

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าว และสถานการณ์ข้าวไทย

ข้าว (rice) เป็นคำทั่วไปที่ใช้เรียกเมล็ดข้าว (rice fruit, rice grain หรือ rice seed) ซึ่งทางพฤกษศาสตร์จะหมายถึง ผลที่มีลักษณะเป็นผลเดี่ยว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 47) ข้าวเป็นพืชล้มลุกที่มีใบเลี้ยงเดี่ยว ข้าวที่ปลูกเป็นอาหารของมนุษย์มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ *Oryza sativa* ปลูกมากในเอเชียและ *Oryza glaberrima* ปลูกมากในแอฟริกาตะวันตก ข้าวทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกันที่ข้าวแอฟริกาไม่มีการแตกกระแงที่สองจากกระแงแรกของรวงข้าว ในปัจจุบันข้าวเอเชียได้รับความนิยมและมีผู้นำมาปลูกแทนข้าวแอฟริกามากขึ้น ข้าวเอเชียที่ปลูกกันในปัจจุบันแบ่งเป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. ข้าวอินดิกา (indica) หรือ ข้าวเจ้า มีลักษณะเมล็ดยาวเรียวย ลำต้นสูง ตั้งชื่อมาจากแหล่งที่ค้นพบครั้งแรกในประเทศอินเดีย นิยมเพาะปลูกในจีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนามเป็นต้น ผลผลิตค่อนข้างต่ำตอบสนองต่อปุ๋ยน้อยแต่ปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี
2. ข้าวจาปอนิกา (japonica) หรือ ข้าวเหนียว เมล็ดมีลักษณะป้อม สั้น มีผลผลิตต่อไร่สูง นิยมปลูกในเขตร้อน หรือ ออบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และจีนตอนเหนือ
3. ข้าวจาวานิกา (javanica) เป็นข้าวเจ้าที่ผสมระหว่างข้าวอินดิกา และข้าวจาปอนิกา เมล็ดมีลักษณะค่อนข้างป้อม ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ปลูกมากในประเทศพม่าและอินโดนีเซีย (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่, 2542, หน้า 145)

ประเทศที่ผลิตข้าวมีอยู่มากกว่า 100 ประเทศทั่วโลก อย่างไรก็ตามประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตส่วนใหญ่จะมาจากพื้นที่ทางตะวันตก และตะวันออกของเอเชีย ส่วนประเทศไทยนั้นจัดว่าเป็นผู้ผลิตข้าวรายสำคัญของโลก (สุรวิรัตน์ ชมภา, 2549, หน้า 20) ข้าวไทยที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะบริโภคกันในประเทศของผู้ผลิตเอง มีอยู่เพียง 19 - 27 ล้านตันข้าวสาร หรือประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตรวมที่เข้าสู่ตลาดโลกซึ่งนับว่าค่อนข้างน้อย ข้าวส่วนที่เหลือจะเก็บไว้สำหรับปีต่อไป การที่มีข้าวสู่ตลาดโลกในสัดส่วนเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ผลิตได้ทั้งประเทศ ทำให้ราคาข้าวในตลาดโลกค่อนข้างขาดเสถียรภาพ ซึ่งง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงราคา (งามชื่น คงเสรี, 2546, หน้า 1)

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดของโลกจาก 3 อันดับแรกได้แก่ ไทย เวียดนาม และอินเดีย ตั้งแต่ปี 2545 เป็นต้นไป ในบางช่วงเวลาที่ส่วนแบ่งการตลาดส่งออกข้าวของโลกลดลง

บ้าง แต่ไทยยังคงครองตำแหน่งผู้ส่งออกข้าวอันดับหนึ่ง โดยมีส่วนแบ่งการตลาดประมาณ 26 – 28 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการค้าข้าวโลกด้วยมูลค่าตลาดที่สูงต่อปี ดังตาราง 1

ตาราง 1 ปริมาณการส่งออกข้าวของโลกในปี พ.ศ. 2545 – 2549

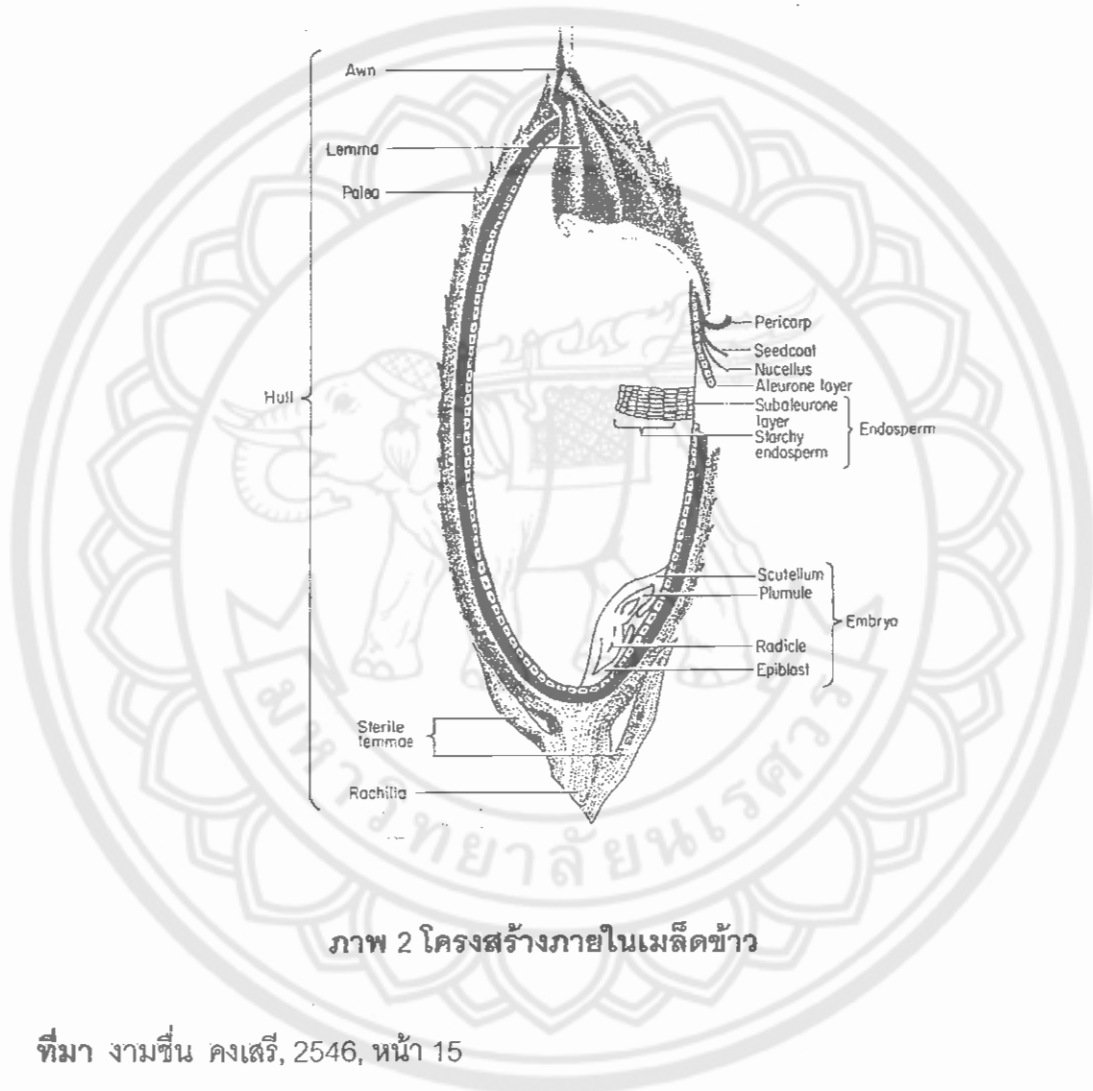
ประเทศ	2545	2546	2547	2548	2549*
ไทย	7,552,000	10,137,000	7,274,000	7,300,000	8,250,000
เวียดนาม	3,795,000	4,295,000	5,174,000	5,200,000	4,700,000
อินเดีย	5,440,000	3,100,000	4,500,000	3,800,000	4,000,000
สหรัฐอเมริกา	3,860,000	3,310,000	3,500,000	3,683,000	3,270,000
ปากีสถาน	1,992,000	1,868,000	2,642,000	2,825,000	2,350,000
อื่นๆ	6,021,000	4,644,000	4,946,000	5,088,000	5,205,000
รวม	28,660,000	27,354,000	28,036,000	27,896,000	27,775,000

หมายเหตุ: * คือตัวเลขประมาณการ
ที่มา สุรวิรัตน์ ชมภา, 2549, หน้า 23

แต่ละปีประเทศไทยผลิตข้าวได้เฉลี่ยประมาณ 26.4 ล้านตัน การส่งออกจะส่งไปยังตลาดต่างประเทศในรูปของข้าวขาว ข้าวหอมมะลิ ข้าวเหนียว ปลายข้าว ข้าวกล้อง และข้าวเหนียว โดยมีตลาดส่งออกที่สำคัญคือ จีน ไนจีเรีย สหรัฐอเมริกา และอิรัก (สุรวิรัตน์ ชมภา, 2549, หน้า 23) แต่ปัจจุบันสถานการณ์การค้าระหว่างประเทศมีการแข่งขันกันอย่างเข้มข้น ตลาดการส่งออกข้าวของโลกมีคู่แข่งเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ประเทศไทยประสบปัญหาการแข่งขันในการส่งออกข้าวกับประเทศเวียดนามอย่างรุนแรง เนื่องจากเวียดนามสามารถผลิตข้าวได้ในปริมาณเพิ่มขึ้นมาก และมีราคาถูกลงกว่าไทย ซึ่งส่งผลกระทบต่อราคาข้าวไทยในตลาดโลก มีผลให้ไทยต้องเสีย ส่วนแบ่งตลาดข้าวบางส่วนในตลาดส่งออกสำคัญ ๆ ให้กับเวียดนามอย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ สำหรับตลาดข้าวคุณภาพดีไทยต้องแข่งขันกับประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และปากีสถานซึ่งมีศักยภาพในการผลิต และการแข่งขันสูงทั้งในด้านการผลิต และการอุดหนุนโดยภาครัฐ (ประไพศรี บุรีคำ, 2540, หน้า 1)

โครงสร้างภายในเมล็ดข้าว

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว แบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ ราก ต้น ใบ รวง ดอก และ เมล็ดข้าว ซึ่งเมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ เปลือกนอก เปลือกเมล็ด เนื้อเมล็ด และคัพภะ ดังภาพ 2



ภาพ 2 โครงสร้างภายในเมล็ดข้าว

ทีมา งามชื่น คงเสรี, 2546, หน้า 15

1. เปลือกนอก (Hull หรือ Husk) คือส่วนที่เรียกว่าแกลบ เป็นส่วนที่ห่อหุ้มผลทั้งหมด หรือ เรียกว่าข้าวกล้อง (caryosis) มีลักษณะเป็นเปลือกไม้แข็งฉิวหยาบแยกเป็นสองฝาประกบห่อหุ้มตามแนวยาว เรียกว่า เปลือกฝาใหญ่ (lemma) และเปลือกฝาลีเล็ก (palea) หาง (awn) ชั่วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas) ขอบเปลือกทั้งฝาลีเล็ก และฝาใหญ่ มีลักษณะเป็นตะขอเกี่ยวกัน (hooklike structure) ดังภาพ 3 ทำให้สามารถควบคุมรูปร่างและขนาดของเมล็ดข้าวได้

