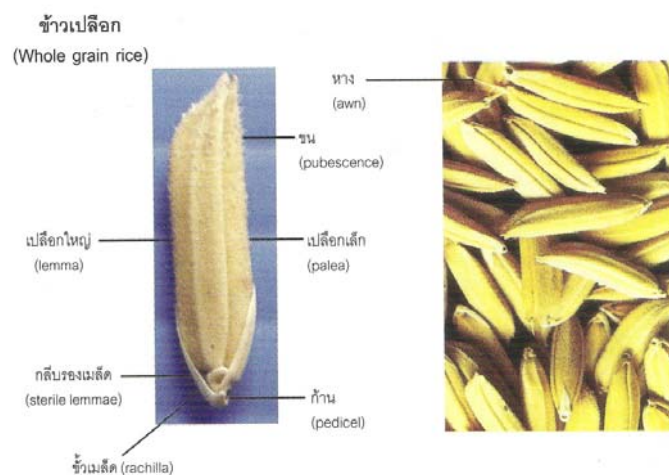


บทที่ 2

ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวและโครงสร้างของข้าว

มนุษย์แตกต่างจากสัตว์โลกอื่นๆ ที่มีความสามารถในการเรียนรู้ มีวิวัฒนาการทางปัญญาในการคิดค้นสร้างสรรค์ พัฒนาวิถีชีวิต และความเป็นอยู่ตามสภาวะแวดล้อมของถิ่นที่อยู่อาศัย มีการเปลี่ยนแปลงทางสังคม และวัฒนธรรมเป็นลำดับจากยุคหินเก่ามาสู่ยุคหินใหม่ โดยการเปลี่ยนแปลงจากการแสวงหาอาหารตามธรรมชาติ มาสู่ระบบการผลิตอาหาร และอาหารหลักชนิดหนึ่งก็คือ ข้าว ซึ่งจากการค้นคว้าของนักวิชาการด้านโบราณคดี และมนุษยวิทยาให้ความเห็นว่าแหล่งเกิดของข้าวตามธรรมชาติอยู่ในแถบชายเทือกเขาหิมาลัยทางตะวันออกเฉียงใต้ของจีน และตอนเหนือของประเทศเวียดนาม ต่อมามนุษย์ได้เริ่มปลูกข้าวและแพร่กระจายพื้นที่ปลูกทั่วไป รวมทั้งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อันเป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของประชาชนชาวไทยในปัจจุบัน ข้าว เป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียกเมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain, หรือ rice seed) ซึ่งทางพฤกษศาสตร์จะหมายถึง ผล (fruit) ที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (single fruit) เกิดจากรังไข่อันเดี่ยวชนิดลอยตัว (superior ovary) ของดอกเดี่ยวในแต่ละดอกย่อย ที่เกิดรวมกันอยู่เป็นช่อดอก ผลเดี่ยวนี้อาจติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่ หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) ซึ่งเมื่อผลสุกหรือแก่จะเป็นผลแห้ง (dry fruit) ที่ไม่แตก (indehiscent fruit) เรียกว่า เมล็ด (caryopsis grain) ที่มีเยื่อหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ testa) เชื่อมรวมกันอย่างแน่นหนาโดยตลอดผลหรือเมล็ดข้าวจะมีลักษณะแตกต่างตามพันธุ์ในด้านขนาด รูปร่าง สี การมีหาง (awn) หรือไม่มีหาง และขน (pubescence) หรือไม่มีขนบนเปลือกแข็ง (hull หรือ husk) (จำรัส, 2534; Juliano, 1979)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: พัทธี (2552)

2.1.1 ข้าวเปลือก ประกอบด้วย

- 1) เปลือกใหญ่ เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้อง (dorsal side) มีขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มีก็

ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะเป็นรอยเส้น (nerves) ตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้ง 2 ด้าน ในลักษณะขบอยู่ข้างบนอย่างแน่นสนิทประมาณ 2/3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด

2) เปลือกเล็ก เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง (ventral side) ที่มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ ประมาณ 1/3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาว ทำให้เปลือกทั้ง 2 ติดกันสนิท บนผิวเปลือกเล็กจะเป็นรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น รอยเส้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็ก อาจทำให้ข้าวกลิ้งเป็นรอยเส้นตามไปด้วยในข้าวบางพันธุ์ ถึงแม้จะผ่านกระบวนการขัดขาว (polishing) แล้วยังอาจมีรอยเส้นค้างอยู่บนข้าวสาร (milled rice) เรียกว่า สาแทรกข้าว

3) ขน จะขึ้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ อาจมีบางพันธุ์ที่ไม่มีขนแต่เป็นส่วนน้อย ขนนี้คือส่วนของเซลล์ผิวนอก (epidermal cell) ที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ลดการระเหยของน้ำ ป้องกันอันตรายต่อเมล็ดจากสภาวะภายนอกเมล็ด และเพื่อการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยช่วยให้เมล็ดติดไปกับคน สัตว์ หรือสิ่งของต่างๆ ที่มีโอกาสสัมผัสเมล็ดจนทำให้เมล็ดหลุดติดไปด้วย

4) หาง เป็นส่วนปลายของเปลือกใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งยอดดอก (apiculus) ในบางพันธุ์อาจสั้นหรือยาว หรือไม่มี ทำหน้าที่ในการกระจายพันธุ์ คล้ายขน

5) ขั้วเมล็ดเป็นก้านสั้นอยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

6) กลีบรองเมล็ด เป็นกลีบเล็ก 2 กลีบ อยู่ตรงข้ามกัน ใต้สุดของเมล็ด

2.1.2 ข้าวกล้องหรือเนื้อผล ประกอบด้วย

1) เยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอก มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน (μ) ห่อหุ้มผลอยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เส้นใย 6 ชั้น มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลแดง น้ำตาลม่วง น้ำตาลจนเกือบดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสำคัญ ในชั้นเยื่อหุ้มผลแบ่งย่อยได้เป็น 3 ชั้น คือ

- เอพิคาร์พ หรือ เอกโซคาร์พ (epicarp หรือ exocarp) เป็นผิวหรือผนังหรือเปลือกที่อยู่นอกสุด มีลักษณะเรียบ เหนียว และเป็นมัน ประกอบด้วยเซลล์ชั้นเดียว

- เมโซคาร์พ หรือ ไฮพอเดิร์ม (mesocarp หรือ hypoderm) เป็นผนังผลชั้นกลาง

- เอนโดคาร์พ (endocarp) เป็นเยื่อชั้นใน

2) เยื่อหุ้มเมล็ด อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วย เซลล์ 2 ชั้น รูปยาวเรียงตามขวาง และมีผนังบางกัน (หนาประมาณ 0.5 ไมครอน) ภายในเซลล์มีไขมันและสารสีเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล ทำให้ข้าวกล้องมีสี

3) นิวเคลลัส (nucellus) เป็นเซลล์ชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่พื้นที่ระหว่างนิวเคลลัสกับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่น จึงแยกติดกันได้ง่าย มีหนาประมาณ 0.8-2.5 ไมครอน

4) เยื่อชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเยื่อถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของผนังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนาแน่นจะ

