	14.15	Lumdubwong *et al.* (2005)
	RD 8	62.43	67.75	74.62	14.40	Lumdubwong *et al.* (2005)
	HY 71	61.30	66.58	73.77	16.50	Lumdubwong *et al.* (2005)
	SMJ	61.58	67.62	74.26	16.53	Lumdubwong *et al.* (2005)
	PR 103	67.29	71.94	78.04	11.88	Sodhi and Singh (2003)
	IR 65	49.00	67.60	84.70	15.00	Sodhi and Singh (2003)
	IR 29	52.00	68.50	83.70	13.80	Tester and Morrisson (1990)
	Malagkit Sungsong	51.00	67.60	85.3	14.40	Tester and Morrisson (1990)
	Inilang-ilang	65.00	76.70	90.50	17.20	Tester and Morrisson (1990)
	Perurutong NBA	64.00	77.20	93.50	18.40	Tester and Morrisson (1990)
	Nathasiq	64.70	78.80	93.30	17.80	Tester and Morrisson (1990)
Non waxy rice	PR 114	66.38	70.09	74.75	8.97	Sodhi and Singh (2003)
	IR 8	66.33	69.74	74.08	8.55	Sodhi and Singh (2003)
	PR 113	66.00	69.75	75.08	9.49	Sodhi and Singh (2003)
	PR 106	66.84	70.07	74.27	8.16	Sodhi and Singh (2003)

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.3.5.3.2 การเกิดรีโทรกราเดชัน

การเกิดรีโทรกราเดชั่นหรือการคืนตัว เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุลอะไมโลสหลังจากผ่านการเกิดเจลาทิไนซ์แล้ว สายโมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่และยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (Zhou *et al*., 2002) เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือ การคืนตัว หรือ Setback เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า ซินเนอรีซีส (Syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของสตาร์ชเมื่อลดอุณหภูมิของสารละลายลงอย่างช้าๆ จะเกิดตะกอน แต่ถ้าลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดเจล

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน ได้แก่ ปริมาณอะไมโลส ปริมาณน้ำและอุณหภูมิ โดยปริมาณและขนาดอะไมโลสและอะไมโลเพคติน มีความสำคัญต่อการคืนตัวของสตาร์ช สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีอะไมโลสต่ำ เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงเกิดการเชื่อมต่อกันได้ง่ายกว่า จนเป็นโครงสร้างที่หนาแน่นเป็นเจลหรือตะกอน (สุนันทา, 2549) ปริมาณน้ำในเจลของสตาร์ชมีความสำคัญมากต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งการเกิด ในเจลของ สตาร์ชจะเกิดขึ้นได้ในเจลที่ประกอบด้วยสตาร์ชระหว่าง 10-80 เปอร์เซ็นต์ และเกิดสูงสุดในเจลที่ประกอบด้วยสตาร์ช 50-55 เปอร์เซ็นต์ (Eliasson and Gudmundsson, 1996)

Kim *et al*. (1997) ศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นของแป้งต่างกันคือ 10 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1, 3 และ 6 วัน ด้วยเครื่อง DSC พบว่า แป้งข้าวที่มีความเข้มข้นสูง (50 เปอร์เซ็นต์) มีค่าการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าแป้งที่มีความเข้มข้นต่ำ (10 เปอร์เซ็นต์) และแป้งข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่า และเร็วกว่าแป้งข้าวที่มีปริมาณ อะมิโลสต่ำ ซึ่งมีความสัมพันธุ์กับคุณภาพในการรับประทานของข้าว เนื่องจากข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ และยังมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการแปรรูปอีกด้วย เพราะสตาร์ชที่มีอะไมโลสสูง จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสามารถในการคืนตัวมากขึ้น ทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง

Vandeputte *et al.* (2003) ศึกษาผลของโครงสร้างของอะไมโลเพคตินต่อการเกิดรีโทรกราเดชันและเนื้อสัมผัสของเจลจากสตาร์ชข้าว ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยข้าวเหนียวที่มี T_p ต่ำจำนวน 5 พันธุ์ ข้าวเจ้าที่มี T_p ต่ำ 3 พันธุ์ ข้าวเจ้าที่มี T_p ปานกลาง 4 พันธุ์ และข้าวเจ้าที่มี T_p สูง