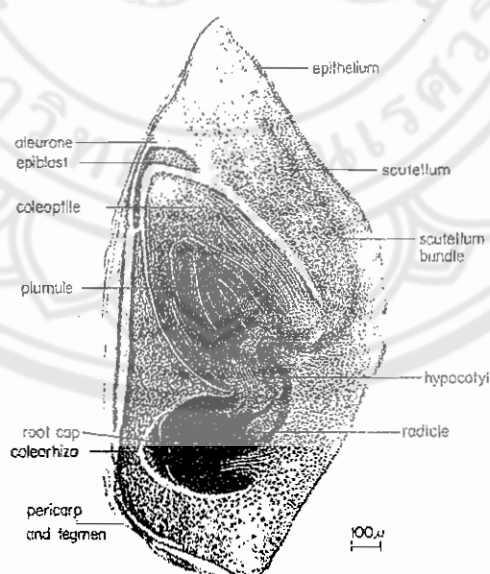
2.3 นิวเซลลัส (Nucellus) ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นนิวเซลลัส เมื่อเมล็ดพัฒนาเต็มที่ นิวเซลลัสจะมีความหนาประมาณ 2.5 ไมครอน

3. เนื้อเมล็ด (Endosperm) แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

3.1 เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (Aleurone layer) เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของส่วนที่เป็นแป้ง ทำหน้าที่ห่อหุ้มคัพภะและเนื้อเมล็ด ความหนาของชั้นอะลูโรนแตกต่างกันไปตามพันธุ์โดยข้าวที่มีเมล็ดสั้นป้อมมักมีเยื่ออะลูโรนหนากว่าเมล็ดยาวเรียวย ชั้นของอะลูโรนประกอบด้วยโปรตีนที่ถูกห่อหุ้มด้วยชั้นไขมันและมีธาตุฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโปแตสเซียมอยู่มาก

3.2 ส่วนที่เป็นเนื้อแป้ง (Starchy endosperm) เนื้อเมล็ดที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก 84 – 93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง เนื้อแป้งนี้ประกอบด้วยเซลล์เม็ดแป้ง และโปรตีน เม็ดแป้งข้าวมีรูปร่างหลายเหลี่ยมมีขนาด 2 - 9 ไมครอน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 43)

4. คัพภะ (Embryo) หรือที่เรียกว่าจุกข้าว เป็นตำแหน่งรวมของส่วนที่จะงอกเป็นต้นข้าว ต้นใหม่ คัพภะประกอบด้วยส่วนที่จะงอกเป็นยอดอ่อน (plumule) ส่วนที่จะงอกเป็นรากแรกกำเนิด (radicle) และยอดอ่อนจะห่อหุ้มด้วยลักษณะที่คล้ายใบเรียกว่า เยื่อหุ้มยอดอ่อน (coleoptile) ส่วนของคัพภะทั้งหมดอยู่ชั้นในเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ด (Pericarp and Tegmen) ดังภาพ 4 (ชาญ มงคล, 2536, หน้า 24)



ภาพ 4 ภาพตัดขวางตามยาวของคัพภะของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวและส่วนที่ได้จากการขัดสี อันดับแรกของการบวมการสีข้าวคือการแยกแกลบออกจากเมล็ด (dehulling) เมื่อทำการขัดผิวของข้าวกล้องจะได้รำหยาบและรำละเอียด (bran and polish) จนได้เป็นข้าวขาวหรือข้าวสาร (white rice, milled rice or polished rice) ในส่วนของรำหยาบประกอบด้วยแกลบบางส่วน เยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเคลลัส เยื่ออะลูโรน และคัพพะ ส่วนของรำละเอียดนอกจากมีเยื่อชั้นนอก เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเคลลัส เยื่ออะลูโรน และคัพพะ ยังมีแป้งปนอยู่มากกว่ารำหยาบ ดังนั้นรำหยาบจึงมีสีน้ำตาลคล้ำกว่ารำละเอียด โดยทั่วไปเมื่อขัดสีข้าวจะได้รำหยาบ 5 - 9 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวเปลือกและได้รำละเอียด 2 - 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าวเปลือก (งามชื่น คงเสรี, 2546, หน้า 16)

องค์ประกอบทางเคมีภายในของเมล็ดข้าว

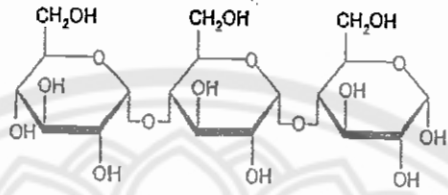
1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์ของพืชและเป็นสารที่ให้พลังงานแก่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตธรรมชาติ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2549, หน้า 137) ส่วนคาร์โบไฮเดรตที่พบในข้าว คือส่วนที่เป็นแป้งในเมล็ดข้าว เป็นองค์ประกอบหลักของเมล็ดที่เจริญและแก่เต็มที่ เม็ดแป้ง (granule) มีรูปทรงหลายเหลี่ยม (polyhedral) ขนาดตั้งแต่ 2 - 9 ไมครอน ในข้าวจะมีแป้งอยู่มากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง กลุ่มของเม็ดแป้งของข้าวอยู่ในรูปอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) จะมีรูปร่างกลมหรือรูปไข่มีขนาด 7 - 35 ไมครอน อะไมโลพลาสต์แต่ละอันจะมีเม็ดแป้งอัดกันอยู่ 20 - 60 เม็ด และล้อมรอบด้วยกลุ่มโปรตีน รอยเว้าที่เกิดบนผิวเม็ดแป้งแต่ละเม็ดอาจเกิดจากการหลุดออกไปของกลุ่มโปรตีน เม็ดแป้งของข้าวมีขนาดเล็กมาก สามารถแยกเป็นองค์ประกอบย่อย 2 ชนิด คือ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน

1.1 อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงของ α -D-กลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 กลูโคซิดิก (ภาพ 5) สามารถถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ α -อะไมเลส β -อะไมเลส และกลูโคอะไมเลส โดยปัจจุบันพบว่าอะไมโลสไม่ใช่พอลิเมอร์สายตรง 100 เปอร์เซ็นต์ แต่มีสายกิ่งที่ยาวจับกับสายโซ่หลักด้วยพันธะ α -1,6 กลูโคซิดิก เนื่องจากอะไมโลสมีสายโมเลกุลที่ยาว ดังนั้นเมื่ออยู่ในสารละลาย อะไมโลสจะอยู่ในรูปแบบเกลียวที่สามารถจับกับไอโอดีน โดยไอโอดีนในรูปไอออนของโพลิไอโอดด์จะเข้าไปอยู่ภายในของเกลียว จึงทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสกับไอโอดีนที่มีสีน้ำเงิน นอกจากนี้เมื่ออะไมโลสอยู่ในสารละลายจะมีแนวโน้มที่โมเลกุลจะรวมกลุ่ม

ระหว่างสายโซ่เกิดโมเลกุลเกลียวคู่ โมเลกุลเหล่านี้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนส่งผลให้อะไมโลสเกิดการรีโทรเกรดได้เจลหรือตะกอนที่ไม่ละลายน้ำเกิดขึ้น



ภาพ 5 โครงสร้างอะไมโลส

ที่มา กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550, หน้า 15

1.2 อะไมโลเพคติน

อะไมโลเพคตินเป็นโมเลกุลของสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสหลายเท่าและมีกิ่งมาก ประกอบด้วย α - D - กลูโคส ที่เชื่อมต่อกันเป็นสายตรงด้วยพันธะ α - 1, 4 กลูโคซิดิก และมีสายกิ่งมากมายที่จับกับน้ำตาลในสายตรงด้วยพันธะ α - 1, 6 กลูโคซิดิก ปริมาณสายกิ่งอะไมโลเพคตินมีประมาณ 4 - 5 เปอร์เซ็นต์ อะไมโลเพคตินเป็นโมเลกุลสตาร์ชที่ไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ทนต่อกรดต่าง มีน้ำหนักโมเลกุล 10^7 ถึง 10^8 ดาลตัน มีฮีลิกซ์ในสายกิ่งแต่จะสั้นกว่าของอะไมโลส ดังนั้นอะไมโลเพคตินเมื่ออ้อมด้วยสารละลายไอโอดีนจะให้สีม่วงแดง เมื่ออะไมโลเพคตินอยู่ในสารละลายที่มีภาวะเป็นกลางจะไม่เกิดการรีโทรเกรด โมเลกุลจะเสถียรหรือคงตัวเพราะการมีกิ่งก้านมาก ทำให้สามารถรวมตัวกันได้ง่ายเหมือนอะไมโลส (นิริยา รัตนาปนนท์, 2549, หน้า 138)

2. โปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เพราะเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ในไซโทพลาสซึม โมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ โดยประมาณ คือ ธาตุคาร์บอน 50 - 55 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 20 - 23 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน 12 - 19 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 6 - 7 เปอร์เซ็นต์ และกำมะถัน 0.2 - 3.0 เปอร์เซ็นต์ หน่วยที่เล็กที่สุดของโปรตีน คือกรดอะมิโน (amino acid) ต่อกันเป็นสายยาวที่เรียกว่าสายพอลิเพปไทด์ (polypeptide chain) สำหรับกรดอะมิโนที่พบในร่างกายแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้เรียกว่า กรดอะมิโนไม่จำเป็น (non - essential amino acids) และ

กลุ่มที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้เรียกว่ากรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acids) ธัญพืชมีปริมาณโปรตีนประมาณ 9 - 13 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนในแต่ละส่วนของเมล็ดธัญพืชยังแตกต่างกันด้วย โปรตีนที่พบในส่วนของคัพภะส่วนใหญ่เป็นโกลบูลินและอัลบูมิน ส่วนในเอนโดสเปิร์มเป็นโปรตีนที่พืชสะสมไว้ใช้สำหรับการงอกของเมล็ดเรียกว่า "Protein bodies" พบได้ในข้าวเจ้า ข้าวโพด และข้าวบาร์เลย์ โปรตีนในเมล็ดข้าวสามารถแบ่งเป็น 4 ชนิด ตามสมบัติในการละลาย ได้แก่

2.1 อัลบูมิน (Albumin) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่มีสมบัติละลายได้ดีในน้ำและมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ ตัวอย่างของโปรตีนในกลุ่มนี้ ได้แก่ อัลบูมินในไข่ขาว (egg albumin) อัลบูมินในน้ำนม (lactoalbumin) อัลบูมินในซีรัม (serum albumin) ลูโคซิน (leucosin) ในธัญพืชและเลกูเมลิน (legumelin) ในเมล็ดถั่ว โปรตีนกลุ่มนี้เสถียรภาพธรรมชาติได้ง่ายด้วยความร้อน

2.2 โกลบูลิน (Globulin) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่มีสมบัติละลายในสารละลายเกลือที่เจือจางและเป็นกลาง ไม่ค่อยละลายน้ำและไม่ละลายในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูง ตัวอย่างเช่น โกลบูลินในไข่ขาว (egg globulin) โกลบูลินในน้ำนม (lactoglobulin) โกลบูลินในซีรัม (serum globulin) ไมโอซิน (myosin) และแอกติน (actin) ในกล้ามเนื้อ และไกลซีนินในถั่วเหลือง

2.3 โปรลามิน (Prolamin) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่มีสมบัติละลายในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50 - 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนโพรีนและกรดกลูตามิกอยู่ในโมเลกุลมาก โปรตีนกลุ่มนี้พบมากในธัญพืช เช่น โปรตีนเซอีน (zein) ในข้าวโพด และฮอร์เดอีน (hordelin) ในข้าวบาร์เลย์

2.4 กลูเตลิน (Glutelin) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่มีสมบัติละลายในกรดหรือด่างที่เจือจาง ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง ตัวอย่างของโปรตีนกลุ่มนี้มักพบในธัญพืช เช่น กลูเตลิน (glutelin) ในข้าวสาลี และโอริเซนิน (oryzenin) ในข้าวเจ้า (นิธิยา รัตนูปนนท์, 2549, หน้า 244 - 245)