แตกต่างกันไปตามพันธุ์ข้าว เซลล์แอลิวโรนจะไม่เชื่อมติดกับคัพภะในส่วนของใบเลี้ยงด้านท้องของเมล็ดลงมาถึงจุดเชื่อมระหว่างใบเลี้ยงกับเยื่อหุ้มรากอ่อน ซึ่งอยู่ข้างในของเมล็ดจึงแบ่งลักษณะของเซลล์แอลิวโรนเป็น 2 ลักษณะ คือ เซลล์ส่วนที่ห่อหุ้มรอบเนื้อของเมล็ดจะมีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ และเซลล์แอลิวโรนที่ห่อหุ้มคัพภะจะบาง

- คัพภะ หรือ เชื้อชีวิต จะอยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ ส่วนท้องของเมล็ดมีส่วนประกอบเป็นรากอ่อน, ท่อน้ำอาหาร และใบเลี้ยง ซึ่งเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อนจึงอุดมไปด้วยโปรตีน และไขมันในส่วนต่างๆ

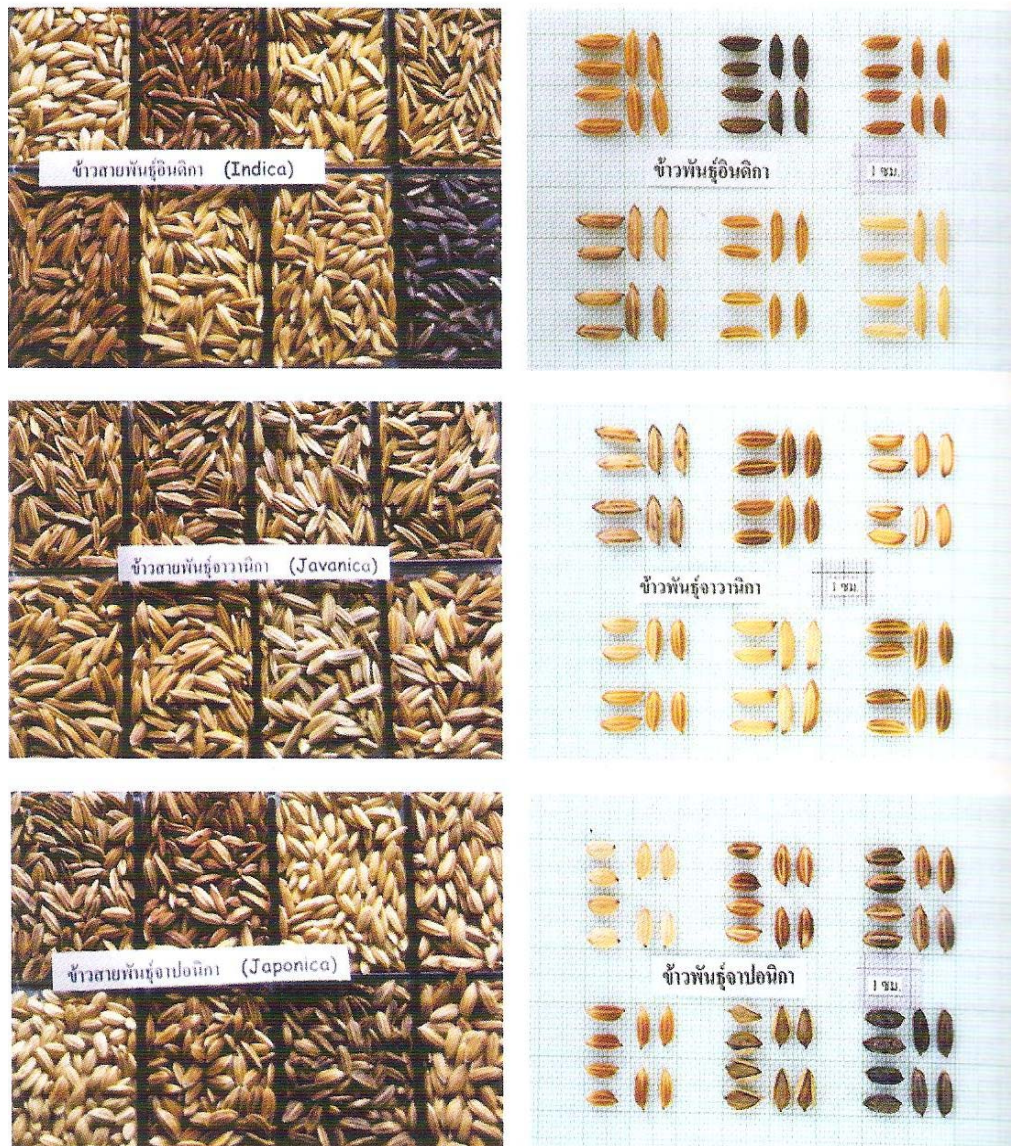
- เนื้อเมล็ด หรือ เนื้อข้าว (endosperm) มีมากที่สุดใเมล็ดข้าว แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนชั้นชั้นแอลิวโรนเป็นเซลล์ 2 ชั้น อยู่ถัดจากชั้นแอลิวโรนและส่วนที่เป็นสตาร์ชในเนื้อของเมล็ดในชั้นชั้นแอลิวโรนจะมีกลุ่มโปรตีนอยู่ 3 ลักษณะ คือ ลักษณะกลมใหญ่ (ขนาด 1-2 ไมครอน) กลมเล็ก (ขนาด 0.5-0.75 ไมครอน) และเป็นผลึกติดกันขนาด 2-3.5 ไมครอน แต่ในส่วนเนื้อของเมล็ดจะมีกลุ่มโปรตีนลักษณะกลมใหญ่เท่านั้น แทรกอยู่ในระหว่างเม็ดสตาร์ชมีขนาด 3-9 ไมครอน ที่มีอยู่มากอัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ช อยู่ในเซลล์พาเรนไคมา ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างรี หรือสี่เหลี่ยม เข้าสู่ใจกลางเมล็ด โดยด้านนอกของเมล็ดจะรีและยาวมากกว่าด้านในของเมล็ด (Sanders, 1996)

2.2 คุณลักษณะของข้าว

2.2.1 คุณลักษณะทางกายภาพ กำหนดจากคุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่มองเห็น สัมผัส และชั่ง ตวง วัด ได้ดังนี้