Prince of Songkla University Pattani Campus

จำนวน 3 พันธุ์ ตรวจระดับการเกิดรีโทรกราเดชันด้วย DSC และเนื้อสัมผัสของเจล (ตัวอย่างเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์) ผลการทดลองพบว่าการเกิดรีโทรกราเดชันและเนื้อสัมผัสของเจลมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอะไมโลสบริสุทธิ์ (AAM) อะไมโลสอิสระ (FAM) อะไมโลสไลปิดคอมเพล็กซ์ (LAM) และความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคติน ตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ (Ambient) จะมีการเกิดรีโทรกราเดชันที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณ AAM และ FAM แต่การเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบว่าการเกิดรีโทรกราเดชันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ AAM และ FAM นอกจากนี้ปริมาณของ LAM มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเกิดรีโทรกราเดชัน เนื่องจากการเกิดผลึกใหม่ร่วมกันระหว่างไขมันกับอะไมโลส สตาร์ชข้าวที่มีองค์ประกอบของสายอะไมโลเพคตินในช่วง DP 6-9 และ DP>25 จะส่งผลให้การเกิดรีโทรกราเดชันต่ำลง ในขณะที่สายของอะไมโลเพคติน เท่ากับ DP 12-22 จะสนับสนุนการเกิดรีโทรกราเดชัน ผลการศึกษาเนื้อสัมผัสของเจลพบว่า ความแน่นเนื้อและความแข็งของเจลมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความยืดหยุ่นลดลงเมื่อมีปริมาณของ AAM และ FAM เพิ่มขึ้น และขนาดของอะไมโลเพคตินไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของเจล

2.3.6 ความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่มีต่อคุณภาพในการหุงต้ม การแปรรูป และการรับประทาน

Ong and Blanshard (1995b) ศึกษาผลของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยวิเคราะห์คุณสมบัติของเจลด้วยเครื่อง RVA อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันด้วยเครื่อง DSC ปริมาณอะไมโลส ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ระหว่างการหุง และความขุ่นของเมล็ดข้าวสุก ผลการทดลองพบว่าปริมาณอะไมโลสที่ละลายออกมาระหว่างการหุงต้มมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยปริมาณอะไมโลสที่ละลายออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลสในข้าวดิบ อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของข้าสุก แต่มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของสตาร์ช ในระหว่างการหุงต้ม พบว่าโมเลกุลสายยาวของอะไมโลเพคติน (DP 92-98) จะไม่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ช ดังนั้นในระหว่างการหุงต้ม หากมีการละลายของอะไมโลสออกมาจากเม็ดสตาร์ชมาก ข้าวจะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น

Fredriksson *et al.* (1998) ศึกษาคุณสมบัติด้านเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ชจากข้าวสาลี ข้าวไรน์ ข้าวบาร์เลย์ (ไม่มีอะไมโลส อะไมโลสสูง และอะไมโลสปานกลาง) ข้าวโพดอะไมโลสสูง ถั่ว และมันฝรั่ง (อะไมโลสสูง และอะไมโลสปานกลาง) ศึกษาโครงสร้างอะไมโลเพคตินด้วย Hight Performance Size Exclusion Chromatography และศึกษาผลของอะไมโลเพคตินที่มีต่อการเกิดเจลาทิไนส์เซชั่นและรีโทรกราเดชั่น ด้วย DSC ผลการทดลองพบว่าสตาร์ชของมันฝรั่งมีการเกิดรีโทรกราเดชั่นได้สูง และพบว่าสตาร์ชที่ได้จากธัญพืชมีการเกิดรีโทรกราเดชั่นต่ำ

Prince of Songkla University Pattani Campus

นอกจากนี้ค่า Degree of polymerization ของอะไมโลสมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (Tp และTc) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับการเกิดเจลาทิไนเซชั่น (To และ Tp) ปริมาณอะไมโลสสูงมีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชั่นสูง

Martin and Fitzgerald (2002) ศึกษาผลของโปรตีนในเมล็ดข้าวต่อคุณภาพในการแปรรูป ตัวอย่างข้าวจำนวน 6 ชนิดคือ Tarra, Shimozi mochi, Kochihikari, Amaroo, Doongara และ Basmati โดยเตรียมตัวอย่างอยู่ในรูปของแป้งข้าว และแป้งข้าวที่มีการสกัดเอาโปรตีนออกด้วยเอนไซม์ โปรติเอส ตรวจสอบลักษณะของเจลด้วย RVA ผลการทดลองพบว่าโปรตีนมีผลต่อค่าความหนืด และการดูดซึมน้ำ เนื่องจากโปรตีนสร้างพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้แป้งไม่สามารถดูดซับน้ำได้ เมื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจน พบว่าเจลมีค่าความหนืดสูงสุดลดลง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่าโปรตีนมีการสร้างพันธะไดซัลไฟด์มากขึ้น ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลงมากกว่าเดิม