จากการวิเคราะห์พันธุ์ข้าว 1,787 พันธุ์ ของประเทศไทย พบว่า เมล็ดข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีน 7.48 ± 1.65 เปอร์เซ็นต์ ในเมล็ดข้าวโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่มีมากเป็นที่สองรองจากแป้ง การใช้วิธีการ Kjeldahl ในการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนต้องใช้ factor 5.95 มาคูณปริมาณไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้ ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนของเมล็ดข้าวส่วนใหญ่เป็นกลูเตลินที่มีไนโตรเจนประกอบอยู่ 16.8 เปอร์เซ็นต์ (งามชื่น คงเสรี, 2542, หน้า 16)

3. ไขมัน

ไขมันเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุลกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่สถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า ไขมัน หากมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า น้ำมัน ทั้งไขมันและน้ำมันมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) คือไม่ชอบน้ำ โดยไขมันในเมล็ดข้าวมักอยู่ในสภาพหยดไขมัน ขนาดเล็กกว่า 1.5 ไมครอน เมล็ดข้าวทั้งเมล็ดมีไขมันเพียง 1.6 – 2.8 เปอร์เซ็นต์ และพบมากในส่วนของรำข้าว ทั้งรำหยาบ และรำละเอียด โดยเป็นส่วนสำคัญในการสกัดเป็นน้ำมันรำข้าว เป็นการใช้ประโยชน์จากผลผลิตที่เหลือจากระบวนการขัดสีจากข้าวเปลือกไปเป็นข้าวขาว น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันอิสระสูงมากเพราะรำข้าวมีเอนไซม์ไลเปสสูงมาก เมื่อนำรำข้าวใหม่มาสกัดน้ำมันออกจะมีกรดไขมันอิสระประมาณ 4 – 6 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเก็บรำข้าวปล่อยทิ้งไว้ ค่าความเป็นกรด (Acid Value) ของน้ำมันรำข้าวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณชั่วโมงละ 1 เปอร์เซ็นต์ (นิธิยา รัตนานนท์, 2548, หน้า 137)

4. แร่ธาตุ

อาหารทุกชนิดมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ผันแปรตามชนิดของอาหาร และมีทั้งในรูปของสารประกอบอินทรีย์ หรือรวมตัวอยู่กับสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในเมล็ดธัญพืชจะพบมากที่ส่วนของรำ ดังนั้นแบ่งที่ได้จากการไม่ทั้งเมล็ดจะมีแร่ธาตุมากกว่าแบ่งที่ได้จากเมล็ดที่ขัดสีเอารำออกไป (นิธิยา รัตนานนท์, 2549, หน้า 385) โดยทั่วไปข้าวกล้องจะมีปริมาณแร่ธาตุสูงกว่าข้าวขาว ในซีเ็กที่ได้จากการเผาเมล็ดข้าวจะมีธาตุสำคัญ คือ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมงกานีส และซิลิคอน

5. วิตามิน

วิตามินเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของมนุษย์ โดยทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีในการเมทาบอลิซึมสารอาหาร เพื่อดูดซึม วิตามินแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

5.1 วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ ดี อี และเค วิตามินกลุ่มนี้ร่างกายสามารถสะสมได้

5.2 วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินบีหนึ่ง บีสอง บีหก บีสิบสอง ไนอะซิน กรดโฟลิก และกรดแพนโททินิก เป็นต้น วิตามินกลุ่มนี้จะละลายได้ในน้ำจึงถูกดูดซึมง่าย และร่างกายไม่สามารถสะสมได้ หากได้รับมากเกินไปจะขับออกทางปัสสาวะ ดังนั้นวิตามินกลุ่มนี้จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเป็นประจำทุกวัน (นิธิยา รัตนานนท์, 2549, หน้า 386) ข้าว

กล้วยมีวิตามินจำพวกละลายได้ในน้ำมากกว่าข้าวขาว (ตาราง 2) แต่ขาดวิตามิน เอ ซี และดี เมล็ดข้าวมีวิตามินในกลุ่มของ วิตามินบี ประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยโทอะมินที่มีอยู่ในข้าวจะอยู่ในส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด นิวเคลลัส และเยื่ออะลูโรน 47 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในสกรูเทลลัม และมีเพียง 8 เปอร์เซ็นต์อยู่ในเอนโดสเปิร์มที่จะขัดสีเป็นข้าวขาว (งามชื่น คงเสรี, 2546, หน้า 21)

ตาราง 2 ปริมาณวิตามินต่างๆ ในข้าวเปลือก และส่วนต่างๆ ที่ได้จากการสีข้าว

Vitamin	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	รำ	คัพภะ	รำละเอียด
	(หน่วย ไมโครกรัม / กรัม)					
Retinol (A)	0 - 0.08	0 - 0.11	Tr	0 - 3.6	0 - 0.1	0 - 0.9
Thiamine (B1)	2.6 - 3.3	2.9 - 6.1	0.2 - 1.1	12 - 24	17 - 59	3 - 19
Riboflavin (B2)	0.6 - 1.0	0.4 - 1.4	0.2 - 0.6	1.8 - 4.3	1.7 - 4.3	1.7 - 2.4
Niacin (Nicotinic a)	29 - 56	35 - 53	13 - 24	267 - 499	28 - 83	224 - 389
Pyridoxine (B6)	4 - 7	5 - 9	0.4 - 1.2	9 - 28	13 - 15	9 - 27
Panthothenic acid	7 - 12	9 - 15	3 - 7	20 - 61	11 - 28	26 - 56
Biotin	0.04 - 0.08	0.04 - 0.10	0.01 - 0.06	0.2 - 0.5	0.3 - 0.5	0.1 - 0.6
Inositol, total	800	1,000	90 - 110	4,000-8,000	3,200-5,500	3,700-3,900
Choline, total	760 - 980	950	390 - 880	920 - 1,460	1,700-2,600	860-1,250
p-Aminobenzoic a	0.3	0.3	0.12 - 0.14	0.65	0.9	0.6
Folic acid	0.2 - 0.4	0.1 - 0.5	0.03 - 0.14	0.4 - 1.4	0.8 - 4.1	0.9 - 1.8
Cyanocobalamin (B12)	0 - 0.003	0 - 0.004	0 - 0.0014	0 - 0.01	0 - 0.01	0 - 0.003
α-Tocopherol (E)	9 - 20	9.25	Tr	76	76	54 - 86

Tr = น้อยมาก (trace)

ที่มา งามชื่น คงเสรี, 2546, หน้า 21

การออกของเมล็ด

คนโบราณนอกจากจะใช้ข้าวเป็นอาหารหลักแล้วยังนำข้าวมาใช้เป็นยาอีกด้วย โดยนำข้าวไปเพาะให้งอก เมล็ดข้าวจะผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งและโปรตีนให้เป็นน้ำตาล และกรดอะมิโนตามลำดับ ดังนั้นในเมล็ดข้าวออกจึงมีสารอาหารที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ทันที หากนำมาชงกับน้ำร้อนดื่มจะเป็นยาแก้ไข้ บำรุงร่างกายจึงเหมาะจะเป็นอาหารเสริมบำรุงร่างกายได้เป็นอย่างดี (ชาญ มงคล, 2536, หน้า 10 - 11)

การงอก (Germination) หมายถึง การเกิดกระบวนการต่าง ๆ ในเมล็ดที่มีชีวิต (Viable Seed) ที่แห้งอยู่ในสภาวะสงบนิ่ง (Resting หรือ Quiescent stage) แล้วได้รับปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการงอก กระตุ้นทำให้รากต้นอ่อนแทงทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมา (เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2542, หน้า 71) การงอกของเมล็ด คือ การที่เมล็ดอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเป็นต้นต่อไป โดยเกิดจากการงอกของรากอ่อนในเมล็ดและต้นอ่อนออกมาจากคัพภะ (Embryo) โดยใช้อาหารสำรองระยะงอกจากแอนโดสเปิร์ม สำหรับระยะการงอกเป็นต้นใหม่ในช่วงแรกของการงอกเมล็ดที่ไม่มีการพักตัวแล้วและต้องได้รับน้ำหรือมีความชื้นเพียงพอ เพื่อเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของคัพภะไปเป็นต้นอ่อนต่อไป ซึ่งระยะการพักตัวของเมล็ดนั้นหมายถึง เมล็ดยังไม่พร้อมที่จะงอกภายหลังการเก็บเกี่ยวเมื่ออยู่ในสภาวะการณที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากมีสารยับยั้งอยู่บริเวณเปลือกของเมล็ด เรียกว่า suberin หรือ pectic substance (เอกสงวน ชูวิสิฐกุล, 2544, หน้า 16) มีการศึกษาที่สนับสนุนได้จากการนำข้าวเปลือก ที่อยู่ในระยะพักตัวมาทำการกะเทาะเปลือกแล้วนำข้าวกลั่นนั้นไปเพาะ พบว่าเมล็ดข้าวกลั่นนั้นสามารถงอกได้ (จำรัส ไปรังศิริวัฒนา, 2536, หน้า 148) การงอกของเมล็ดพืช ต้องอาศัยปัจจัยดังนี้

1. น้ำ หรือความชื้น เป็นสิ่งแรกที่เมล็ดต้องการสำหรับการงอก โดยกระบวนการแรก คือ การดูดน้ำโดยน้ำถูกนำไปใช้ในการละลายโปรตีนและเพื่อช่วยในการย่อยสลายสารประกอบเคมีโมเลกุลใหญ่ ๆ ในเมล็ดให้เล็กลงเพื่อขนย้ายไปยังจุดเจริญและช่วยให้เปลือกเมล็ดอ่อนนุ่ม อีกทั้งความชื้นสูงยังทำให้ออกซิเจนแพร่เข้าสู่เมล็ดมากขึ้นทำให้เกิดการหายใจของเมล็ดมากขึ้น ทำให้ต้นอ่อนและรากงอกมาได้ง่ายและช่วยในกระบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลหรือโปรตีน ส่วนไขมันจะถูกเปลี่ยนเป็นอาหารสำหรับคัพภะเป็นพาหะและช่วยในการขนย้ายถ่ายเทสารเคมี และสารอาหาร เพื่อลำเลียงไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป ความชื้นที่เมล็ดข้าวจะงอกได้ประมาณ 30 – 35 เปอร์เซ็นต์ (เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2542, หน้า 72) ดังตาราง 3

เมล็ดข้าวต้องการน้ำมากในระยะแรกของการงอก ฉะนั้นต้องแช่น้ำประมาณ 12 – 24 ชั่วโมง (ข้าวเปลือก) ก่อนนำไปเพาะ โดยที่เมล็ดข้าวที่แห้งและมีความชื้นต่ำ (ต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์) จะดูดน้ำเข้าไปเต็มที่ เมื่อน้ำถูกเมล็ดดูดเข้าไปจะทำให้เมล็ดมีการขยายตัวและเพิ่มน้ำหนักมากขึ้น เมื่อเมล็ดดูดน้ำเข้าไป จะเกิดปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดพลังงานและมีความร้อนเพิ่มขึ้น สารอาหารที่อยู่ในแอนโดสเปิร์มจะเปลี่ยนรูปกลายเป็นสารอาหารอย่างง่าย (simple food) สำหรับให้คัพภะนำไปใช้ (จำรัส ไปรังศิริวัฒนา, 2536, หน้า 148)