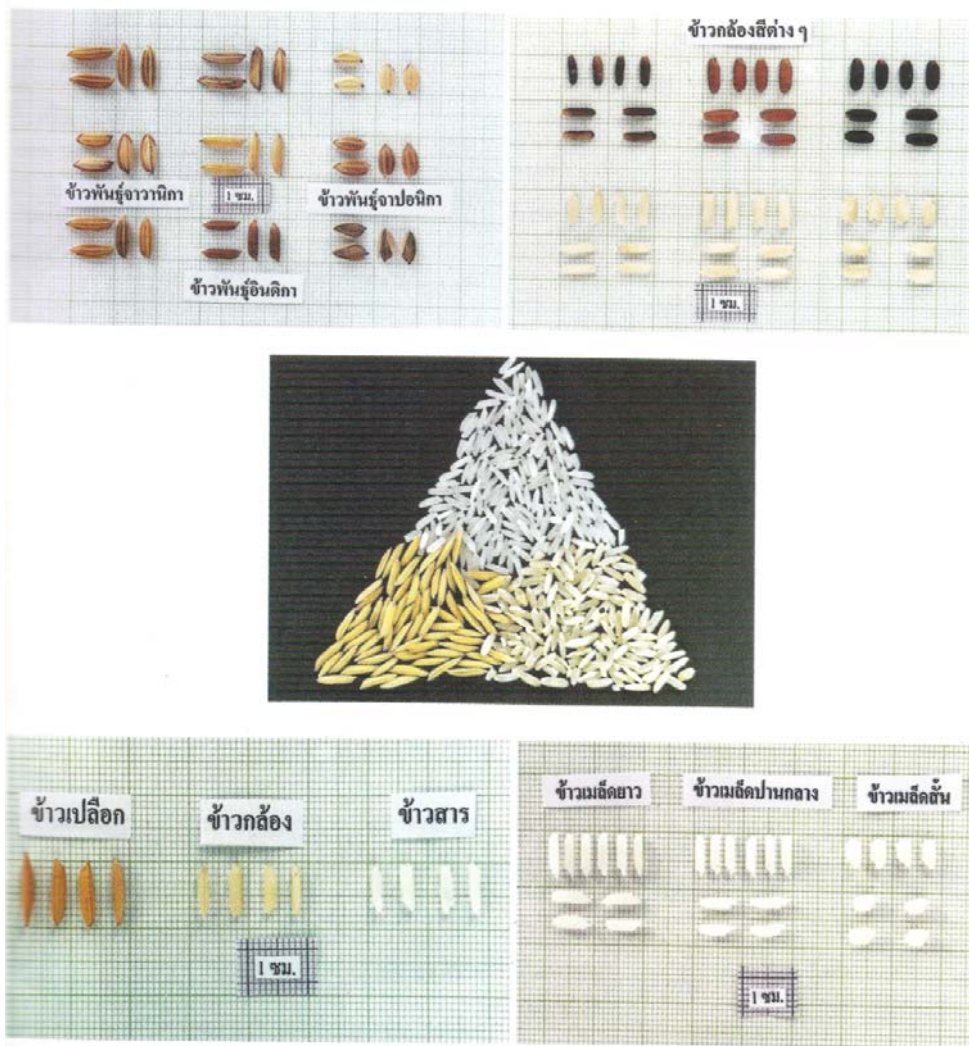
- 1) สีเปลือกของข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าว มีหลายสีตั้งแต่สีขาว ฟางน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม น้ำตาลทอง น้ำตาลเทา กระน้ำตาล น้ำตาลแดง ม่วงหรือดำ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.2 สำหรับพันธุ์ข้าวของประเทศไทยมีสีเปลือกส่วนใหญ่เป็นสีขาว หรือสีฟาง และสีน้ำตาล ส่วนสีน้ำตาลแดง สีเขียวแกมเทาและดำมีเป็นส่วนน้อย พันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีควรมีเปลือกสีอ่อน(สีขาวหรือน้ำตาล) เพราะเปลือกสีเข้ม เมื่อนำไปสีจะได้เปอร์เซ็นต์กลบสูง

- 2) สีข้าวกล้อง เป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นเดียวกับสีเปลือกของข้าวเปลือกที่ควบคุมโดยยีนส์ (gene) หลายคู่ สร้างสีประเภทแอนโทไซยานิน (anthocyanin) อยู่ในส่วนเยื่อหุ้มผล (pericarp) มีสีต่างๆ กัน เช่น ขาว แดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงถึงม่วงเกือบดำ ดังรูปที่ 2.3 และบางพันธุ์เป็นพันธุ์เฉพาะที่ผู้บริโภคนิยมเป็นข้าวพิเศษ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวกล้องสีปกติ ซึ่งประเทศไทยพบพันธุ์ข้าวที่ให้สีข้าวกล้องจัดกลุ่มได้ 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ(ม่วงดำ) คุณภาพข้าวกล้องที่เกี่ยวกับสีจึงขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้บริโภค ซึ่งถ้าผู้บริโภคชอบบริโภคข้าวขัดขาว ทำให้ข้าวกล้องต้องมีสีขาวด้วยเพื่อให้ไม่ต้องใช้แรงในการขัดมาก และข้าวไม่หักมาก แต่ถ้าผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวกล้อง โดยเฉพาะข้าวกล้องสีเข้มเพราะให้คุณค่าทางอาหารมากกว่าข้าวขัดขาวก็ไม่ต้องขัดสีของข้าวกล้องออกไป (เครือวัลย์, 2536; วิไล, 2545)

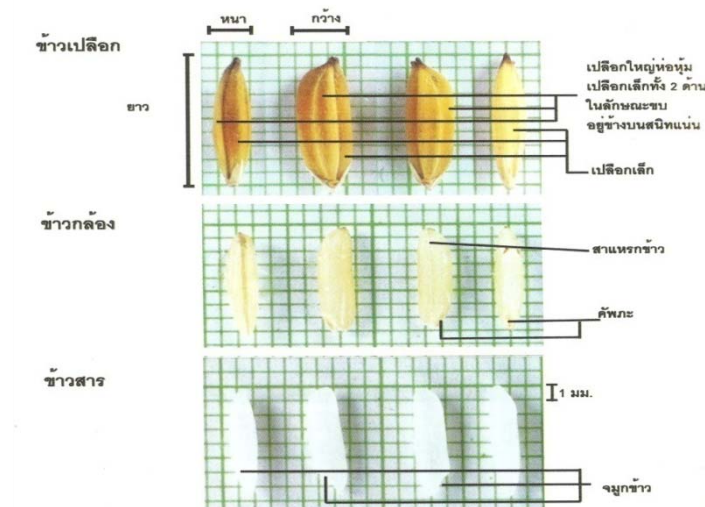


รูปที่ 2.2 สี ขนาด และรูปร่างของข้าวเปลือก 3 สายพันธุ์
ที่มา: เครือวัลย์ (2536)

3) ขนาดและรูปร่างเมล็ด เป็นลักษณะประจำพันธุ์ เพื่อจำแนกพันธุ์ข้าวและใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขายข้าวของประเทศไทยโดยวัดขนาดเป็นความยาว วัดรูปร่างจากอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง และการวัดความหนาของเมล็ดดังรูปที่ 2.4 เครือวัลย์ (2536) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวเปลือก รูปร่างของเมล็ดข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ เรียว, ปานกลาง และป้อม (ตารางที่ 2.1) ซึ่งผลที่ได้จะบอกถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของการขัดสีข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสารแต่ละชนิด (วีระชัย; 2551)



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบสีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารจากข้าวสายพันธุ์ต่างๆ
ที่มา: เครือวัลย์ (2536)



รูปที่ 2.4 ขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว
ที่มา: เครือวัลย์ (2536)

ตารางที่ 2.1 รูปร่างของเมล็ดข้าว

รูปร่าง	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร
เรียวยาว	3.4 หรือ >	3.1 หรือ >	3.0 หรือ >
ปานกลาง	2.3 - 3.3	2.1 - 3.0	2.0 – 2.9
ป้อม	2.2 หรือ <	2.0 หรือ <	1.9 หรือ <