Noosuk *et al.* (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของสตาร์ชและสมบัติของสตาร์ชข้าวไทย 3 กลุ่มที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน คือ สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ 1-3 เปอร์เซ็นต์ (สตาร์ชข้าวพันธุ์ กข6 และสตาร์ชข้าวเหนียวทางการค้า) กลุ่มที่สองคือสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง 14-15 เปอร์เซ็นต์ (ข้าวดอกมะลิ 105) และสุดท้ายคือสตาร์ชที่มีอะไม โลสสูง 21-23 เปอร์เซ็นต์ (สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และสตาร์ชข้าวเจ้าทางการค้า) โดยการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ ผลการศึกษาพบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำและปานกลางมีสัดส่วนของสายอะไมโลเพคตินเท่ากับ 0.25 ส่วนสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงมีสัดส่วนของสายอะไมโลเพคตินเท่ากับ 0.19 ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงหน้าที่ ได้แก่ กำลังในการพองตัว ดัชนีการละลายน้ำ ลักษณะการเกิดแป้งเปียก intrinsic viscosity, consistency index และ storage modulus โดยพบว่าเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นทำให้ดัชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น setback viscosity เพิ่มขึ้น และ storage modulus เพิ่มขึ้น แต่กำลังในการพองตัว และ consistency index ลดลง และพบว่า breakdown viscosity และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ความหนืดเพิ่มขึ้นและการเกิดเจลาทิไนซ์ของสตาร์ข้าวมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของสายอะไมโล เพคติน โดยสตาร์ชมีสัดส่วนของสายอะไมโลเพคตินเท่ากับ 0.19 จะให้ค่า breakdown viscosity ต่ำ แต่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ความหนืดเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์สูงกว่าสตาร์ชแบบมีสัดส่วนของสายอะไมโลเพคตินเท่ากับ 0.25 การศึกษาเจลสตาร์ชที่ความเข้มข้น 6-15 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าเจลสตาร์ชทั้งหมดมีค่า storage modulus สูงกว่าค่า loss modulus แสดงว่ามีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างองค์ประกอบหรือระหว่างเฟสในสารละลายสตาร์ช เจลของสารละลายที่มี

Prince of Songkla University Pattani Campus

ปริมาณอะไมโลสสูงและอะไมโลสปานกลางมีลักษณะคล้ายยาง เจลของสารละลายที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะเปราะ พบว่าเจลของสารละลายที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเท่านั้นที่มีค่า storage modulus เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง เมื่อศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึก ด้วยเครื่อง XRD พบว่าการเกิดรีโทรกราเดชั่นของอะไมโลเพคตินจะเกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีอะไมโลสสูง และเกิดน้อยในตัวอย่างที่มีอะไมโลสต่ำ สามารถบอกได้ว่าการเกิดรีโทรกราเดชั่นของอะไมโลเพคติน ถูกส่งเสริมด้วยการเกิดรีโทรกราเดชั่นของอะไมโลส โครงสร้างของอะไมโลเพคตินมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีตัวอย่างที่ไม่มีการเกิดรีโทรกราเดชั่นระหว่างการศึกษาคือ ตัวอย่างที่มีอะไมโลเพคติน แบบ DP 3-10 สูง และแบบ DP 11-22 ต่ำ