ตาราง 3 ปริมาณความชื้นที่เมล็ดพืชต้องการสำหรับการงอก

เมล็ดพืช	ความชื้นที่ต้องการ (%)
ข้าว (<i>Oryza sativa</i>)	32 - 35
ข้าวโอ๊ต (<i>Avena sativa</i>)	32 - 36
ข้าวโพด (<i>Zea mays</i>)	30
ละหุ่ง (<i>Ricinus communis</i>)	32 - 36
ถั่วเหลือง (<i>Glycine max.</i>)	50
ฝ้าย (<i>Gossypium spp.</i>)	50 - 55
ถั่วลิสง (<i>Arachis hypogaea</i>)	50 - 55
ข้าวสาลี (<i>Triticum aestivum</i>)	69
ถั่วแขก (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	180
ถั่วลันเตา (<i>Pisum sativum</i>)	149

ที่มา เศษ วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2542, หน้า 75

กระบวนการงอกของเมล็ดข้าว (ข้าวเปลือก) แบ่งได้เป็น 3 ระยะคือ

ระยะแรก : ระยะการอมน้ำ (Imbibition stage) ระยะนี้เป็นช่วงแรกของกระบวนการงอก กล่าวคือเมื่อนำเมล็ดข้าวไปทำการแช่น้ำ ในช่วง 18 ชั่วโมงแรกเมล็ดข้าวจะดูดน้ำเข้าไปภายในเมล็ดอย่างรวดเร็วด้วยแรงที่เรียกว่า Imbibition Force ผลจากการแช่เมล็ดข้าวในน้ำในช่วงแรกนี้จะทำให้เมล็ดข้าวมีน้ำเพิ่มมากขึ้นถึง 25 – 35 เปอร์เซ็นต์

ระยะสอง : ระยะเริ่มงอก (Activation stage ; Germination) ระยะนี้เป็นระยะที่อยู่ในช่วงของการดูดน้ำของเมล็ดซึ่งจะเริ่มต่อจาก Imbibition stage กล่าวคือจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณชั่วโมงที่ 18 – 72 ของการแช่น้ำ (soaking period) ซึ่งในช่วงนี้อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการงอก โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของ เมตาบอลิซึมในเมล็ดข้าว ปริมาณน้ำในเมล็ดเมื่อเริ่มงอกมีอยู่ประมาณ 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นสำคัญ ในช่วงสุดท้ายของ Phase นี้จะปรากฏปลายสีเขียวจากส่วนของเปลือกหุ้มต้นอ่อน (Coleotile) โผล่ออกจากบริเวณคัพภะด้วยการแตกออกของเปลือกหุ้มเมล็ด (Seed coat) และปรากฏใบแรกที่มองเห็นได้อย่างชัดเจน

ระยะสุดท้าย : ระยะการเจริญเติบโตหลังงอก (Postgermination growth stage) ระยะการเจริญเติบโตหลังงอก เป็นระยะสุดท้ายของเรื่องการดูน้ำของเมล็ด ระยะนี้เป็นระยะที่เมล็ดได้งอกเป็นต้นอ่อนต่อจากระยะเริ่มงอกใน Phase B คือหลังจาก 72 ชั่วโมงของช่วงเวลาในการแช่เมล็ด (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2536, หน้า 154)

2. อากาศ เมื่อเมล็ดอยู่ในระหว่างการงอก จึงต้องการออกซิเจนช่วยในกระบวนการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงานมาใช้ในการแบ่งเซลล์และเจริญเติบโต เมล็ดพืชสามารถงอกได้เมื่อมีออกซิเจนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับข้าว้นั้นต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ก็ยังสามารถงอกได้ โดยทั่วไปเมล็ดที่ไม่เกิดการงอก คือได้รับออกซิเจนต่ำและแช่นานเกินไป จนเกิดความเสียหายได้โดยการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ เพราะฉะนั้นต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณน้ำมากเกินไป (เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2542, หน้า 78)

Loreti, et al. (2003) พบว่าการงอกของเมล็ดข้าวเปลือก ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ พบว่าเมล็ดข้าวจะมีการผลิตเอินไซม์ α - อะไมเลส และฮอริโมนจิบเบอเรลลินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการงอก การเพิ่มขึ้นของเอินไซม์ α - อะไมเลส เป็นผลให้ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตของเนื้อเมล็ดข้าวต่ำลง และมีการเจริญเติบโตต่อไปเป็นต้นได้ดีกว่า

3. อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดพืชแต่ละชนิดนั้น จะมีความแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ชนิด ความเก่า ใหม่ของเมล็ด คุณภาพ และสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์ อุณหภูมิที่เหมาะสมทำให้เอนไซม์ทำงานได้ดี และเมล็ดจะงอกได้ดีที่อุณหภูมิ 20 - 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำทำให้ปฏิกิริยาภายในเมล็ดลดลง เนื่องจากเมล็ดต้องการอุณหภูมิที่อบอุ่นเพื่อเพิ่มปฏิกิริยาภายในเมล็ด ทำให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

Balogun, Bird and Rowe (2006) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อการงอกเมล็ดข้าวฟ่าง โดยศึกษาที่ 18, 25 และ 32 องศาเซลเซียส พบว่าการงอกของเมล็ดข้าวฟ่าง ที่อุณหภูมิ 25 และ 32 องศาเซลเซียส พบเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าสภาวะการงอกที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

Capanzana, FNRI and Buckle (1997) ทำการศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่อการงอกของข้าวเปลือก พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการงอกมากที่สุดอยู่ที่ 25 - 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เจริญเติบโตต่อไปเป็นต้นอ่อนได้ดีที่สุด

4. แสง แสงมีความจำเป็นสำหรับการงอกของเมล็ดพืชบางชนิดเท่านั้น โดยที่พืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องใช้แสงสำหรับการงอก ระยะที่เริ่มงอกข้าวจะเริ่มงอกโดยจะเห็นรากอ่อนงอกออกมาก่อน หลังจากนั้นเมื่อหุ้มยอดอ่อนก็จะเจริญขึ้น ประมาณ 3 วัน

หลังจากเยื่อหุ้มยอดอ่อนเจริญออกมาใบแรกจะเจริญออกมาจากเยื่อหุ้มยอดอ่อนนั้น (ชาญ มงคล, 2536, หน้า 26)

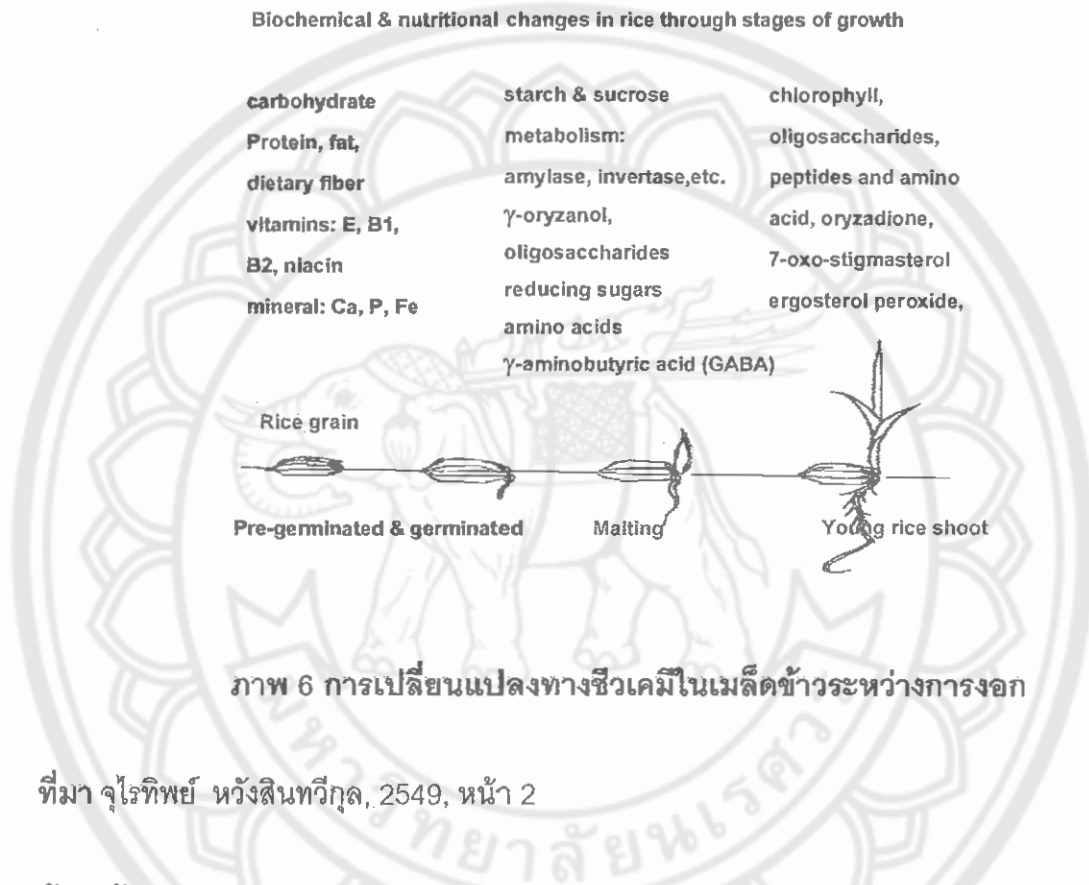
จำรัส โปร่งศิริวัฒนา (2536) พบว่าเมล็ดข้าวสามารถงอกได้ในสภาพที่ขาดออกซิเจนได้ใน ช่วงแรก แต่ในช่วงต่อมาของการเจริญเติบโตการขาดออกซิเจนจะมีผลต่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะราก อ่อนที่จะโผล่ออกมาผิดปกติ และพบอีกว่าเมล็ดข้าวที่ทำการงอกในที่มืดจะทำให้ส่วนรากอ่อน หรือต้นอ่อนยึดตัวออกมามากกว่าปกติซึ่งต่างจากการเพาะเมล็ดในที่ที่มีแสงตามปกติ

Matinez, et al. (2006) ศึกษาการงอกของเมล็ดต้นกก 2 สายพันธุ์ คือ *Juncaceae* และ *Cyperaceae* โดยเปรียบเทียบการควบคุมการให้แสง (ความมืด : ความสว่าง เท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง) และอุณหภูมิ (5 ระดับ คือ 10, 15, 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิตลับ 2 ระดับคือ 15 : 25 และ 20 : 30 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองพบว่าเมล็ดต้นกกพันธุ์ *Cyperaceae* มีอุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดการงอก แต่จะหยุดกิจกรรมการงอกของเมล็ด เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 10 และ 15 องศาเซลเซียส และจะชะลอการงอกจนถึงไม่เกิดการงอกเมื่อ เปอร์เซ็นต์การงอกเท่ากับ 37 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการงอกของเมล็ดต้นกกพันธุ์ *Juncaceae* นั้น อุณหภูมิและแสงสว่างมีผลต่อการงอก เมล็ดจะเกิดการงอกในระดับคงที่ที่อุณหภูมิเท่ากับ 20 และ 30 องศาเซลเซียส และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด คือมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการให้ อุณหภูมิตลับไปมาระหว่าง 15 : 25 และ 20 : 30 องศาเซลเซียส

อภิชาติ เก้าวโท และเสริมศักดิ์ อวาระกุล (2535) อธิบายถึงปัจจัยที่เมล็ดข้าวเปลือก ต้อง การสำหรับการงอกไว้ว่า น้ำเป็นสิ่งแรกที่เมล็ดต้องการสำหรับการงอก ควรแช่เมล็ดข้าวในน้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำเข้าไปภายในเมล็ดได้ง่าย และทั่วตลอดเมล็ด เพื่อเร่งการงอกของเมล็ด แต่ไม่ควรให้น้ำท่วมเมล็ดมากเกินไป เนื่องจากในน้ำมีอากาศอยู่น้อยมากทำให้คัพพะเจริญเติบโต ข้าว ต้นกล้าที่ได้จะสูงแต่อ่อนแอ

จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล (2549) อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าว และการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่อยู่ภายในเมล็ดข้าว การเปลี่ยนแปลงเริ่มขึ้นเมื่อน้ำได้แทรกเข้าไปใน เมล็ดข้าวจะกระตุ้นในเอนไซม์ในข้าวมีการทำงาน ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปเมล็ดข้าวเริ่มงอก (malting) สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวจะมีการย่อยสลายไปตามกระบวนการชีวเคมี ให้ได้ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (oligosaccharide) และ reducing sugar จากการกระตุ้น เมตาบอลิซึมของแป้งและน้ำตาล นอกจากนี้โปรตีนก็ถูกย่อยให้เป็นกรดอะมิโน และเปปไทด์ มีการ สะสมสารเช่น gamma aminobutyric acid (GABA), tocopherol, tocotrienol เป็นต้น เมื่อต้นข้าว เจริญเติบโตต่อไปในระยะที่มีการแทงยอดอ่อน จะมีสร้างสารที่เรียกว่าสารทุติยภูมิ (secondary

metabolite) ได้แก่ คลอโรฟิลล์, oryzadione, 7-oxostigmasterol, ergosterol peroxide เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของต้นข้าว ผ่านกระบวนการ defense mechanism การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสารอาหารในระยะต่างๆ ของข้าวแสดงดังภาพ 6



ภาพ 6 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในเมล็ดข้าวระหว่างการงอก

ที่มา จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล, 2549, หน้า 2

ข้าวกล้อง (Brown rice)

ข้าวกล้อง คือข้าวที่ได้จากการสีเอาเปลือกออกเท่านั้น เป็นการสีโดยใช้เครื่องจักร เมล็ดข้าวที่ได้ไม่ได้รับความกระทบกระเทือนมากนัก เมล็ดข้าวมีสีขาวขุ่น มีเยื่อหุ้มเมล็ดและส่วนที่เป็นจมูกข้าวเหลืออยู่ เป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีเส้นใยอาหารสูงช่วยในระบบขับถ่าย และป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ การรับประทานข้าวกล้องนอกจากช่วยให้ร่างกายมีสุขภาพแข็งแรงแล้ว ยังสามารถช่วยประหยัดการใช้พลังงานให้ประเทศเนื่องจากข้าวกล้องผ่านการขัดสีเพียงครั้งเดียว (กมลรัตน์ ครุฑาโรจน์, 2546, หน้า 2)

ในเมล็ดข้าวกล้องนั้นมีองค์ประกอบคุณค่าทางด้านอาหารและโภชนาการอยู่มากมาย เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และเถ้า ส่วนวิตามินที่พบในข้าวกล้องได้แก่ thiamine (วิตามินบีหนึ่ง) riboflavin (วิตามินบีสอง) และ niacin (nicotinic acid) แร่ธาตุต่าง ๆ เช่น

แมงกานีส แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง ซิลิเนียม ไอโอดีน กรดแพนโทนิค และ กรดโฟลิก (งามชื่น คงเสรี, 2546, หน้า 34)

Juliano (1993) เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีที่สูญเสียไป ระหว่างการขัดสีจากข้าวกล้อง ไปเป็นข้าวขาว พบว่าปริมาณ ไขมัน โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุบางตัวลดลง เนื่องจากกระบวนการขัด สีสกัดเอาเยื่อหุ้มเมล็ด (รำ) ออกถึง 5 ครั้ง แร่ธาตุ และวิตามินบางตัวจึงสูญเสียไป เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โซเดียม โปแตสเซียม ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซินที่สูญเสียไป 8, 130, 0.8, 4, 122, 0.27, 0.02 และ 3.1 มิลลิกรัม / 100 กรัม ตามลำดับ และได้นำมา เปรียบเทียบกับปริมาณสารอาหารที่ควรได้รับในแต่ละวัน (RDA ; Recommended Dietary Allowance per day) พบว่าการรับประทานข้าวกล้อง 100 กรัมในผู้หญิงวัยทำงาน (23 - 50ปี) จะ ได้รับปริมาณวิตามินและแร่ธาตุเพียงพอกับปริมาณที่ควรได้รับในแต่ละวันอีกด้วย

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของข้าวกล้องจะพบว่าในชั้นของเยื่อหุ้มผล (pericarp) และเยื่อ หุ้มเมล็ด (seed coat or tegmen) หูดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน เซลลูโลส และ เฮมิ-เซลลูโลส ส่วน เยื่อชั้นอะลูโรนจะมีโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสอยู่มากดังนั้นในการบริโภคข้าวกล้อง จะสังเกตพบว่ามีกระด้างกว่าข้าวสาร ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนในเมล็ดข้าวกล้องจากส่วนของเยื่อ ชั้นอะลูโรนนี้เป็นตัวช่วยขัดขวางน้ำจากภายนอกไม่ให้ซึมผ่านเข้าไปในเมล็ด เวลาหุงต้มข้าวกล้อง จึงต้องใช้เวลาในการหุงต้มมากกว่าที่ใช้สำหรับข้าวสารธรรมดาเล็กน้อย โปรตีนในเมล็ดข้าว สามารถแยกตามคุณสมบัติการละลายออกเป็น 4 ชนิด คือ อัลบูมิน โกลบูลิน โปรลามิน และ กลูเตลิน ในเมล็ดข้าวกล้องมีปริมาณกลูเตลินในอัตราส่วนที่สูงกว่าโปรตีนชนิดอื่น และในส่วนของ กลูเตลินนี้ประกอบไปด้วยไนโตรเจน (N) อยู่ร้อยละ 16.8 และมีอัลบูมินมากกว่าในข้าวสาร โปรตีนทั้ง 2 ชนิดนี้มีมากในเยื่อชั้นอะลูโรนและคัพพะ สำหรับกลูเตลินหรือมีอีกชื่อว่า โอริซานิน เป็นโปรตีนชนิดหลักที่มีอยู่ทั้งในเมล็ดข้าวกล้องและข้าวขาว แม้ว่าข้าวกล้องจะมีปริมาณโปรตีน น้อยกว่าธัญพืชอื่นแต่โปรตีนที่มีอยู่ก็มีคุณค่าทางชีวภาพ (biological value) และประโยชน์สุทธิ (net protein utilization) สูงกว่า มีคุณภาพต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากสัตว์และเมล็ดพืช ตระกูลถั่ว ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนจากเมล็ดธัญพืชมีปริมาณไลซีนอยู่น้อย อย่างไรก็ตามโปรตีนจาก ข้าวกล้องมีปริมาณไลซีนสูงกว่าธัญพืชอื่นและสามารถย่อยได้สมบูรณ์กว่าอีกด้วย การที่โปรตีน ของข้าวย่อยได้ดีอาจเนื่องจากข้าวมีเส้นใย และแทนนินต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2546, หน้า 34)

ปริมาณไขมันของข้าวกล้องจากทุกส่วนของเมล็ดจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน กรดไขมัน ส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิก (oleic) ลิโนเลอิก (linoleic) และพาลมิติก (palmitic) ในข้าวสารดิบมีสาร antioxidant อยู่คือ โอริซานอล (oryzanol) และโทโคฟีรอล (tocopherols หรือวิตามินอี) สารนี้จะ

ช่วยระงับปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน ทำให้น้ำมันที่สกัดได้คงอยู่หรืออยู่ได้นานโดยไม่หืน นอกจากนี้ ทั้งโอรีซานอลและโทโคฟีรอล ยังช่วยเร่งการเจริญเติบโต การไหลเวียนของโลหิตและการหลั่งฮอร์โมนของร่างกาย และมีรายงานว่าในเมล็ดข้าวมีวิตามินบีหนึ่ง และวิตามินบีสองอยู่น้อย แต่มีไนอะซินมากพอสมควร วิตามินนี้มีอยู่หนาแน่นตามบริเวณผิวของเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวเป็นข้าวสารจึงทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะวิตามินไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับการขัดสีด้วย ส่วนแร่ธาตุที่พบในข้าวกล้องมีรวมกันมากกว่า 20 ชนิด แต่ที่สำคัญและสามารถเปรียบเทียบสารอาหารประเภทแร่ธาตุในข้าวกล้องกับข้าวขัดขาวที่เด่นชัด คือ เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาวในข้าว 100 กรัม (ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี, 2543, หน้า 79) ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างข้าวกล้องและข้าวขัดขาว

สารอาหาร	ข้าวกล้องมากกว่าข้าวขาว (%)
โปรตีน	19
วิตามินบี 2	385
ไนอะซิน	66
กรดแพนโทเทนิค	463
กรดโฟลิก	581
เหล็ก	455
แคลเซียม	100
แมกนีเซียม	33
แมงกานีส	271
สังกะสี	67
โคบอลท์	27
ทองแดง	397
ซิลิเนียม	57
ไอโอดีน	22

ที่มา ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี, 2543, หน้า 80

Srisook and Naivikul (2004) ทดลองผลิตข้าวกล้องแช่เยือกแข็งโดยใช้ข้าว 3 พันธุ์ คือ เหนียวสันป่าตอง ขาวดอกมะลิ 105 และขาวตาแห้ง 17 ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับ 6.32, 15.65 และ 22.02 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นำมาหุงด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า และเคลือบด้วยสารเคลือบ (น้ำใบเตย, น้ำมันรำข้าว, สตาร์ชตัดแปร, และกัม) จากนั้นนำมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ - 30 องศาเซลเซียส และนำมาทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 18 องศาเซลเซียส ทำการเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัส และการคืนตัวของสารเคลือบ หลังจากการแช่แข็ง และละลายเป็นเวลา 5 รอบ เปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบสาร พบว่าข้าวกล้องที่เคลือบสารมีความแข็งน้อยกว่าข้าวกล้องที่ไม่ได้เคลือบสาร และทางด้านการคืนตัวพบว่า ข้าวกล้องที่มีสารเคลือบจะคืนตัวน้อยกว่าข้าวกล้องที่ไม่มีสารเคลือบ

ข้าวมันปู (Red rice)

ข้าวมันปู หรือข้าวแดง ที่ใช้บริโภคเป็นพันธุ์ข้าวปลูกเพื่อใช้บริโภค และจำหน่ายในตลาด นิยมเรียกแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น เช่น ข้าวมันปูในภาคกลาง ข้าวกริบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และข้าวสังข์หยดในภาคใต้ ปกติข้าวมันปูเป็นข้าวพันธุ์หนึ่งที่มีเยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) ข้าวเป็นสีมันปู คือ สีแดงแบบมันปู นับว่าเป็นข้าวกล้องชนิดหนึ่งที่มีแข็ง ข้าวมันปูเป็นส่วนผสมของอาหารชีวจิตในธัญพืช 9 ชนิด นิยมนำข้าวมันปูมาบริโภคทั้งเมล็ด และจำหน่ายกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะข้าวแดงหอมมะลิ จัดเป็นธัญพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถเจริญเติบโตได้ดี เมล็ดร่วงง่าย สีของข้าวเปลือกเป็นสีฟางหรือสีน้ำตาลดำ เมล็ดข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มตั้งแต่สีแดงจาง ๆ จนถึงสีแดงเข้ม เมล็ดมีขนาดเล็กและแข็ง เวลาหุงจะสุกยาก แข็งกระด้าง ไม่มีความหอม โดยทั่วไปจะนิยมบริโภคในรูปของข้าวกล้อง ใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยปนกับข้าวขาวหุงหรือต้ม เพื่อให้เกิดรสชาติในการบริโภค จากตารางการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องมันปู ข้าวขาว และข้าวกล้องหอมมะลิ (น้ำหนักข้าว 100 กรัม) พบว่าสารอาหารอยู่ในข้าวมันปู คือ โปรตีน ฟอสฟอรัส แคลเซียม วิตามินบี 2 และไนอะซิน มีปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการกับข้าวขาว และข้าวกล้องหอมมะลิ ดังแสดงในตาราง 5 ประโยชน์จากการรับประทานข้าวกล้องมันปู คือ ช่วยในการป้องกันโรคหัวใจ แขนขาไม่มีกำลัง ระบบย่อยอาหารที่ไม่ปกติ และโรคโลหิตจางในผู้หญิง เนื่องจากข้าวมันปูมีปริมาณ อะไมโลส 16.9 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกน้อย จึงเป็นข้าวที่มีความแข็งกระด้าง ไม่มีความหอม และหุงสุกยาก ฉะนั้นในผู้ผลิตบางรายนิยมนำข้าวขาวปนกับข้าวกล้องมันปูเพื่อจำหน่าย (บริบูรณ์ สมฤทธิ์, 2542, หน้า 4 - 7)