ที่มา: ศรีศักร, (2531)

2.2.2 คุณลักษณะทางเคมี คุณค่าทางอาหารของข้าวนอกจากจะให้แป้ง (starch) หรือคาร์โบไฮเดรตในปริมาณร้อยละ 70 ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญแล้วเมล็ดข้าวยังประกอบด้วยอาหารหมู่อื่นๆ ได้แก่

1) โปรตีน (protein) จะมีอยู่หนาแน่นที่บริเวณผิวนอกของเมล็ดข้าวกล้อง (brown rice) และบริเวณคัพภะ (embryo) มากกว่าที่ส่วนอื่นๆ ของเมล็ด อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวจะมีมากหรือน้อยย่อมขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและสภาพแวดล้อมที่ปลูกข้าวโดยปกติข้าวกล้องจะมีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 4.3-18.2% หรือประมาณ 9.5% โดยเฉลี่ยสำหรับข้าวเจ้าไปนิกานั้นจะมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 11.1% ในขณะที่ข้าวอินดิกามีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 9.8% และจากการวิเคราะห์พบว่า ข้าวไทยจะมีโปรตีนโดยเฉลี่ย $7.48 \pm 1.65\%$ โดยข้าวสารไทยจะมีโปรตีนเฉลี่ยประมาณ 6.5% (อรอนงค์, 2539)

2) ไขมัน (fat) พบเฉพาะที่ชั้นในสุดของเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) และที่ส่วนของคัพภะ ดังนั้นในการขัดสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวสารขาว (milled rice) จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียไขมันไปอยู่ในรูปของรำข้าวเป็นปริมาณมากกว่า 80%

3) แร่ธาตุ (minerals) ส่วนใหญ่จะพบอยู่ที่บริเวณผิวนอกของเมล็ด ปริมาณเล็กน้อยของแร่ธาตุในเมล็ดข้าวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแร่ธาตุในดินที่มีอยู่ และปริมาณแร่ธาตุที่ได้จากปุ๋ยและยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวอีกด้วยกลุ่มแร่ธาตุที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวค่อนข้างมาก ได้แก่ ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโพแทสเซียม นอกจากแร่ธาตุกลุ่มดังกล่าวแล้วยังมีแร่ธาตุอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งมีอยู่ในเมล็ดข้าวในปริมาณเพียงเล็กน้อย ได้แก่ แคลเซียม คลอรีน ซิลิกอน เหล็ก อลูมิเนียม แมงกานีส โซเดียม และสังกะสี สำหรับธาตุเหล็กและแคลเซียมนั้นจะมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย (Juliano, 1985)

4) วิตามิน (vitamin) ส่วนใหญ่จะพบอยู่ที่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในสุดและที่คัพภะ จึงเป็นสาเหตุให้ข้าวสารขาวมีวิตามินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่มีวิตามินอยู่ในปริมาณที่สูงกว่ามาก วิตามินที่มีอยู่ค่อนข้างมาก ได้แก่ กรดนิโคตินิก หรือ ไนอะซิน วิตามินที่อยู่ในปริมาณน้อย ได้แก่ ไทอะมิน หรือ วิตามินบี 1 และไรโบฟลาวิน หรือ วิตามินบี 2 ส่วนวิตามินที่มีอยู่ในปริมาณน้อยมาก ได้แก่ วิตามิน A ซึ่งมีเฉพาะในข้าวเหนียวดำ วิตามินซี วิตามินดี และวิตามินบี 12 วิตามินในเมล็ดข้าวอาจสูญเสียไปได้ง่ายเมื่อเก็บข้าวไว้ในรูปของข้าวสารในโรงเก็บที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้น จึงควรเก็บไว้ในรูปของข้าวเปลือกในโรงเก็บที่มีอากาศที่มีอากาศถ่ายเทได้ดีหรือมีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นวิธีการหุงข้าวก็ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินไปด้วย (อังคณา และ เครือวัลย์, 2539)

Huke, R.E. และ Huke E.H. ได้วิเคราะห์และสรุปให้เห็นถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางอาหารภายในข้าวกล้อง (brown rice) ข้าวสาร(milled or polished rice) และรำข้าว ส่วนข้อมูลองค์ประกอบดังกล่าวในคัพภะและรำละเอียด (polish) นั้น ได้มาจากการวิเคราะห์ของงาม ชื่นและเครือวัลย์ (2522) ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบต่างๆ ด้านคุณค่าอาหารภายในข้าวกล้อง ข้าวสาร รำข้าว รำละเอียด และคัพภะ (จมูกข้าว) ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

องค์ประกอบ	ข้าวกล้อง (brown rice)	ข้าวสาร (milled rice)	รำข้าว (bran)	รำละเอียด (polish)	คัพภะ (embryo)
แป้ง	75.9	79.0	52.9	62.5	47.5
อะไมโลส	30.8	32.7	6.7	-	-
กาก	0.8	0.1	9.7	3.7	3.4
ไขมัน	1.8	0.9	15.8	12.05	20.6
โปรตีน	7.6	6.5	13.3	14.3	22.4
เหล็ก	2.8	0.9	19.4	-	-
แคลเซียม	16.0	0	76.0	-	-
ไลซีน	4.1	3.8	5.6	-	-
ไทอะมีนหรือบี 1	0.34	0.2	1.2	-	-
ไรโบฟลาวิน หรือบี 2	0.07	0.4	0.25	-	-
ไนอะซิน	5.0	1.6	29.8	-	-
ถั่ว	1.4	0.3	-	7.15	5.1

ที่มา: Juliano, B.O. 1993

2.3 ข้าวกล้องงอก

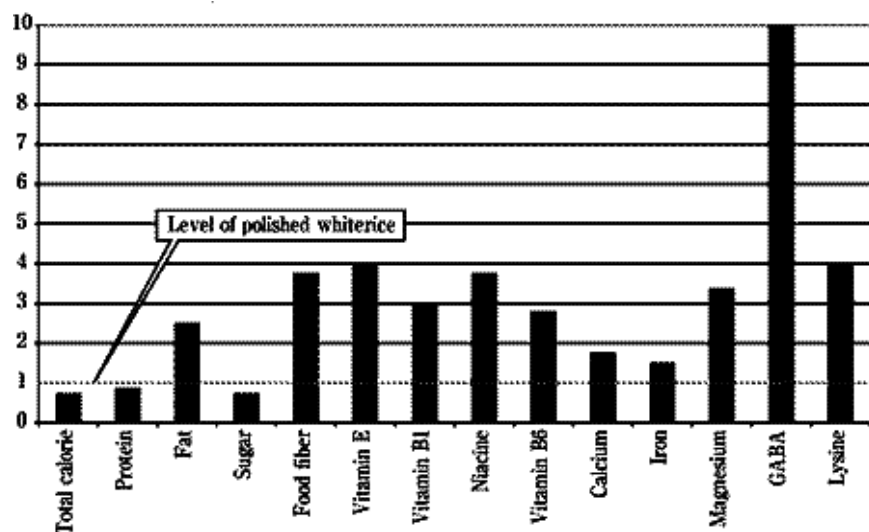
ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Rice หรือ GABA-rice) ได้มาจากการนำข้าวกล้องมาผ่าน การกะเทาะเปลือกไม่เกิน 2 สัปดาห์มาแช่น้ำที่มีการควบคุมอุณหภูมิ การไหลเวียนน้ำ ความดัน และ ความเป็นกรดต่างเป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง น้ำจะไปกระตุ้นเอนไซม์ในเมล็ดข้าวกล้อง ทำให้เกิดการ ย่อยสลายของสารอาหารในเมล็ดข้าวได้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง เช่น โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharide) กลูโคส (Glucose) และฟรุคโทส (Fructose) จากคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งเปปไทด์ และกรดอะมิโนจากโปรตีน อีกทั้งยังพบการสะสมสารเคมีสำคัญต่างๆ เช่น แกมมาโอริซานอล (Gamma Oryzanol) วิตามินอีกลุ่มโทโคฟีรอล (Tocopherol) กลุ่มโทโคไตรอีนอล (Tocotrienol) โดยเฉพาะสารกาบา (GABA) โดยพบว่าข้าวกล้องงอกมีสารกาบามากกว่าข้าวกล้องปกติถึง 15 เท่า คือมีปริมาณสาร GABA โดยเฉลี่ย 15-20 มิลลิกรัมต่อข้าวกล้องงอก 100 กรัม