Lamberts *et al.* (2007) ศึกษาผลของกระบวนการขัดสีต่อคุณภาพของข้าวพันธุ์ Puntal ตัวอย่างข้าวได้ขัดสีโดยมีการควบคุมระยะเวลาในการขัดสี 0-100 วินาที และระดับในการขัดสี 0-25 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าที่ระดับการขัดสีต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวถูกขัดเอารำออกไป ที่ระดับการขัดสี 9-15 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวถูกขัดเอารำ และเอนโดเสปิร์มชั้นนอกออกไป และที่ระดับการขัดสี 15-15 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวถูกขัดเอารำ เอนโดเสปิร์มชั้นนอก และชั้นกลางออกไป ผลของการวิเคราะห์สีของเมล็ดข้าวด้วยเครื่อง Hunter Lab พบว่ารำของข้าวมีค่าสีเหลืองและสีแดงมากกว่าในส่วนของเอนโดเสปิร์ม และค่าสีเหล่านี้จะลดลงเมื่อมีระดับการขัดสีเพิ่มขึ้น ที่ระดับการขัดสีต่ำกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวถูกขัดเอารำและเอนโดเสปิร์มชั้นนอกออกไปแล้ว เมล็ดข้าวยังคงมีสีเหลืองและสีแดงอยู่ แสดงว่ารงควัตถุเหล่านี้ยังคงมีอยู่ในเอนโดเสปิร์มชั้นกลาง ผลการวิเคราะห์คุณภาพในการหุงต้มพบว่าเมื่อเพิ่มระดับการขัดสี เมล็ดข้าวมีการดูดซับน้ำเข้าไปภายในเมล็ดมากมีผลต่อการกระจายตัวของรงควัตถุเข้าไปภายในเมล็ด และบางส่วนก็ละลายออกมากับน้ำในระหว่างการหุงต้ม และพบว่าหลังจากการหุงรงควัตถุสีแดงมีความสามารถในการแพร่เข้าไปภายในเมล็ดมากกว่าสีเหลือง ทำให้ข้าวหุงสุกมีสีแดงอ่อนๆ ผลการวิเคราะห์โปรตีนพบว่า เอนโดเสปิร์มชั้นนอกมีปริมาณโปรตีนสูงสุด และยังพบปริมาณแร่ธาตุในส่วนของรำมากถึง 61 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าสตาร์ชส่วนมากอยู่ในเอนโดเสปิร์มชั้นใน ดังนั้นการขัดสีข้าวจึงไม่มีผลต่อปริมาณสตาร์ช

Lumdubwong *et al.* (2005) ศึกษาโครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชจากข้าวเหนียวไทยจำนวน 4 พันธุ์คือ RD 6, RD 8, HY 71 และ SMJ ตัวอย่างนำไปวิเคราะห์ทางเคมี ปริมาณ อะไมโลส อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันด้วย DSC และคุณสมบัติของเจลด้วย RVA ผลการทดลองพบว่าสตาร์ข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลสในช่วง 1.0-1.7 เปอร์เซ็นต์ และมี degree of polymerization ของอะไมโลเพคติน คือ F_1 (DP 6-12), F_2 (DP 13-24), F_3 (DP 25-36) และ F_4 (DP มากกว่า 37) สตาร์ชข้าวเหนียวมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันต่ำคือ 66.6-67.8 องศา

เซลเซียส เจลของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์ HY 71 มีความใสมากที่สุด สตาร์ชจากข้าว RD 8 มีค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดต่ำสุด สูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น (350 และ 183 RVU ตามลำดับ) แต่มีค่า setback ต่ำ สตาร์ชข้าว SMJ มีค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดน้อยที่สุด (268 และ 122 RVU ตามลำดับ) แต่มีค่า setback สูง ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่า RD 6 มีปริมาณโปรตีนสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าอะไมโลเพคตินชนิด F_3 (DP 25-36) มีความสัมพันธ์กับความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุด แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า setback

Chang and Lin (2007) ศึกษาผลของขนาดโมเลกุลและโครงสร้างของอะไมโลเพคตินที่มีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชั่นของข้าวเหนียวและข้าวโพดเหนียว โดยนำสตาร์ชที่ได้จากข้าวเหนียวและข้าวโพดเหนียวไปสกัดด้วยเมทานอลและกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.36 เปอร์เซ็นต์ ที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 1-15 วัน เพื่อให้สตาร์ชมีขนาดโมเลกุลต่างๆกัน แล้วศึกษาอัตราการเกิดรีโทรกราเดชั่นของสตาร์ชที่ผ่านการเกิดเจลาทิไนซ์แล้วด้วย DSC นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ร่วมกับผลของขนาดโมเลกุลและรูปแบบโครงสร้างของอะไมโลเพคติน พบว่าอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชข้าวเหนียวมากขึ้นเมื่อมีการลดน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลเพคติน และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ Degree of polymerization ของอะไมโลเพคติน และอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันยังขึ้นกับรูปแบบโครงสร้างและความยาวของสายอะไมโลเพคตินด้วย คืออะไมโลเพคตินที่มีสายยาวมีโอกาสเกิดรีโทรกราเดชั่นง่ายกว่าสายสั้นๆ

Prince of Songkla University Pattani Campus