James, et al. (2006) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและโครงสร้างของสตาร์ชของข้าวแดง (ข้าวมันปู) 6 ตัวอย่างเปรียบเทียบกับข้าวขาวพันธุ์เมล็ดยาว จากประเทศอเมริกาได้พบว่า มี

ปริมาณอะไมโลส ปริมาณโปรตีน การไหลของแป้งเปียกมากกว่า และทนต่ออุณหภูมิสูงกว่าข้าวขาวที่มีเมล็ดยาว ส่วนโครงสร้างของสตาร์ชนั้นแตกต่างกันอย่างชัดเจน การศึกษาในครั้งนี้เป็นประโยชน์ในการคัดแยกข้าวแดงพันธุ์พื้นเมืองออกจากข้าวแดงที่มีการตัดแต่งพันธุกรรมได้

ตาราง 5 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวมันปู ข้าวขาว และข้าวกล้องหอมมะลิ

คุณค่าทางโภชนาการ	ข้าวกล้องมันปู	ข้าวหอมมะลิ	
		ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	362	357	345
โปรตีน (%)	6.2	5.4	7.6
ไขมัน (%)	3.3	1.0	1.8
คาร์โบไฮเดรต (%)	76.9	81.5	76.0
เยื่อใย (%)	0.9	0.1	0.7
แคลเซียม (%)	65	29	16
ฟอสฟอรัส (%)	99	74	246
เหล็ก (%)	0.2	0.6	2.8
วิตามินบี 1 (%)	0.037	0.18	0.34
วิตามินบี 2 (%)	0.96	0.27	0.07
ไนอะซิน (%)	2.2	1.2	5.0

ที่มา บริบูรณ์ สมฤทธิ์, 2542, หน้า 7

คุณภาพเมล็ดข้าว

ข้าวเป็นพืชที่ทำรายได้ให้ประเทศสูงชนิดหนึ่ง ปกติจะส่งออกในรูปแบบข้าวสารโดยตรง ราคาข้าวขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้าว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณภาพการสี คุณภาพการหุงต้มที่ผู้บริโภคต้องการ โดยทั่วไปราคาข้าวที่ได้จะไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชชนิดอื่น และไม่สามารถต่อรองราคาได้มากในตลาดโลก (ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี, 2543, หน้า 93) ปัจจุบันการผลิตข้าวนอกจากจะคำนึงถึงผลผลิตแล้วยังต้องคำนึงถึงคุณภาพเมล็ดควบคู่กันด้วย

คุณภาพข้าวถูกควบคุมด้วยลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ได้แก่ การเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา ดังนั้นในการพัฒนาพันธุ์ข้าวนอกจากจะคำนึงถึงผลผลิตที่สูงแล้ว ควรให้มีคุณภาพเมล็ดทั้งคุณภาพการสีและคุณภาพการหุงต้มและรับประทานด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแข่งขันทางการค้าขายในตลาดโลก คุณภาพข้าวจะเป็นตัวกำหนดระดับราคาข้าว ซึ่งการกำหนดมาตรฐานข้าว เพื่อการส่งออกของประเทศค้าข้าวทั้งหลายดังกล่าวแล้ว มักใช้คุณสมบัติเมล็ดทางกายภาพในการจำแนกเกรดของข้าวทุกชนิด เนื่องจากมีความชัดเจนและสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว (กรมวิชาการเกษตร, 2545, หน้า 1)

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโดยการปรับปรุงคุณภาพเมล็ด มี 2 ลักษณะคือ คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพการหุงต้มตลอดจนการรับประทาน คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ (1) ขนาดและรูปร่างของเมล็ด (2) ท้องไข่ (chalkiness) เป็นจุดขาวทึบแสงภายในเมล็ดซึ่งเกิดจากผลึกแป้งภายในเมล็ดอัดกันไม่แน่นพอ เกิดเป็นช่องอากาศเล็ก ๆ ขึ้น การปรับปรุงคุณภาพเมล็ดต้องคัดเลือกข้าวที่มีท้องไข่น้อย (3) คุณภาพการสี คือปริมาณข้าวสารและต้นข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือก สำหรับคุณภาพการหุงต้มเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตัดสินใจการเลือกซื้อข้าวของผู้บริโภค ทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกัน ดังนั้นเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อคุณภาพในการหุงต้ม และคุณภาพการรับประทาน ซึ่งอาจมีผลมาจากปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ (1) ความแตกต่างของพันธุ์ข้าว (2) อายุการเก็บรักษา (ความใหม่ - เก่า) ของข้าว (3) กระบวนการแปรรูปข้าว ดังนั้นจึงควรมีวิธีการหุงต้มข้าวให้เหมาะสมกับพันธุ์ข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 170)

สำหรับสมบัติทางเคมีเป็นลักษณะขององค์ประกอบของแป้งในเมล็ด และสามารถบอกได้ถึงคุณภาพการหุงต้ม ได้แก่ (1) ปริมาณอะไมโลส การหุงต้มข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงต้องการปริมาณน้ำมาก และเมื่อสุกจะได้ข้าวร่วนฟู ได้ข้าวปริมาณมาก เป็นข้าวขึ้นหม้อ ในขณะที่ข้าวอะไมโลสต่ำเป็นข้าวเหนียวเกาะติดกันเป็นก้อนและไม่ขึ้นหม้อ (2) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) ข้าวที่มีค่าความคงตัวอ่อน เมื่อสุกแล้วจะนุ่มกว่าข้าวที่มีค่าคงตัวแข็งหากข้าวทั้งสองมีปริมาณอะไมโลสอยู่ในระดับเดียวกัน (3) การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation ratio) ในระหว่างการหุงต้ม เช่น เมล็ดข้าวจะขยายตัวด้านความยาว ช่วยให้เป็นข้าวขึ้นหม้อ เป็นต้น (งามชื่น คงเสรี, 2542, หน้า 18)



1. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ

1.1 สีของข้าวกล้อง (pericarp color)

สีของข้าวกล้อง เป็นลักษณะประจำพันธุ์เช่นเดียวกับสีเปลือกของข้าวเปลือก ควบคุมโดยจีน (gene) หลายคู่ที่ทำการสร้างสารสีประเภทแอนโทไซยานิน (anthocyanin) สีข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มเมล็ด (pericarp) สำหรับส่วนที่เป็นแฉ่ง (endosperm) ของข้าวทุกชนิดจะมีสีขาวเสมอ ข้าวกล้องมีสีต่าง ๆ กันซึ่งประเทศไทยพบพันธุ์ข้าวที่ให้สีข้าวกล้องจัดกลุ่มได้ 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ (ม่วงดำ) คุณภาพข้าวกล้องที่เกี่ยวข้องกับสีจึงขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้บริโภครวม ซึ่งถ้าผู้บริโภคชอบบริโภคข้าวขัดขาว ทำให้ข้าวกล้องต้องมีสีขาวด้วยเพื่อไม่ให้ต้องใช้แรงขัดมาก และข้าวไม่หักมาก และถ้าผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวกล้องโดย เฉพาะข้าวกล้องที่สีเข้มเพราะให้คุณค่าทางอาหารมากกว่าข้าวขัดขาว ก็ไม่ต้องขัดสีของข้าวกล้องออกไป วิธีการตรวจสอบสีของข้าวกล้องยังใช้การดูด้วยตาเปล่าหรือดูผ่านกล้องขยายให้เห็นชัดเจนขึ้น

1.2 ขนาดรูปร่างเมล็ด (grain dimension)

ขนาดรูปร่างของเมล็ด ได้แก่ ความยาว (length) ความกว้าง (width) ความหนา (thickness) และรูปร่าง (shape) ขนาดรูปร่างของเมล็ดข้าวเป็นลักษณะประจำพันธุ์ เพื่อจำแนกพันธุ์ข้าว และใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการซื้อขายข้าวของประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวสาร ข้าวกล้อง และข้าวเปลือกได้ผลดังตาราง 6 ที่บอกขนาด และชนิดเมล็ด โดยวัดรูปร่างจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง และความหนาของเมล็ด ได้ดังนี้

ความยาวของเมล็ด	หมายถึง	ระยะทางจากปลายยอดสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด
ความกว้างของเมล็ด	หมายถึง	ระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดระหว่างเมล็ด
ความหนาของเมล็ด	หมายถึง	ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างด้านหนึ่งไปยังอีก

ด้านหนึ่ง

1.3 ความแข็ง (Hardness)

ความแข็งของข้าวหุงสุกเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อข้าว ซึ่งผู้ซื้อคาดหวังที่จะได้ข้าวสุกที่มีความนุ่มเหนียว (งามขึ้น คงเสี, 2546, หน้า 82) โดยสามารถวิเคราะห์ค่าความแข็งโดยตรง คือใช้เครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture tester) เช่น Instron food tester ที่ใช้หัวตัดชนิด kramer shear cell โดยมีหลักการทำงานดังนี้ คือ ขณะที่ใบมีดของ Kramer cell เคลื่อนลงบนอาหาร อาหารนั้นจะถูกบีบอัด ขณะที่อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างต่อเนื่องนั้นจะเกิดการไหลไปทางด้านบนระหว่างใบมีด และด้านล่างผ่านช่องใน cell bottom มีดถึงช่องของ cell bottom ตัวอย่างจะถูกเฉือน แรงที่ใช้จะเคลื่อนใบมีดสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัส แรงใน

หลายขั้นตอนของการทดสอบ (compression, extrusion และ shear) จะให้ข้อมูลเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของเนื้อสัมผัส

ตาราง 6 ขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร

ลักษณะเมล็ด	ชนิดเมล็ด	ความยาว (ม.ม.)	ความกว้าง (ม.ม.)	อัตราส่วน ยาว/กว้าง	น้ำหนักเมล็ด มก./เมล็ด
ข้าวสาร	ยาว	6.5 – 7.5	1.9 – 2.2	3.01 – 3.7:1	15 – 21
	ปานกลาง	5.4 – 6.0	2.3 – 2.7	2.11 – 2.6:1	17 – 21
	สั้น	5.0 – 5.2	2.5 – 2.9	1.71 – 2.0:1	18 – 22
ข้าวกล้อง	ยาว	6.8 – 8.0	2.0 – 2.3	3.01 – 3.8:1	16 – 20
	ปานกลาง	5.8 – 6.3	2.4 – 2.8	2.21 – 2.7:1	18 – 22
	สั้น	5.2 – 5.4	2.6 – 3.0	1.81 – 2.0:1	20 – 23
ข้าวเปลือก	ยาว	8.7 – 9.9	2.3 – 2.5	3.41 – 4.0:1	21 – 24
	ปานกลาง	7.8 – 8.4	2.9 – 3.2	2.51 – 2.8:1	23 – 25
	สั้น	7.2 – 7.3	2.9 – 3.4	2.11 – 2.4:1	24 – 29

ที่มา อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 145

2. คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี

2.1 โปรตีน (Protein content)