2.3.1 คุณลักษณะและประโยชน์ของ ข้าวกล้องงอก

จากการศึกษาทางกายภาพและทางชีวเคมีพบว่า " เมล็ดข้าว " ประกอบด้วยเปลือกหุ้มเมล็ด หรือกลีบ (Hull หรือ Husk) ซึ่งจะหุ้มข้าวกล้อง ในเมล็ดข้าวกล้องประกอบด้วยจมูกข้าวหรือคัพภะ

(Germ หรือ Embryo) รำข้าว (เยื่อหุ้มเมล็ด) และเมล็ดข้าวขาวหรือเมล็ดข้าวสาร(Endosperm) สารอาหารในเมล็ดข้าวประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลัก โดยมีโปรตีน วิตามินบี วิตามินอี และแร่ธาตุที่แยกไปอยู่ในส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวนอกจากนี้ยังพบสารอาหารประเภทไขมันซึ่งพบได้ในรำข้าวเป็นส่วนใหญ่ ข้าวเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีการเจริญเติบโตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี การเปลี่ยนแปลงจะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว โดยจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็ก (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) นอกจากนี้ โปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็ถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ รวมทั้งยังพบการสะสมสารเคมีสำคัญต่างๆ เช่น แกมมาออริซานอล (gamma-orazynol) โทโคฟีรอล (tocopherol) โทโค-ไตรอินอล (tocotrienol) และโดยเฉพาะสารแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิด(gamma-aminobutyric acid) หรือที่รู้จักกันว่า “สารกาบา” (GABA)

ข้าวกล้องมีคุณค่าอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น มีความชื้น 14 % ปริมาณสารอาหารโปรตีน 7.0 กรัม ไขมัน 2.41 กรัม โยอาหาร 2.8 กรัม คาร์โบไฮเดรต 79.1 กรัม เป็นแหล่งของวิตามินบีหลายชนิด วิตามินเอ วิตามินอี เหล็ก และใยอาหาร ร่างกายสามารถย่อยได้ง่าย ไม่มีโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้เหมือนข้าวสาลี ไม่มีคอเลสเตอรอล มีไขมันต่ำ ปราศจากไขมันทรานส์ นอกจากนี้ยังพบ สารสำคัญชนิดต่างๆ มากมาย เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ แอนโทไซยานิน ไฟโตสเตอรอล โทโคฟีรอล โอรีซานอล กรดโฟลิกและสารป้องกันต่างๆ ที่ช่วยลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ มะเร็ง เบาหวาน โยอาหารที่มีมากในข้าวกล้องมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพ คือ ช่วยลดอุบัติการณ์ของการเกิดโรคร้ายแรงต่างๆ เช่น มะเร็งลำไส้ใหญ่ โรคหัวใจขาดเลือด โรคเบาหวาน ลดการท้องผูก และช่วยป้องกันโรคเกี่ยวกับลำไส้ (อังคณา, 2539)



รูปที่ 2.5 แสดงอัตราส่วนของปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอกกับข้าวขัดขาว

ที่มา : Kayahara and Tsukahara (2000)

2.3.2 การผลิตข้าวกล้องงอก

จากการวิจัยของ อ.พัชรีย์ ตั้งตระกูล จากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการศึกษาหาพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมและสภาพการผลิตข้าวกล้องงอกที่มีประสิทธิภาพ พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อนำมาเพาะเป็นข้าวกล้องงอกจะมีสาร GABA มากที่สุด (15.2 - 19.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) ซึ่งสูงกว่าข้าวกล้องปกติ ส่วนสภาวะที่จะทำให้ข้าวกล้องงอกได้ดีคือ ต้องนำข้าวกล้องไปแช่น้ำราว 48-72 ชั่วโมงในหม้อแช่ โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ การไหลเวียนน้ำ ความดัน และความเป็นกรดต่างของน้ำ เพื่อให้ความชื้นจากน้ำไปกระตุ้นให้เมล็ดข้าวงอกและเปลี่ยนกรดกลูตามิกไปเป็นสารกาบาอันเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดต่อมาเมื่อได้ข้าวกล้องงอกในขั้นตอนนี้แล้ว ก็ต้องทำให้ข้าวกล้องงอกหยุดการงอกโดยอบแห้งให้มีความชื้นต่ำกว่า 14% ในหม้ออบแห้ง จากนั้นจึงบรรจุลงในถุงสุญญากาศพร้อมขายเป็นลำดับสุดท้ายสำหรับข้าวกล้องที่สามารถนำมาแช่น้ำให้เกิดการงอกได้นั้นจะต้องเป็นข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกมาไม่นานเกิน 2 สัปดาห์



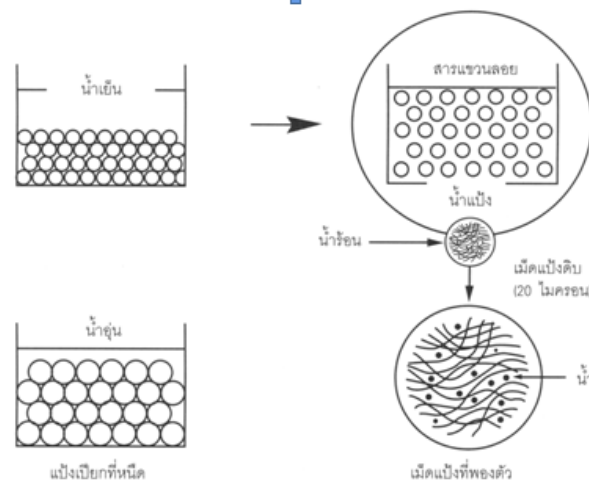
รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบระหว่างเมล็ดข้าวกล้องธรรมดา (แถวบน) กับเมล็ดข้าวกล้องงอก(แถวล่าง)
ที่มา: พัชรีย์ (2552)

2.4 ผลของกระบวนการอบแห้งต่อคุณภาพข้าว

จากการศึกษาของนฤบดี ศรีสังข์ และคณะ (2552) พบว่า การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศร้อนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งข้าวกล้องงอก โดยอุณหภูมิอบแห้งที่สูงช่วยให้อัตราการอบแห้งสูง แต่จะมีการแตกตัวของเมล็ดข้าวในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งอุณหภูมิอบแห้งที่ 150°C แม้จะมีร้อยละการแตกร่วนน้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ แต่เมล็ดข้าวเกิดการแตกร่วนทั้ง 2 แกน เมื่อนำไปหุงต้มเมล็ดข้าวจะแตกและมีความแข็งลดลง ดังนั้นอุณหภูมิอบแห้งจึงไม่ควรเกิน 130°C สำหรับปริมาณสาร GABA และ Textural properties จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิในการอบ ยกเว้นค่า Hardness ที่ลดลงตามอุณหภูมิการอบ นอกจากนี้ปริมาณของจุลินทรีย์หลังการอบแห้งลดลงต่ำกว่า 10^4 CFU/g ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยในอาหาร (นฤบดี, 2552)

2.5 การเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้ง (Gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (Micelles) ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach และคณะ, 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลือน้อยรอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลลิตไนเซชัน (Gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลลิตไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลลิตไนซ์ต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช

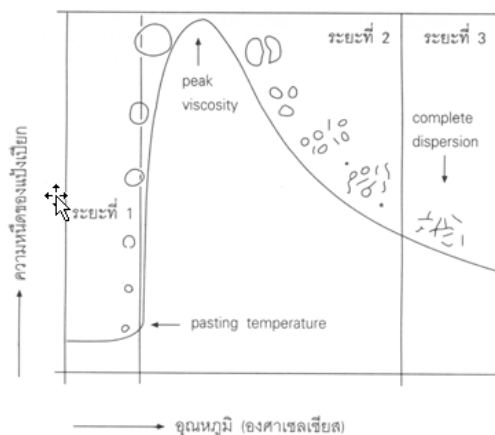


รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม

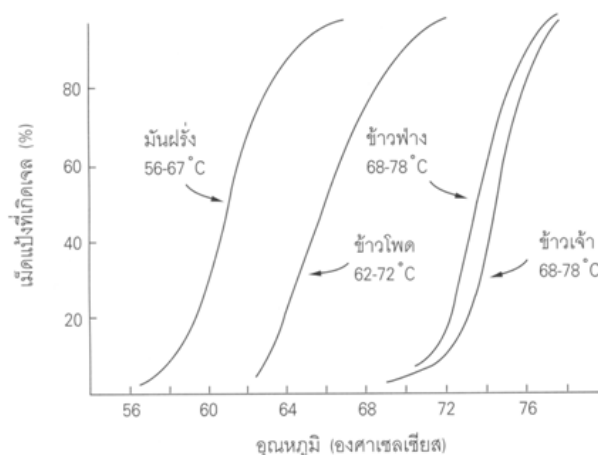
ที่มา : Swinkels (1985)

การเกิดเจลลิตไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ ดังรูปที่ 2.8 คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ (Micelles) ยึดหยุ่นได้จำกัดความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่าง และโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ (Birefringence) เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งเมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลลิตไนเซชัน เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใส จะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลที่เกิดขึ้นของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้นรวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่า (Leach et al., 1959) ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างเจลลิตีในซึ่จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) สูงที่สุด และมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด (Thickening power) สูงด้วย ในขณะที่แป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีความหนืดสูงสุดต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอมิโลสและไขมัน นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอมิโลสและอมิโลเพกติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอมิโลสและอมิโลเพกติน ภายในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอทำให้เม็ดแป้งมีขนาดแตกต่างกัน แป้งชนิดต่างๆ มีลักษณะการเกิดเจลที่ต่างกันดังรูปที่ 2.9 และตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.8 ระยะในการเกิดเจลลิตีในเซชันของเม็ดแป้ง
ที่มา : Swinkels (1985)



รูปที่ 2.9 การเกิดเจลลิตีในเซชันของเม็ดแป้งแต่ละชนิด
ที่มา : USDA (1982)

ตารางที่ 2.3 ลักษณะการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดของแป้ง	Gelatinization temperature range (องศาเซลเซียส) ^a	pasting temperature (8 เปอร์เซนต์; องศาเซลเซียส) ^b	peak viscosity (8 เปอร์เซนต์; BU) ^{b,c}	Swelling power ที่ 95 องศาเซลเซียส	Critical conc. ที่ 95 องศาเซลเซียส
แป้งข้าวโพด	62-67-72	75-80	700	24	4.4
แป้งมันฝรั่ง	58-63-68	60-65	3000	1153	0.1
แป้งสาลี	58-61-64	80-85	200	21	5.0
แป้งมันสำปะหลัง	59-64-69	65-70	1200	71	1.4
แป้งข้าวโพดเหนียว	63-68-72	65-70	1100	64	1.6
แป้งข้าวฟ่าง	68-74-78	75-80	700	22	4.8
แป้งข้าวเจ้า	68-74-78	70-75	500	19	5.6
แป้งสาเก	60-66-72	65-70	1100	97	1.0
แป้งท้าวยายม่อม	62-66-70	-	-	54	1.9
แป้งข้าวโพดอะมิโลเมส	67-80-92	90-95	-	6	20.2
แป้งมันเทศ	58-65-72	65-70	-	46	2.2

ที่มา : USDA (1982)

หมายเหตุ a : Kofler Hot-Stage Microscope เป็นวิธีหนึ่งในการวัดอุณหภูมิเจลลาทีในเซชันของเม็ดแป้ง

b : ความเข้มข้นของน้ำแป้งเท่ากับ 8 เปอร์เซนต์

c : BU = Brabender Units

และแป้งแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีในเซชันต่างๆ กันดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีในเซชันของแป้งชนิดต่างๆ ที่มีน้ำอยู่โดยใช้ DSC

แป้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
แป้งข้าวโพด	70 - 89
แป้งมันฝรั่ง	57 - 87
แป้งสาลี	50 - 86
แป้งมันสำปะหลัง	68 - 92
แป้งข้าวโพดเหนียว	68 - 90

ที่มา : USDA (1982)

หมายเหตุ: (DSC Gelatinization Temperature Ranges) ซึ่งจะเป็นค่าระหว่างเริ่มต้น (T_0) ถึงสูงสุด (T_p)