โปรตีนเป็นสารอาหารที่พบมากในเมล็ดข้าวเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ และโดยทั่วไปจะมีปริมาณน้อยกว่าในธัญชาติชนิดอื่น ในเมล็ดข้าวสารจะมีโปรตีนประมาณ 6 - 7 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้นพลเมืองของประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก จึงได้รับโปรตีนน้อยกว่าพลเมืองของประเทศที่บริโภคข้าวสาลีในรูปของอาหารต่างๆ เป็นหลัก เพราะข้าวสาลีมีโปรตีนประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ (ชาญ มงคล, 2536, หน้า 33) แม้ว่าปริมาณโปรตีนจะไม่ค่อยถูกอ้างถึงคุณภาพข้าวสุกแต่มีบางรายงานพบว่า โปรตีนโดยเฉพาะที่อยู่ส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาหุงต้มเมล็ดข้าวให้สุกนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว ในการขัดสีข้าวจึงขัดเอาเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดออกไปมาก นอกจากนี้ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยากจึงอาจมี

ระดับการขัดสีต่ำกว่า (มีรำเหลือมาก) และทำให้ข้าวสุกนั้นมีความเหนียวน้อยลง และมีสีคล้ำ (ศุนยวิชัยข้าวปราจีนบุรี, 2543, หน้า 82)

โปรตีนที่มีในเมล็ดข้าวเกิดขึ้นตามส่วนต่าง ๆ ของเมล็ด โดยมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอกจะมีโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ด โมเลกุลของโปรตีนที่รวมตัวกันเป็นรูปร่างโปรตีน (protein bodies) ซึ่งมีกลูเตลินเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ภายในนั้นจะมี 3 รูปแบบ คือ แบบผลึก แบบรูปร่างกลมขนาดเล็ก และรูปร่างกลมขนาดใหญ่ ซึ่งโปรตีนที่กระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเมล็ดส่วนใหญ่เป็นโปรตีนรูปร่างกลมขนาดเล็ก ส่วนโปรตีนรูปร่างกลมขนาดใหญ่มีปริมาณน้อยกว่า โดยในองค์ประกอบของโปรตีนจะเป็นโปรลามิน ร่วมกับกลูเตลิน สำหรับร่างแหโปรตีน (protein matrix) จะพบน้อยมาก หรือไม่พบเลยในเนื้อเมล็ดของข้าวซึ่งต่างธัญพืชชนิดอื่น ถ้าพบก็จะมีลักษณะเชื่อมโยงเป็นเส้นโปรตีน (protein fibrils) เนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อเมล็ดจะแทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช โดยทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชไม่เสียรูปร่างได้ง่าย และทำให้โมเลกุลของอะไมโลสไม่ซึมผ่านออกไป มีผลต่อลักษณะความอ่อน หรือแข็งของเจลเมื่อเย็นลง ซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่มีลักษณะนุ่ม เหนียว หรือร่วน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 164)

Sujatha, Ahmad and Bhat (2003) ทำการศึกษาพบว่าข้าวกล้องสายพันธุ์ *Jaya* มีปริมาณโปรตีน 9.46 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อนำไปผ่านกระบวนการผลิตเป็นข้าวหนึ่ง (parboiled rice) ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเป็น 10.4 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีความแข็ง และขาวใสมากกว่าเมล็ดที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ

2.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้นเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ดทั้งทางตรงและทางอ้อม คือ ปริมาณความชื้นของข้าวทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสารใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานเพื่อการซื้อขาย ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกำหนดราคาข้าว ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสมและเมื่อนำมาลดความชื้นเหลือปริมาณ 13 – 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง เนื่องจากข้าวที่แห้งมีความชื้นเหมาะสมสามารถทำการขัดสีได้ทันที โดยไม่ต้องนำมาทำการลดปริมาณความชื้นอีก (กรมวิชาการเกษตร, 2545, หน้า 23) และในทางอ้อมคือ ความชื้นสามารถบ่งชี้ได้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าวหรือบอกได้ถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี โดยทั่วไปความชื้นที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสมคือ 13 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะเก็บได้ดีภายในเวลา 6 เดือน และถ้าข้าวมีความชื้นต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์จะเก็บได้นานขึ้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 168)

3. คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมีกายภาพ

3.1 ปริมาณอะไมโลส (Amylose content)

อะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง เปอร์เซ็นต์ของอะไมโลสในเมล็ดข้าวเจ้าสายพันธุ์อินดิกาและจาปอนิกาก็แตกต่างกันด้วย ข้าวอินดิกามีอะไมโลสประมาณ 20 - 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์จาปอนิกามีเพียง 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ (ประพาส วีระแพทย์, 2531, หน้า 27) แม้ว่าแป้งข้าวจะมีอะไมโลเพคติน ปริมาณมากกว่าอะไมโลส โดยทั่วไปนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยใช้อะไมโลสเป็นหลัก ทั้งนี้เมื่อกล่าวถึงเปอร์เซ็นต์อะไมโลสมีความหมายว่าส่วนที่เหลือของแป้งเป็นอะไมโลเพคติน ในแป้งข้าวเจ้าจะมีอะไมโลสประมาณ 10 - 34 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์กับคุณภาพในการหุงต้ม และการบริโภคและเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรืออ่อนมากขึ้น และทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอะไมโลสที่สุกแล้ว ได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวในประเทศไทยตามปริมาณอะไมโลส ดังตาราง 7 ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจึงมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวที่มีอะไมโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะได้ข้าวสุกที่มีลักษณะเละ

ตาราง 7 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	1 - 2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมาก	2 - 9	เหนียว นุ่มมาก
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	9 - 20	เหนียว นุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง	20 - 25	นุ่ม ค่อนข้างเหนียว
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	25 - 33	ร่วน แข็ง

ที่มา กรมวิชาการเกษตร, 2545, หน้า 12

Iturriaga, Mishima and Anon (2006) ทำการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส 3 ชนิด คือ Total amylose (TAM), Insoluble amylose (IAM) และ Soluble amylose (SAM) ในแป้งจากข้าวทั้งหมด 7 ชนิดที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน (high, intermediate & waxy) โดยวิธีการย้อมด้วย

ไอโอดีน ที่ใช้ amylose from potato เป็นตัวอย่างมาตรฐานในการเปรียบเทียบ สามารถแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส (Total amylose) ได้ดังนี้คือ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (EL PASO 144, SAN MIGUEL และ H-144-7) ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลาง (PALMAR และ RICO) สุดท้ายคือ ข้าวเหนียว (W4109 และ W4111) จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์หา Soluble amylose ต่อด้วยวิธีการย้อมด้วยไอโอดีนเช่นเดียวกัน ส่วนปริมาณ Insoluble amylose คำนวณได้จากสูตร (IAM = TAM - SAM)

ส่วนเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายอะไมโลส หรือสับสเตรจ์พวกแป้ง ไกลโคเจน ได้แก่ อะไมเลส ซึ่งมีอยู่หลายชนิด เช่น เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส พบทั่วไปในอาณาจักรพืชและสัตว์ ตลอดทั้งในคน มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายแป้งเป็นโอลิโก และไดแซ็กคาไรด์ ลักษณะที่สำคัญของเอนไซม์ในการย่อยสลาย คือ เจาะจงต่อการสลายพันธะไกลโคซิลของแป้งที่ α -1,4 (ปราณี อานเบ็รื่อง, 2547, หน้า 117) จึงเป็นผลให้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสทำให้ความหนืดของสตาร์ชลดลง ผลจากการย่อยนี้ทำให้ อะไมโลส และอะไมโลเพคตินเปลี่ยนเป็นกลูโคส และมอลโทส (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540, หน้า 156)

3.2 ความหนืดของแป้งข้าว (Viscosity of rice flour)

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้งและการตัดแปรงแป้งด้วยวิธีต่าง ๆ วิธีการตรวจวัดความหนืดสามารถกระทำได้หลายวิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลักการงานและอ่านค่าความหนืดต่าง ๆ กัน ดังนี้

3.2.1 การใช้เครื่อง Brookfield viscometer สามารถวัดความหนืดได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การทำงานของเครื่องเกิดจากการหมุนของวัตถุทรงกระบอก หรือแผ่นจานในของเหลวด้วยอัตราเร็วคงที่ ค่าความหนืดของของเหลววัดได้จาก ค่าความต้านทานการหมุนของของเหลวที่อัตราเร็วคงที่ แรงต้านจะทำให้สปริงเกิดการยืดตัวโดยแสดงด้วยเข็มสีแดงบนหน้าปัดเครื่อง ค่านี้อ่านด้วยค่าคงที่ตามความเร็ว ขนาดและชนิดของเครื่อง Brookfield viscometer เครื่องนี้ได้หน่วยเป็นเซนติพอยส์ (centipoises)

3.2.2 การใช้เครื่อง Capillary viscometer สามารถใช้วัดความหนืดได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เท่านั้นได้หน่วยของความหนืดเป็น mPa.s

3.2.3 การใช้เครื่อง Brabender amylograph ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมแพร่หลาย หลักการทำงานคือ การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างกาทำให้ร้อนจนถึงขั้นการทำให้เย็น ติดตามผล และแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ได้หน่วย

ความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) สามารถเปลี่ยนเป็น centipoises ได้โดยเทียบ ความหนืดของสารละลายแป้งสุก 5 เปอร์เซ็นต์ ความหนืด 500 BU เท่ากับ 2,700 centipoises

3.2.4 Rapid Visco Analyser (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องพิจารณาความหนืดขณะที่ให้ความร้อน คุณสมบัติพิเศษคือมีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิสามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ จึงทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดีกว่า และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า (กล้านรงค์ ศรีรอยดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543, หน้า 42)

3.3 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

ความคงตัวของแป้งสุกเป็นวิธีที่พัฒนามาเพื่อหาความแตกต่างของข้าวที่มีอะไมโลสใกล้เคียงกัน ทั้งนี้มีผลจากการคืนตัวของสตาร์ชเมื่อเย็นแล้วให้ลักษณะเจลแข็ง หรืออ่อนนุ่มทำให้สามารถคาดคะเนคุณสมบัติของข้าวสุกได้ดีขึ้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 194) การทดสอบความแข็งของแป้งสุกสามารถทดสอบจากการอ่านระยะทางแป้งไหล แป้งข้าวตามความคงตัวของแป้งสุกเป็น 3 ประเภท ดังตาราง 8 ดังนั้นหากข้าวมี 2 พันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูงใกล้เคียงกัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน เมื่อนึ่งเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่มีความแข็งกระด้างน้อยกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง

ตาราง 8 การแบ่งประเภทข้าวเจ้าตามความคงตัวของแป้งสุก

ประเภทแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.)
แป้งสุกแข็ง	26 – 40
แป้งสุกปานกลาง	41 – 60
แป้งสุกอ่อน	61 – 100

ที่มา กรมวิชาการเกษตร, 2545, หน้า 13

รุจิรา และคณะ (2550) ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเมล็ดข้าวที่เหมาะสมสำหรับทำขนมปลากุ้งสำเร็จรูปโดยใช้ข้าว 6 สายพันธุ์ คือ เจียงพัทลุง แก่นจันทร์ ลูกแดงปัตตานี ขาวดอกมะลิ 105 ก้นดั่ง และพันธุ์มาเล พบว่าข้าวพันธุ์ลูกแดงปัตตานี แก่นจันทร์ และก้นดั่ง มีคุณภาพทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับทำขนมปลากุ้งสำเร็จรูปเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์มาเลย์ คุณภาพทาง