2.6 ผลของการเก็บรักษาข้าว

การเก็บรักษาข้าวจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว ภายหลังเก็บเกี่ยวเกี่ยวภายใน เมล็ดข้าวจะเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยเฉพาะในระยะเวลา 3-4 เดือน หลังการเก็บเกี่ยวเอนโดสเปิร์มจะ แกร่งขึ้นทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น หากรเมล็ดยังไม่ถูกทำลายในระหว่างการเก็บ การเปลี่ยนแปลงในเมล็ด ข้าวเกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 องค์ประกอบ คือ แป้งไขมัน และโปรตีน กรดไขมันอิสระที่ ได้จากการย่อยของเอนไซม์ เมื่อทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้ง โดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมเลส มีผลยับยั้ง การขยายตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสวย นอกจากนี้ ไขมัน เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะได้สารประกอบประเภท Hydroperoxides carbonyl สาร ประเภท Carbonyl นี้ทำให้ข้าวมีกลิ่นหืนเช่นเดียวกับการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมัน ในส่วนของโปรตีนเมื่อ ปฏิกริยากับออกซิเจนจะได้สารที่มีส่วนประกอบที่มีธาตุกำมะถันที่คงตัวมากขึ้น ทำให้สารระเหยที่มี ส่วนประกอบของซัลเฟอร์ลดลงและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นของข้าว ในขณะเดียวกัน สารประกอบของกำมะถันนี้ยังมีผลต่อการฟองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ข้าวสวยมี ความนุ่มลง ปฏิกริยาระหว่างโปรตีนทำให้ข้าวเก่ามีสีดำนกว่าข้าวใหม่

ผลการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ มีส่วนกระทบกระเทือนต่อคุณสมบัติการหุงต้มของเมล็ดและข้าว สุก กล่าวคือ ข้าวเก่าเมื่อหุงเป็นข้าวสวย ข้าวสุกแข็งและร่วนมากขึ้นหรือเหนียวเกาะติดกันน้อยลง และมีผลทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรรวม (Bulk volume) ได้มากขึ้นหรือขึ้นหม้อดีขึ้น ทั้งนี้ เมล็ดข้าว จะดูดน้ำได้มากขึ้นโดยไม่แตกตัว น้ำข้าวจะใสขึ้น เมล็ดข้าวอาจจะต้องใช้เวลาต้มให้สุกนานขึ้นเล็กน้อย สีของข้าวจะคล้ำมากขึ้น ในข้าวเก่าจะมีกลิ่นสาบ เมล็ดข้าวเหลืองมากขึ้น สืบเนื่องจากปฏิกิริยา ร่วมกันระหว่างเชื้อจุลินทรีย์หรือเคมีในเปลือกข้าวที่ได้รับความชื้นและความร้อนสูงก่อน ที่จะทำการ ลดความชื้น มีรายงานว่าเมล็ดข้าวสามารถเร่งให้เป็นข้าวเก่าได้โดยเพิ่มความร้อนแก่ข้าวสารให้สูงถึง 110 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดสนิท โดยไม่ให้ความชื้นสูญหายไป การเป่าลมร้อน 150 - 250 องศาเซลเซียส ชั่วครู่ เช่นการลดความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกด้วยเทคนิค Fluid bed ที่อุณหภูมิสูง และ กองข้าวเปลือกไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ความชื้นค่อยๆลดลง มีการรายงานว่า การแช่เมล็ดข้าวสาร 2 วันในน้ำมันดอกทานตะวันที่ 60 องศาเซลเซียส ค้างคืนช่วยให้ความเหนียวของข้าวสุกลดลง การ นำข้าวเปลือกไปนึ่งในระยะเวลาสั้นๆ จะช่วยลดความเหนียวของผิวของข้าวสวยได้เช่นกัน นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่า การเก็บรักษาข้าวขาวทำให้เกิดการสูญเสียทั้งทางปริมาณและคุณภาพเนื่องจาก จุลินทรีย์ แมลง หนู และศัตรูอื่นๆ (USDA, 1982)

2.7 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมล็ดในระหว่างการเก็บรักษา

2.7.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical Change)

ข้าวเต็มเมล็ด (Head rice yield) คือ เมล็ดข้าวที่มีความยาวมากกว่า 8 ส่วนใน 10 ส่วนของ ความยาวเมล็ด (งานชิ้น, 2539) การเก็บรักษาทำให้ข้าวมีความแข็งและทนต่อแรงกระแทกได้สูงกว่า ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาทำให้เซลล์ของเอนโดสเปิร์มมีความ แข็งแรงเพิ่มขึ้น (Juliano, 1982) นอกจากนี้เมล็ดข้าวเต็มเมล็ดยังขึ้นกับชนิดของข้าวพบว่าเมล็ดข้าว

สั้นเมื่อนำไปขัดสี ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ได้จะสูงกว่าข้าวเมล็ดยาว ทั้งนี้เนื่องจากข้าวเมล็ดสั้นมีความหนามากกว่าจึงทำให้ทนต่อการขัดสีได้สูงกว่าข้าวเมล็ดยาว

นอกจากนี้การเก็บรักษาข้าวมียังผลทำให้สีของเมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลง มีรายงานว่าข้าวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 เดือน จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมล็ดข้าวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างเห็นได้ชัดหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6-12 เดือน นอกจากระยะเวลาแล้ว อุณหภูมิยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของข้าว โดยข้าวเปลือกจะมีค่าสีเหลืองเท่ากับ 2.1 เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน ที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 37 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือกจะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเป็น 8.6, 9.7 และ 11.3 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Villareal (1976) พบว่าหลังจากการเก็บรักษาข้าวเป็นเวลา 6 เดือน ข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส และมีค่า Whiteness ต่ำกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ซึ่งข้าวอยู่ในระหว่างการเก็บรักษามีสีเข้มขึ้น

2.7.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical Change)

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษาเกือบจะไม่มีการแบ่ง อะไมโลส และ โปรตีน จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่กระบวนการบางอย่าง เช่น กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) หรือดีเกรเดชัน (Degradation) อาจเกิดขึ้นได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลรีดิวซ์ และแต่อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

2.7.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ (Physicochemical Change)

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพเป็นสมบัติหลักที่เกิดเปลี่ยนแปลงในเมล็ดข้าวที่อยู่ในระหว่างการรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแป้ง ไขมันและโปรตีนในเมล็ดข้าว มีผลทำให้ความคงตัวของของแป้งสุกและความหนืดของแป้งสุกเปลี่ยนไป โดยระหว่างการเก็บรักษาความคงตัวของแป้งสุกลดลง นั่นคือ เจลแข็งขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 3 เดือนแรกของการเก็บรักษา คือ มีความคงตัวของข้าวสุกลดลงจาก 64 มิลลิเมตร เป็น 54 มิลลิเมตร แต่เมื่อเก็บรักษาข้าวไว้นานถึงเดือนที่ 18 ความคงตัวของข้าวสุกจะเท่ากับข้าวที่เก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Villareal (1976) พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ความคงตัวของข้าวสุกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิในการเก็บรักษายังมีผลต่อความคงตัวของข้าวสุก พบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (29 องศาเซลเซียส) จะมีความคงตัวของแป้งสุกค่อนข้างแข็ง (38 มิลลิเมตร) ส่วนข้าวที่รักษาที่อุณหภูมิต่ำ (2 องศาเซลเซียส) มีความคงตัวของแป้งสุกปานกลาง (41 มิลลิเมตร) อย่างไรก็ตามความคงตัวของแป้งสุกยังมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ในการเกิดเจลและความหนืดของแป้งสุก โดยทั่วไปข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็งมี Setback สูงกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกปานกลาง หรือความคงตัวของแป้งสุกอ่อน และนอกจากนี้อุณหภูมิในการเกิดเจลยังมีความสัมพันธ์กับค่าการสลายเมล็ดในด่าง

ระยะเวลายังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งสุก ภายใน 3 เดือนแรกของการเก็บรักษาข้าวจะมี Peak viscosity และ Setback เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แต่ยังมีรายงานว่า การเก็บรักษามีผลทำให้ Peak viscosity และ Setback เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความ

แข็งของข้าวสุกแต่เป็นปฏิกิริยาผกผันกับความเหนียวของข้าวสุก Indudhara Swamy อธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงของความหนืดแป้งสุก เนื่องจากอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วและมากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ส่วนค่าการสลายเมล็ดในต่างได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง และพบว่ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการเกิดเจล แต่อย่างไรก็ตามมีบางการทดลองพบว่า ค่าการสลายเมล็ดในต่างเป็นปฏิกิริยาผกผันกับอุณหภูมิในการเกิดเจล

2.8 การสูญเสียข้าวทางด้านการคุณภาพการสี

คุณภาพการสี ของข้าวสูงหรือต่ำหรือต่ำขึ้นอยู่กับการร้าวของเมล็ดข้าว เป็นปัจจัยสำคัญซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากการปฏิบัติที่ไม่ถูกต้องดังนี้

1. การเก็บเกี่ยวและการนวด

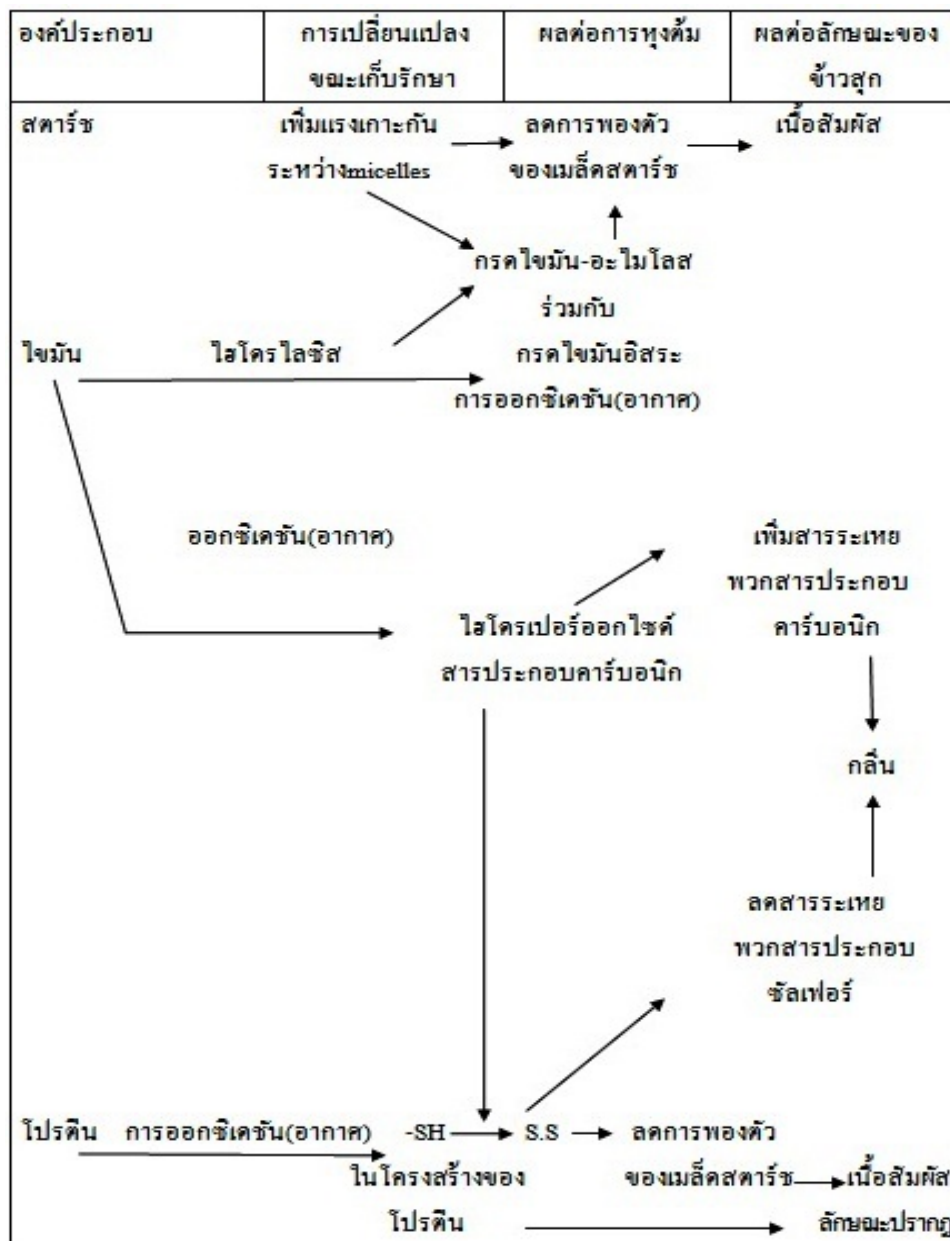
2. การลดความชื้นเมล็ด

3. ข้าวที่แห้งแล้วได้รับความชื้นซ้ำ (Rewetting) การร้าวของเมล็ดเกิดจากสภาพแวดล้อมเช่นเมล็ดที่ความชื้นลดลงหรือแห้งเมล็ดจะหดตัว แต่เมื่อได้รับความชื้นอีกครั้ง เมล็ดก็เกิดการขยายตัวการหดตัวและขยายตัวสลับกันเช่นนี้ ทำให้เกิดการร้าว

สาเหตุการร้าวของเมล็ดข้าวอาจเกิดได้จากปัจจัยดังนี้

- การผสมข้าวที่มีความชื้นสูงกับข้าวที่มีความชื้นต่ำ
- ข้าวที่แห้งแล้วกลับเปียกฝนหรือน้ำค้าง
- การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ เช่น อากาศเย็นในเวลากลางคืน อากาศร้อนในเวลากลางวัน
- การจับตัวกันเป็นหยดน้ำในการเก็บรักษา (Condensation of moisture)

4. ขบวนการขัดสีข้าว ซึ่ง Francisco (1983) แนะนำว่าความชื้นเมล็ดที่เหมาะสมในการสีข้าว คือ 13-14 % แต่จากการศึกษาเบื้องต้นของกิตติยา (2545) และปัญหาพิเศษของบุญส่ง (2532) พบว่าหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวในระยะพลับพลึง นวดและลดความชื้น โดยการตากแดดให้เมล็ดเหลือความชื้นในระดับต่างๆ การสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำ (9 -10%) เปอร์เซ็นข้าวเมล็ดเต็มและต้นข้าวจะสูงกว่าการสีข้าวที่มีความชื้นสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 2.5 คุณภาพการสีจากข้าวเปลือกที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่าง ๆ กัน

ความชื้นเมล็ด (%)	คุณภาพการสี (%) ของข้าวหอมมะลิ 105
9-10	57.51
11-12	52.24
13-14	35.44
15-16	23.46
17-18	13.80