เคมีที่เหมาะสมมีค่าปริมาณอะไมโลสตั้งแต่ 25.84 – 30.84 เปอร์เซ็นต์ ความคงตัวของแป้งสุก 33 – 48 มิลลิเมตร ค่าสลายตัวในด่าง (KOH 1.7 %) ของเมล็ดข้าวระดับ 4 – 6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำมาทำเป็นแป้งจะได้แป้งที่มีลักษณะเหนียวนุ่มเหมาะสมกับการทำขนมปลากุ้งสำเร็จรูป

Yu and Wang (2006a) ศึกษาสมบัติของแป้งข้าวหลังจากการฉายรังสี ในด้านความคงตัวของเจล (Gel consistency) โดยวิธีการใช้ข้าวที่บดเป็นแป้งแล้ว 5 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 N ทั้งหมด 5 กรัม วัดระยะทางการไหลของน้ำแป้ง พบว่าข้าวตัวอย่างควบคุมมีระยะทางการไหลของเจล 70.1 ± 0.3 มม. เป็นข้าวที่มีความนุ่มมาก ส่วนข้าวที่ทำการฉายรังสีแกมมา 5 kGy มีระยะทางการไหลของน้ำแป้งถึง 100 มม. คือข้าวที่ได้มีความนุ่มมาก แป้งข้าวไม่มีความเหนียวเลย

3.4 ค่าการสลายตัวในด่าง (Alkaline test)

ค่าการสลายตัวในด่างเป็นการวัดอุณหภูมิการเกิดเจลลาทีไนเซชัน (Gelatinization temperature, GT) วิธีหนึ่ง เนื่องจากผู้บริโภคส่วนใหญ่รับประทานข้าวในลักษณะข้าวหุงสุกทั้งเมล็ด และในข้าวมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักถึง 88 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการหุงข้าวให้สุก จะมีผลทำให้สตาร์ชเกิดเจลลาทีไนซ์ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 183) โดยโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำ และพองตัว (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543, หน้า 53) วิธีการวัดค่าการสลายตัวในด่างทำได้โดยการสลายตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายด่าง (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.7%) เป็นเวลา 23 ชั่วโมง วัดค่าการสลายตัวเป็นคะแนน 1 - 7 ตามวิธีของ Yu and Wang. (2007) คือ 1 = เมล็ดข้าวยังสมบูรณ์ 2 = เมล็ดข้าวเริ่มพองตัว 3 = เมล็ดข้าวพองตัว และมีโครงร่างของเมล็ดอยู่ 4 = เมล็ดข้าวพองตัวเต็มที่ แต่ไม่มีโครงร่างของเมล็ด 5 = เมล็ดข้าวเมล็ดแยกจากกัน 6 = เมล็ดข้าวสลายตัวแต่ยังเห็นเนื้อเมล็ดข้าว และ 7 = เมล็ดข้าวสลายตัวหมดโดยไม่เห็นลักษณะเมล็ดข้าวเหลืออยู่ ค่าที่วัดได้บอกได้ว่า ถ้าข้าวที่มีการสลายตัวในด่างสูงต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีการสลายตัวในด่างต่ำ

จิริศักดิ์ และคณะ (2546) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมี และเคมีกายภาพของข้าวขาวดอกมะลิสายพันธุ์ 105 ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ α - อะไมเลส ของข้าวที่เก็บไว้ทั้ง 2 อุณหภูมิเท่ากับ 0.9 - 7.8 และ 0.9 - 9.6 U / 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวสารที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวสารที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา คุณสมบัติความเหนียววัดโดย

เครื่องวัดความหนืด RVA ของแป้งข้าวสารพบว่ามีความเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเก็บข้าวไว้ที่อุณหภูมิสูง

Lee, et al. (1995) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเสริมแคลเซียมพบว่าข้าวที่มีการเสริมและไม่เสริมแคลเซียมนั้นมีลักษณะสัมผัสที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะค่าความแข็งและค่าความแน่นเนื้อ ซึ่งในข้าวที่มีการเสริมแคลเซียมมีค่ามากกว่าแต่ค่าการไหลของแป้งเปียกพบว่าในข้าวเสริมแคลเซียมมีค่าน้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกพบว่าข้าวที่เสริมแคลเซียมมีคะแนนด้านความนุ่มและความเหนียวติดกันมากกว่าข้าวที่ไม่ได้เสริมแคลเซียม

Otegbayo, Osamuel and Fashakin (2001) ศึกษาผลกระทบของข้าวหนึ่งสองชนิด (ข้าวขาว และข้าวกล้อง) ในประเทศไนจีเรียที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ โดยใช้ข้าวเปลือกในพื้นที่ของประเทศ ผลการทดลองนี้รายงานเป็นสมบัติทางเคมีกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำ เวลาที่ใช้ในการหุงต้ม ปริมาณอะไมโลส โปรตีนไขมัน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งพบว่า ข้าวหนึ่งนั้นมีปริมาณของ โปรตีน ไขมัน ปริมาณอะไมโลส และเวลาที่ใช้ในการหุงต้มน้อยกว่าข้าวสารขาว ส่วนค่าอื่น ๆ ที่เหลือข้างต้นรวมทั้งวิตามินของข้าวหนึ่งมีค่ามากกว่าข้าวสารขาว

Singh, et al. (2005) ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ และคุณภาพการหุงต้มของข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ในประเทศอินเดียทั้งหมด 23 สายพันธุ์โดยศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติต่าง ๆ โดยใช้วิธี Pearson correlation พบว่าปริมาณของอะไมโลสมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการหุงสุกในทิศทางตรงข้าม แต่มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันกับค่าการสูญเสียของปริมาณของแข็ง ปริมาตร และค่าความแข็ง เช่นเดียวกับที่รายงานว่าการเกาะติดกันมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณอะไมโลสและค่าการสูญเสียของปริมาณของแข็ง แต่มีทิศทางตรงข้ามกับเวลาที่ใช้ในการหุงสุก

4. คุณภาพการหุงต้ม และการรับประทาน

4.1 ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time)

การต้มหรือหุงเมล็ดข้าวให้สุกต้องไม่มีไตของแป้งดิบภายในเมล็ด ซึ่งระยะเวลาที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) สามารถประมาณได้จากค่าความหนืด (Viscosity) หรือจากค่าการสลายเมล็ดข้าวสารในสารละลายด่าง (Alkali test) แม้ว่าระยะเวลาหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุกดังกล่าว แต่ความหนาของเมล็ดข้าวทำให้ต้องยืดเวลาหุงต้มออกไปอีก ในทำนองเดียวกันโปรตีนซึ่งมีมากตามบริเวณผิวด้านนอกของเมล็ด เช่น ข้าวกล้องก็อาจ

มีอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำ และทำให้เวลาหุงต้มนานออกไปอีก (กรมวิชาการเกษตร, 2545, หน้า 13)

4.2 การยืดตัวของเมล็ด (Elongation)

การยืดตัวของเมล็ด เป็นคุณลักษณะที่เป็นคุณภาพพิเศษของข้าวซึ่งจะช่วยเสริมให้เมล็ดข้าวสุกมีปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะข้าวสุกนั้นเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน ซึ่งในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้นไม่อัดกันแน่น

4.3 ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น (Volume expansion)

ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น หรือการขยายปริมาณของข้าวหลังการหุงสุก มีวิธีการทำหลายวิธีขึ้นอยู่กับหลักการของนักวิจัยแต่ละกลุ่ม วิธีที่สะดวกวิธีหนึ่งคือ การหุงข้าวในภาชนะที่วัดปริมาตร หรือความสูงของข้าว ด้วยน้ำที่ปริมาณคงที่ และเวลาหุงคงที่ในอ่างน้ำเดือดเปรียบเทียบปริมาตรหรือความสูงของข้าวสุกที่ข้าวขยายตัวขึ้น

4.4 การดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การดูดซึมน้ำของข้าวสุกที่ผ่านการหุงต้ม หรือการอมน้ำไว้ของข้าวสุก อาจใช้วิธีชั่งน้ำหนักคงที่ข้าวสาร แล้วคำนวณผลต่างของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของข้าวสุกกับข้าวสาร หรือชั่งน้ำหนักของน้ำที่ใช้หุงข้าวสารก่อน และหลังจากหุงข้าวสุก หรือ ชั่งน้ำที่เหลือจากการอมน้ำของข้าวได้เป็นน้ำหนักที่ข้าวสุกอมน้ำไว้ ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีในการวัดคุณภาพของข้าวสุกต่อการดูดซึมน้ำเข้าไประหว่างการหุงต้ม (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 172)

คุณภาพการรับประทานของข้าว (Eating quality) เป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกัน (กรมวิชาการเกษตร, 2545, หน้า 11) คุณภาพการรับประทานของข้าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพการหุงต้ม เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสข้าวตามคุณภาพการรับประทานของผู้บริโภค การตรวจสอบที่ตรงประเด็นที่สุด คือการตรวจสอบโดยใช้ประสาทสัมผัส (Sensory) การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่มีความสำคัญมากในวงการอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งนักวิทยาศาสตร์การอาหาร และผู้ที่มีความรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องกับด้านนี้ ให้ความสำคัญในการประเมินทางประสาทสัมผัสไม่น้อยไปกว่าศาสตร์แขนงอื่น ลักษณะข้าวหุงสุกที่ให้ผู้ชิมประเมินคือ กลิ่น (aroma), กลิ่นรส (flavor) หรือรสชาติ (taste), ความนุ่ม (tenderness) หรือความแข็งหรือกระด้าง (hardness), ความเกาะตัวกัน (cohesiveness)

หรือความเหนียวติดกัน (stickiness), ลักษณะปรากฏ (appearance) และความขาว (whiteness) หรือสี (color) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547, หน้า 174)

Yau and Huang (1996) วิเคราะห์ลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก 4 สายพันธุ์ที่ใช้การทดสอบเชิงพรรณนา และให้คะแนนในช่วง 1 ถึง 15 แบ่งเป็น 1 = อ่อน 7 = ปานกลาง 15 = เข้มมาก โดยการเสิร์ฟตัวอย่างแบบ 2 อุณหภูมิให้ผู้ทดสอบชิมคือ 18 องศาเซลเซียส (หุงสุกแล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง) และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (หุงสุกแล้วเสิร์ฟตัวอย่างทันที) ลักษณะข้าวหุงสุกที่ให้ผู้ชิมประเมิน ได้แก่ กลิ่นของข้าวสุก (hot – rice aroma), ความแข็งหรือกระด้าง (hardness), ความเกาะตัวกัน (cohesiveness), ความหลวม (looseness), กลิ่นของข้าวกล้อง (brown – rice aroma), ความหวาน (sweetness), กลิ่นของข้าวสุกเมื่อเย็น (cold – rice aroma), ลักษณะการเคี้ยว (chewiness)

Qingyun, et al. (2007) ทำการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกทั้งหมด 90 สายพันธุ์ โดยวิธี Four – samples sensory tests ให้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 20 คน ประเมิน 7 ลักษณะ คือ กลิ่น (aroma), รสชาติ (taste), ลักษณะปรากฏ (appearance) ความสว่าง (brightness) และความน่ารับประทาน (palatability) ให้ระดับคะแนนตั้งแต่ -5 ถึง 5 ส่วนความเหนียว (stickiness), และความแข็งหรือกระด้าง (hardness) ให้ระดับคะแนนตั้งแต่ -3 ถึง 3 การหุงใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 1.4 แช่น้ำทิ้งไว้ 30 นาที ก่อนนำไปหุงเป็นเวลา 20 นาที และอุ่นไว้ก่อน 10 นาที จึงเสิร์ฟให้ผู้ทดสอบชิม โดยทดสอบช่วงเช้าเวลา 10.00 น. และช่วงบ่ายเวลา 15.30 น. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ แสดงผลออกมาเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยวิธีรีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร