บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าวเจ้า

2.1.1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าวเจ้าจัดอยู่ในวงศ์ *Gramineae* จีนัส *Oryza* มีทั้งหมด 23 สายพันธุ์ แบ่งออกเป็น 3 subspecies คือ *indica* , *japonica* และ *javanica* ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกอยู่ในประเทศไทยจัดอยู่ในสายพันธุ์ *indica* เช่น ข้าวกข 15 , ข้าวกข 21 ข้าวนางมลเอส , ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ ข้าวขาวปากหม้อ เป็นต้น สามารถจัดกลุ่มข้าวพันธุ์ต่างๆจำแนกตามปริมาณอะมิโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อคุณภาพ ข้าวหุงสุกที่ได้ โดยแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดข้าวตามปริมาณอะมิโลส

ชนิดข้าวจำแนกตามปริมาณอะมิโลส	ปริมาณอะมิโลส	ลักษณะคุณภาพข้าวสุก	พันธุ์
ข้าวอะมิโลสต่ำ	น้อยกว่า 19	เหนียวนุ่ม	ขาวดอกมะลิ 105 กข 15
ข้าวอะมิโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างนุ่มเหนียว	นางมลเอส ขาวปากหม้อ
ข้าวอะมิโลสสูง	25-34	ร่วนค่อนข้างแข็ง	กข 1 กข 5

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวสุก

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวสุก หรือคุณภาพของการหุงแบ่งได้ดังนี้

2.1.2.1 ปริมาณอะมิโลส (amylose content)

แป้งข้าวประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเปคติน ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ตามสายพันธุ์ อะมิโลสเป็นองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า ความนุ่มหรือความแข็งของข้าว ทำให้ข้าวมีความเหนียวความนุ่มน้อยลง และมีความร่วนมากขึ้น เช่นข้าวที่มีอะมิโลสสูง 25-34% เมื่อหุงสุกจะได้ข้าวที่มีลักษณะร่วน ไม่แฉะ และมีอัตราการขยายตัวของข้าวสุกมาก ทำให้ได้ข้าวที่มีลักษณะ "หุงขึ้นหม้อ" เพราะโมเลกุลอะมิโลสมีลักษณะเป็นสายตรงไม่มีสาขา มีพันธะไฮโดรเจนระหว่าง โมเลกุลมาก ข้าวที่มีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบมากจะมีการจัดเรียงตัวของอะมิโลส และอะมิโลเปคตินในผลึกเม็ดแป้ง กันอย่างแน่นเป็นระเบียบ ทำให้มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระน้อย จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้น้อย (Kerr , 1989) ทำให้มีการพองตัวอย่างจำกัด ข้าวที่ได้จึงค่อนข้างแข็งไม่เหนียว และต้องใช้เวลาในการทำให้สุกนานกว่า แต่ถ้าข้าวมีอะมิโลสต่ำ แสดงว่า ในเม็ดแป้งมีอะมิโลเปคติน มากกว่า อะมิโลส มีหมู่ไฮดรอกซิล อิสระมากกว่า เพราะ โมเลกุลของอะมิโลเปคติน มีลักษณะเป็นสายยาว และมีสาขาจัดเรียงตัวภายในผลึกเม็ดแป้งจึงไม่เป็นระเบียบ เม็ดแป้งจึงเกิดการรวมตัวของอะมิโลส และอะมิโลเปคติน กันอย่างหลวมๆ หมู่ไฮดรอกซิลอิสระสามารถจับตัวกับน้ำได้มากกว่า ข้าวที่ได้จึงมีความเหนียว นุ่มมากกว่า ใช้เวลาในการหุงสุกน้อยกว่า เพราะน้ำซึมเข้าภายในเม็ดแป้งได้มากกว่า ในการให้ความร้อนเพื่อให้ข้าวสุก เม็ดแป้งบางส่วนจะเกิดการฉีกขาด สูญเสียอะมิโลส ออกมา และ อะมิโลส จะเกิดโครงร่างแหกับโปรตีนภายนอกเม็ดแป้ง เกิดเป็นตาข่ายเจล (gel network) ถ้าข้าวมี อะมิโลสต่ำ จะเกิดเจลที่มีลักษณะอ่อนนุ่มได้ลักษณะข้าวสุกที่นุ่มเหนียว ในกรณีกลับกันถ้าข้าวมีอะมิโลสสูง จะเกิดเจลที่มีลักษณะค่อนข้างแข็งซึ่งได้ลักษณะข้าวสุกที่ร่วนและกระด้าง0

2.1.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency)

ความคงตัวของแป้งสุก คือค่าความแข็งของแป้งเมื่อสุกแล้ว สามารถทดสอบได้โดยวัดระยะทางที่น้ำแป้งสุกเคลื่อนที่ ค่าความแตกต่างของแป้งสุกจะใช้บอกความแตกต่างของข้าวสุก ว่าอ่อนนุ่มหรือกระด้าง ถ้าค่าความคงตัวของแป้งสุกมีค่าสูง ข้าวสุกที่ได้จะมีลักษณะร่วน และกระด้าง แต่ถ้าค่าความคงตัวของแป้งสุกต่ำ ข้าวสุกจะมีลักษณะอ่อน

นุ่ม และถึงแม้ว่าปริมาณอะมิโลส จะเป็นปัจจัยสำคัญ ที่บอกคุณภาพของข้าวสุก แต่ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสเท่ากันอาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีความคงตัวของข้าวสุกแตกต่างกัน กล่าวคือ ข้าวที่มีค่าความคงตัวของข้าวสุกต่ำ เมื่อหุงสุกแล้วจะได้ข้าวที่มีความนุ่มมากกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง

2.1.2.3 อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature)

อุณหภูมิแป้งสุก คือ อุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งสุก หรือพองตัวในน้ำร้อนอย่างถาวร อุณหภูมิแป้งสุกจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับเวลาในการทำให้ข้าวสุก (cooking time) ดังนั้น การวิเคราะห์อุณหภูมิแป้งสุก อาจใช้วิธี หาอุณหภูมิที่ทำให้ความหนืดของน้ำแป้งสุกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยใช้ Brabender viscograph หรือหาอุณหภูมิที่ทำให้น้ำแป้งสุกใส โดยวัดค่าการให้แสงผ่านในขณะที่ต้มน้ำแป้ง สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงผลึกแป้งในขณะที่เพิ่มอุณหภูมิ โดยมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) หรือการสลายตัวของเมล็ดข้าวสารในด่าง (alkaline test) ถ้าข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกสูง อาจมีปัญหาหุงไม่สุกหรือข้าวแฉะ เนื่องจากข้าวต้องการเวลาในการหุงต้มนาน จึงจำเป็นต้องใช้น้ำมากดังนั้นอาจมีผลให้ข้าวสุกที่มีลักษณะแฉะ

2.1.2.4 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (elongation ratio)

อัตราการยืดตัวของข้าวสุก หมายถึง การขยายตัวของเมล็ดข้าวทางด้านความยาวของเมล็ด ซึ่งจะเกิดในระหว่างการหุงต้ม มีผลให้ข้าวมีความแข็งกระด้างน้อยลง นอกจากนี้หากข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายตัวของเมล็ดจะทำให้ข้าวขึ้นหม้อยิ่งขึ้น

2.1.2.5 กลิ่นหอมของข้าว (aroma)

ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด จากการวิเคราะห์ไอที่ได้จากการหุงข้าว Koshihikari ของญี่ปุ่นพบว่า มีสารระเหยอยู่มากกว่า 100 ชนิด จำแนกออกเป็น สารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน 13 ชนิด , แอลกอฮอล์ 13 ชนิด , อัลดีไฮด์ 16 ชนิด , คีโตน 14 ชนิด , กรด 14 ชนิด , เอสเทอร์ 8 ชนิด , ฟีนอล 5 ชนิด , ไพริดีน 3 ชนิด และ พาราซีน 6 ชนิด แต่สำหรับข้าวหอมในประเทศไทยมีสาร 2-acetyl-1-pyrolline มากกว่า ข้าวทั่วไป ซึ่งจะพบในปริมาณ 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม

2.1.2.6 ปริมาณโปรตีนที่ผิวเมล็ดข้าว (protein content)

มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของโปรตีนต่อการดูดซึมน้ำ และการเจลาทีไนเซชันของเม็ดแป้ง โดยเฉพาะโปรตีนส่วนที่อยู่ที่ผิวนอกของเม็ดมีผลให้เม็ดแป้งดูดซึมน้ำและเกิดเจลาทีไนเซชันได้ยากขึ้น นอกจากนั้นข้าวที่มีโปรตีนสูง ทำให้เม็ดข้าวมีความแข็งแกร่งขึ้น อาจทำให้มีระดับการขัดสีต่ำ มีผลให้ข้าวสุกมีความเหนียวนุ่มน้อยลง กระด้างขึ้น

2.1.2.7 ปริมาณความชื้น

เมื่อผ่านการเจลาทีไนเซชันแล้ว ข้าวสุกที่ได้ควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 65-80 % (Brooks et al., 1982) ซึ่งจะมีผลให้ข้าวสุกมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีไม่แข็งหรือไม่แฉะเกินไป ซึ่งค่าความชื้นในข้าวสุกจะมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นของข้าวสารก่อนเจลาทีไนเซชัน ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วด้วยวิธี แช่ข้าว-ต้ม/ไอน้ำ-ทำแห้ง ข้าวสารควรมีค่าความชื้นหลังจากที่ผ่านการแช่น้ำก่อนนำไปทำให้สุกประมาณ 30-35% (Luh,1980)

เพื่อให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตได้มีคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี จึงจำเป็นต้องคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เมื่อหุงสุกแล้ว มีคุณภาพข้าวสุกที่ดี มีความนุ่ม ความเหนียว เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุกที่นำเสนอในเบื้องต้น สรุปได้ว่า **ข้าวที่มีคุณภาพข้าวสุกที่ดีมีความเหนียวนุ่ม ต้องมีปริมาณอะมิโลสต่ำ, อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ, ความคงตัวแป้งสุกต่ำ, อัตราการยืดตัวของข้าวสุกสูง , มีกลิ่นหอม และมีปริมาณโปรตีนต่ำ** เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2.1 ซึ่งกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้รวบรวม และจัดแบ่งกลุ่มข้าวพันธุ์ดีของประเทศไทยตามคุณภาพข้าวสุกที่ได้ โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม พบว่า จากข้าวพันธุ์ดี ทั้งหมด 30 สายพันธุ์ มีเพียง 4 สายพันธุ์ ที่จัดเป็นข้าวกลุ่มอะมิโลสต่ำ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 , กข 15, กข 21 และข้าวนางมลเอส 4 ข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์ มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ และมีความคงตัวแป้งสุกอ่อน ซึ่งมีผลให้ข้าวมีคุณภาพข้าวสุกที่ดี **ตามการทดลองนี้เลือกใช้ ข้าวขาวดอกมะลิ 105** โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากข้าวอะมิโลสต่ำทั้ง 4 สายพันธุ์ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีกลิ่นหอมพิเศษเฉพาะผลิตภัณฑ์ และเป็นที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายแม้เมื่อพิจารณาจากเหตุผลรอบด้านแล้ว อาจมีข้อขัดแย้งในเรื่องราคาของวัตถุดิบบ้างก็ตาม แต่โดยเหตุผลหลักแล้วงานวิจัยนี้มุ่งไปสู่การหาวิธีทางเอนไซม์มาร่วมในกระบวนการหุงข้าวเพื่อลดเวลาและพลังงานในการผลิต รวมทั้งเป็นแนวทางในการสร้างรูปแบบผลิตภัณฑ์ข้าวรูปแบบใหม่

ตารางที่ 2.2 การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดี ตามคุณภาพข้าวสุก โดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

พันธุ์ข้าวจำแนกตามระดับอะมิโลส	ความยาวของเม็ดข้าว (มิลลิเมตร)	น้ำหนักข้าว 100 เม็ด (กรัม)	อุณหภูมิแป้งสุก	ความคงตัวแป้งสุก
ข้าวอะมิโลสต่ำ				
ขาวดอกมะลิ 105	7.4	2.77	**ต่ำ**	**อ่อน**
กข 15	7.5	2.68	ต่ำ	อ่อน
กข 21	7.3	2.74	ต่ำ	อ่อน
นางมลเอส 4	7.8	3.52	ต่ำ	อ่อน
ข้าวอะมิโลสปานกลาง				
นางมลเอส 4	7.8	3.52	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน
ขาวปากหม้อ	7.7	3.29	ปานกลาง	อ่อน
เก้ารวง 88	7.5	2.45	ปานกลาง	อ่อน
กข 7	7.2	2.82	ปานกลาง	อ่อน
กข 23	7.3	2.71	ปานกลาง	อ่อน
ข้าวอะมิโลสสูง				
เหลืองใหญ่ 148	7.3	3.17	ต่ำ	อ่อน-ปานกลาง
น้ำสะกุย 19	7.6	3.18	ต่ำ	แข็ง
เหลืองประทิว 123	7.4	2.88	ปานกลาง	อ่อน
ตะเภาแก้ว 161	7.5	2.70	ต่ำ	แข็ง
เล็บมือนาง 111	7.6	3.25	ต่ำ-ปานกลาง	ปานกลาง-แข็ง
ปิ่นแก้ว 56	7.5	3.06	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน-ปานกลาง
พวงไร่ 2	7.3	2.54	ต่ำ-ปานกลาง	ปานกลาง-แข็ง
นางพญา 132	7.4	2.55	ต่ำ-ปานกลาง	ปานกลาง-แข็ง
กู้เมืองหลวง	8.4	3.64	ต่ำ	แข็ง
แก่นจันทร์	7.2	2.54	ต่ำ	อ่อน

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดี ตามคุณภาพข้าวสุก โดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์

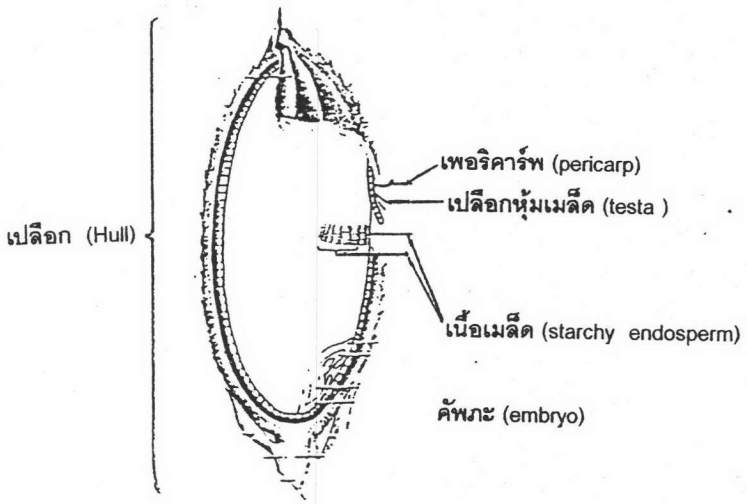
พันธุ์ข้าวจำแนกตามระดับอะมิโลส	ความยาวของเม็ดข้าว (มิลลิเมตร)	น้ำหนักข้าว 100 เม็ด (กรัม)	อุณหภูมิแป้งสุก	ความคงตัวแป้งสุก
กข 1	7.1	2.66	ต่ำ	แข็ง
กข 3	7.5	2.72	ต่ำ	แข็ง
กข 5	7.2	2.34	ต่ำ-ปานกลาง	ปานกลาง-อ่อน
กข 9	7.2	2.68	ต่ำ	แข็ง
กข 11	7.6	3.32	ต่ำ	แข็ง
กข 13	6.9	2.25	ปานกลาง	อ่อน-แข็ง
กข 17	7.0	2.23	ต่ำ-ปานกลาง	ปานกลาง-แข็ง
กข19	7.5	3.32	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน-ปานกลาง
กข 25	7.4	2.76	ต่ำ	อ่อน
กข 27	7.5	3.01	ต่ำ	อ่อน

2.2 ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่ตามท้องตลาดนิยมเรียก **"ข้าวหอมมะลิ"** จัดอยู่ในสายพันธุ์ *Oryza sativa indica* เดิมเป็นข้าวพื้นเมืองมีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา และมีการปลูกคัดพันธุ์ให้ได้พันธุ์ที่บริสุทธิ์ โดยสถานีทดลองข้าวโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีความทนทานต่อความแห้งแล้ง ดินเปรี้ยว และดินเค็มได้ดี ปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ลักษณะเด่นของข้าวพันธุ์นี้ คือ เมล็ดข้าวสารมีลักษณะ ใส แกร่ง ยาวเรียว มีกลิ่นหอม รสชาติดี และเนื่องจาก**เป็นข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ, อะมิโลสต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกต่ำ, และมีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน ข้าวสุกที่ได้จึงมีความอ่อนนุ่ม เป็นที่นิยมของผู้บริโภค**

2.3 โครงสร้างภายในเมล็ดข้าว

ปรกติข้าวที่จะนำมาผลิตข้าวหุงสุกเร็ว จะเป็นข้าวสารขัดขาว (milled white rice) ที่ได้จากการนำข้าวกล้อง (brown rice) มาขัดสีผิวชั้นนอกออก คือชั้นของ เพอริคาร์พ (pericarp) , เปลือกหุ้มเมล็ด (testa) และ คัพภะ (embryo) กลายเป็นรำข้าว ส่วนข้าวสารขัดขาวที่ได้จะเป็นชั้นของ เนื้อเมล็ด (starchy endosperm)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของข้าวเจ้า (ดัดแปลงจาก Juliano,1993)

2.3.1 การจำแนกโครงสร้างภายในเมล็ดข้าว

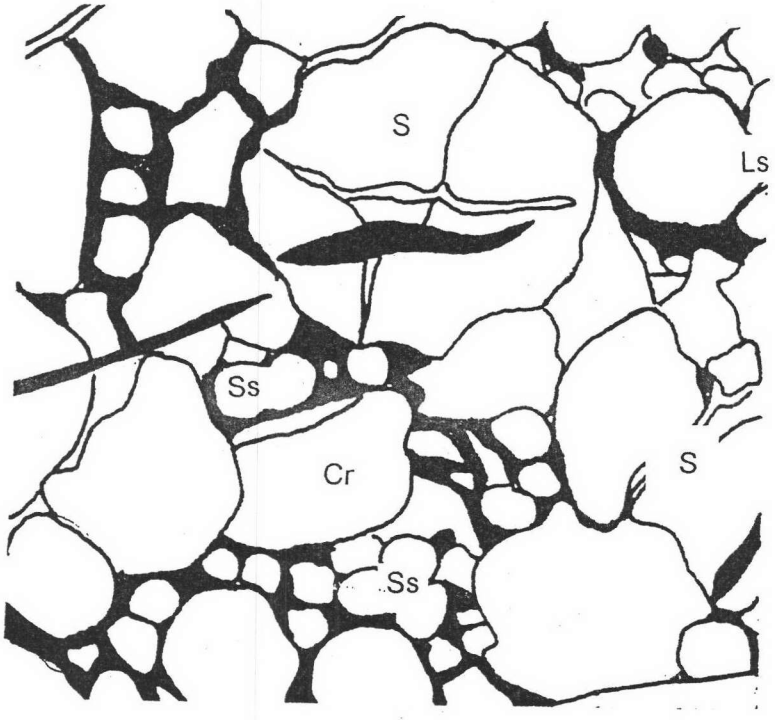
จากการศึกษาของ Betchel และ Pomeranz (1978) พบว่า เนื้อเมล็ด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน อย่างชัดเจนคือ ชั้นแอลิวโรนชั้นใน (Subaleurone layer) และชั้นกลางเนื้อเมล็ด (Central endosperm) โดยใช้ผนังหุ้มเซลของกลุ่มโปรตีน (protein bodies) ที่พบ เป็นดรรชนีในการจำแนก

2.3.1.1 ชั้นแอลิวโรนชั้นใน (Subaleurone layer)

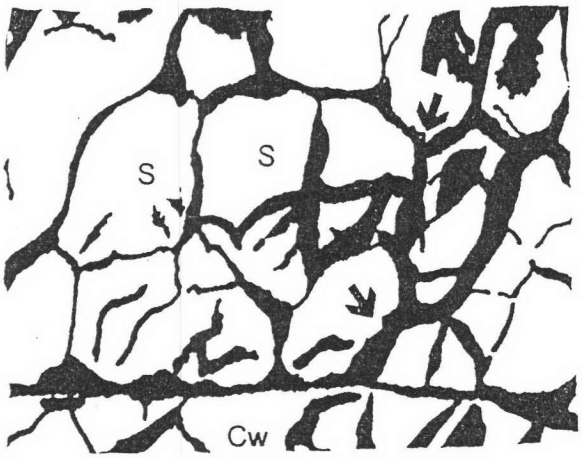
เซลชั้นแอลิวโรนชั้นใน เป็นเซลชั้นนอกของ เนื้อเมล็ด ประกอบด้วยเม็ดแป้ง (starch granule) และโปรตีน อยู่ในรูปกลุ่มโปรตีน (protein body) ในชั้นนี้จะพบ กลุ่มโปรตีน มากกว่าเม็ดแป้ง และเม็ดแป้งจะอยู่รวมกลุ่มกันเป็น กลุ่มเม็ดแป้ง (compound starch granule) เป็นรูปไข่ และ มี กลุ่มโปรตีน มากมายล้อมรอบกลุ่มเม็ดแป้งอยู่

2.3.1.2 ชั้นกลางเนื้อเมล็ด (Central endosperm)

เซลชั้นกลางเนื้อเมล็ดประกอบด้วย เซลที่มีผนังบางหุ้มอยู่รอบนอก โดยมีเม็ดแป้ง และ กลุ่มโปรตีน อยู่ภายใน เม็ดแป้งจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเม็ดแป้งขนาดใหญ่ รูปหลายเหลี่ยม เรียงตัวกันอย่างหนาแน่น และมีองค์ประกอบโปรตีนฝังตัวอยู่ในร่องเล็ก ๆ ระหว่าง ผลึกเม็ดแป้ง



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในชั้นแอลิวโรนชั้นใน S คือ เม็ดแป้ง Ls ,Ss และ Cr คือ กลุ่ม โปรตีนชนิดต่างๆ กำลังขยาย 10,400 เท่า (ดัดแปลงจาก Betchel และ Pomeranz ,1978)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในชั้นกลางเนื้อเมล็ด S คือ เม็ดแป้ง บริเวณที่ลูกศรชี้ คือ กลุ่มโปรตีน Cw คือ ผนังเซล กำลังขยาย 5,570 เท่า (ดัดแปลงจาก Betchel และPomeranz ,1978)

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของข้าว

จากรูปแสดงโครงสร้างภายในชั้นเนื้อเมล็ด องค์ประกอบหลักที่พบคือ เม็ดแป้ง และโปรตีนในรูป กลุ่มโปรตีน

2.3.2.1 เม็ดแป้ง

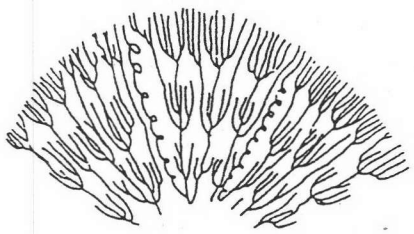
เม็ดแป้ง เป็นองค์ประกอบหลักของภายใน เนื้อเมล็ด ประมาณ 90% ของน้ำหนักแห้งของข้าว มีขนาด 3-9 ไมโครเมตร จะอยู่รวมกันจำนวน 20-60 อนุภาค เป็น amyloplast ขนาด 7-39 ไมโครเมตร และระหว่างเม็ดแป้งจะมีโปรตีนแทรกอยู่ (Juliano , 1993) เม็ดแป้งจะประกอบด้วย glucose polymer 2 ชนิด คืออะมิโลส และ อะมิโลเปคติน รวมกันเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะกึ่งแข็ง เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ เชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นผลึก (Wong,1989) และพบไขมันประเภทฟอสโฟไลปิด ภายในเม็ดแป้ง และที่ผิว ฟอสโฟไลปิด ที่พบมีประจุเป็นลบ

2.3.2.1.1 อะมิโลส (amylose)

อะมิโลส เป็นองค์ประกอบของเม็ดแป้งซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของเม็ดแป้ง ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ ดีกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α (1-4) glycosicic linkage เป็นสายโซ่ยาว ไม่มีสาขา มีน้ำหนักประมาณ 10^5 ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนให้สีน้ำเงินเข้ม

2.3.2.1.2 อะมิโลเปคติน (amylopectin)

อะมิโลเปคติน เป็นหน่วยย่อยของเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า อะมิโลส น้ำหนักประมาณ 10^8 ประกอบด้วยหน่วยย่อยของ ดีกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α (1-4) glycosidic linkage เป็นสายโซ่ยาวและ แตกแขนงออกทุก 20-30 หน่วย ด้วย พันธะ α (1-6) glycosidic linkage ในเม็ดแป้ง อะมิโลเปคติน จะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนให้สี ม่วงแดง



อะมิโลส

อะมิโลเปคติน

รูปที่ 2.4 การจัดเรียงตัวของ อะมิโลส และอะมิโลเปคติน เป็นโครงสร้างเม็ดแป้ง

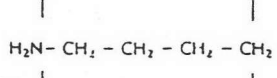
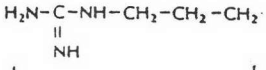
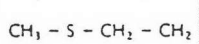
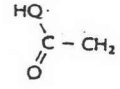
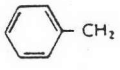
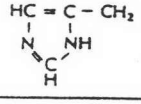
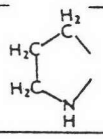
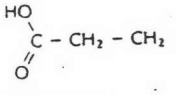
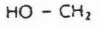
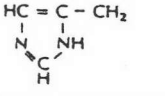
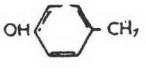
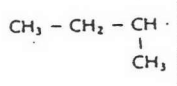
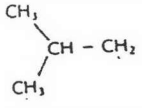
2.3.2.2 โปรตีน

ในข้าวเจ้าจะพบโปรตีนมากเป็นอันดับ 2 รองจากแป้ง มีประมาณ 7% โปรตีนที่พบในข้าว แบ่งตามองค์ประกอบโครงสร้างโปรตีน ได้ 4 ชนิดคือ อัลบูมิน , โกลบูลิน กลูเตลิน และ โพรลามิน ตามตารางที่ 2.3 ซึ่งกลูเตลินเป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในข้าวเจ้า เป็นโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนัก $2x10^6$ - $2x10^7$ ไม่ละลายน้ำ ละลายในสารละลายด่าง ประกอบด้วยหน่วยย่อยโปรตีนหลายหน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ มีองค์ประกอบกรดอะมิโนดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ชนิด, ตำแหน่ง และปริมาณ ของโปรตีนแต่ละชนิดที่พบในข้าวเจ้า

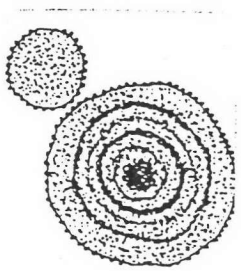
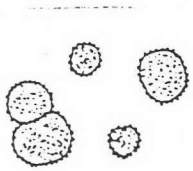
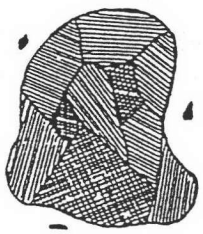
ชนิดโปรตีน	ตำแหน่งที่พบ	ปริมาณ	ความสามารถในการละลาย
อัลบูมิน	ชั้นแอลิวโรน	5%	ละลายน้ำ
โกลบูลิน	ชั้นแอลิวโรน	10%	ละลายในน้ำเกลือ
กลูเตลิน	ชั้นเนื้อเมล็ด	>80%	ละลายในด่าง
โพรลามิน	ชั้นเนื้อเมล็ด	<5%	ละลายในแอลกอฮอล์

ตารางที่ 2.4 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโน ของกลูเตลิน

กรดอะมิโน	สูตรโครงสร้าง	ปริมาณ g./16.8 g.N	กรดอะมิโน	สูตรโครงสร้าง	ปริมาณ g./16.8 g.N
อะลานีน		6.31	ไลซีน		6.21
อาร์จินีน		8.72	เมทิโอนีน		2.75
แอสปาร์ติก		9.87	เฟนีลอะลานีน		5.27
ซิสตีน		1.19	โปรลีน		4.41
กรดกลูตามิค		15.8	เซอรีน		6.61
ไกลซีน		5.30	ทริโอนีน		4.30
ฮิสทิดีน		2.64	ไทโรซีน		4.96
ไอโซลิวซีน		5.24	วาลีน		7.21
ลิวซีน		7.29	แอมโมเนีย		3.44

ลักษณะโปรตีนที่พบในข้าวส่วนมากรวมตัวกันอยู่ในรูป กลุ่มโปรตีน ประกอบด้วยหน่วยย่อยโปรตีนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ แบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ กลุ่มโปรตีนที่มีรูปร่างกลม ขนาดใหญ่ กลุ่มโปรตีนที่มีรูปร่างกลม ขนาดเล็ก และกลุ่มโปรตีนที่มีรูปร่างเป็นผลึก รายละเอียดกลุ่มโปรตีน ทั้ง 3 ชนิดดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของ กลุ่มโปรตีน ที่พบในชั้นแอลิวโรนชั้นในของข้าวเจ้า

รายละเอียด	ลักษณะกลุ่มโปรตีน		
	รูปร่าง กลม ขนาดใหญ่	รูปร่าง กลม ขนาดเล็ก	รูปร่างเป็นผลึก
เส้นผ่าศูนย์กลาง	1-2μm.	0.5-0.75 μm.	2-3.5 μm.
แผนภาพโครงสร้าง (Bechtel และ Juliano,1980)			
การย้อมติดสี Paragon	วงกลมสีดำ	ไม่ติดสี	น้ำเงิน
การย้อมติดสี Coomassie Brilliant Blue	ม่วง	ไม่ติดสี	ม่วงแดง
ย่อยด้วยเปปซิน	บางส่วน	สมบูรณ์	สมบูรณ์
ย่อยด้วยโพรเนส	บางส่วน	สมบูรณ์	บางส่วน
ปริมาณที่พบ (μm^2.)	1/25	1/3.8	1/11.5

2.3.3 บทบาทของโปรตีนข้าวต่อคุณภาพการหุง

เมื่อข้าวได้รับความร้อนในภาวะที่มีความชื้นภายในเมล็ดเพียงพอ ประมาณ 30-35 % (Luh, 1980) จะทำให้เม็ดแป้งในข้าวสารเกิดการเปลี่ยนแปลงเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวอย่างถาวร (irreversible swelling) และสูญเสียผลึกโครงร่างของเม็ดแป้ง ทำให้ไม่สามารถคืนรูปเดิมได้ เรียกว่า เกิดเจลลาทีไนเซชัน ซึ่งมีผลให้ข้าวสารเปลี่ยนเป็นข้าวสุก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงภายในของเม็ดแป้งมีขั้นตอนชัดเจน 3 ขั้นตอนดังนี้คือ

2.3.3.1. ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส และมีน้ำมากเกินพอ เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้ที่ผิวจำนวนหนึ่งซึ่งไม่มีผลต่อโครงสร้างของเม็ดแป้ง และ birefringence ยังคงปรากฏอยู่ ความหนืดของสารละลายยังไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อระเหยน้ำออก โครงสร้างของเม็ดแป้งยังคงเดิม

2.3.3.2. เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 40-50 องศาเซลเซียส น้ำที่ดูดซับไว้ที่ผิวจะผ่านเข้าไปในช่องเล็กๆระหว่างเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งสามารถเคลื่อนออกจากกัน ได้อย่างอิสระมากขึ้น เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำเกิดการพองตัวอย่างไม่ถาวร (reversible swelling) และโครงสร้างเม็ดแป้งยังไม่ถูกทำลาย

2.3.3.3. เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 60-80 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งยังคงดูดน้ำต่อไป จนแยกเป็นอิสระจากกันเกิดการพองตัวอย่างถาวร ทำให้เม็ดแป้งมีขนาดขยายใหญ่กว่าเดิมหลายเท่า ปริมาณน้ำในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขั้นตอนนี้เม็ดแป้งจะสูญเสีย birefringence อย่างรวดเร็วเช่นกัน สังเกตได้จาก ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นสูงมากในทันที และเมื่อทำให้เย็นลงพบว่า โครงสร้างเม็ดแป้ง และ birefringence ถูกทำลายไป และมีองค์ประกอบบางส่วนแยกออกจากเม็ดแป้ง มาอยู่ในสารละลาย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอะมิโลส มากกว่า อะมิโลเปคติน ซึ่งในขั้นตอนนี้หากมีการให้ความร้อนต่อไป เม็ดแป้งจะเกิดการฉีกขาด สูญเสีย อะมิโลสมากขึ้น และอะมิโลสจะเกิดโครงร่างแหกับโปรตีนภายนอกเม็ดแป้ง เกิดเป็นตาข่ายของเจล มีลักษณะเป็นแป้งเปียก

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า โปรตีนที่พบในข้าวเจ้า จะแทรกตัวอยู่ระหว่างกลุ่มเม็ดแป้งและล้อมรอบกลุ่มเม็ดแป้งไว้ มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของโปรตีนต่อการดูดซับน้ำ และการเจลาทีไนเซชันของเม็ดแป้งพบว่าโปรตีนทำให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ยากขึ้น จากการศึกษาทั้งในแป้งข้าวฟ่าง (Chandrasheka and Desikarcha quoted in Chandrasheka and Kirleis,1988) , ในเมล็ดข้าวฟ่าง (Chandrasheka and Kirleis,1988) ,ในข้าวเจ้า (Marshall,

Normand and Goynes,1990 ; Smith , Rao, Liuzzo and Champagne , 1985 ; Watanabe , Honma and Fulkar,1991) พบว่า เมื่อทำลาย หรือย่อยสลายโปรตีนให้โมเลกุลสั้นลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำได้มากขึ้น การเกิดเจลาทีไนเซชันดีขึ้น ซึ่งหากมีการเพิ่มปริมาณโปรตีนลงไปในแป้ง (Hudson, 1992) หรือสร้างพันธะเชื่อมขวางยึดกลุ่มเม็ดแป้ง (Rutledge, Jame and Islam,1972) พบว่าเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำได้น้อยลง เจลาทีไนเซชันได้ยากขึ้น ดังนั้นจะพบว่าโปรตีนมีผลต่อการดูดน้ำและ การเกิดเจลาทีไนเซชัน คือมีผลให้เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้น้อยลงและเกิดเจลาทีไนเซชันได้ยากขึ้น ซึ่งในการทำลายโครงสร้างโปรตีนในข้าวมีหลายวิธีเช่น การใช้ความดัน (Hudson, 1992), การใช้สารเคมี (Smith et al.,1985), การใช้ความร้อน (Juliano, 1985) หรือการใช้เอนไซม์ประเภทโปรติเอส (Betchel and Pomeranz, 1978 ; Chandrasheka and Kirleis, 1988 ; Marshall et al.,1990 ; Watanabe et al.,1991 ; Arai and Watanabe,1994)

2.4 เอนไซม์โปรติเอส (ปราณี อ่านเปรื่อง , 2535)

คือเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์ พันธะเปปไทด์ มีชื่อสามัญหลายชื่อ เช่น เปปทิเดส, เปปไทด์ไฮโดรเลส เป็นต้น มี ลักษณะการตัดพันธะเปปไทด์ 2 ลักษณะคือ การตัดจากภายในสายเปปไทด์ เรียกว่า เอนโดเปปทิเดส ซึ่งโปรติเอสจะย่อยสลายพันธะเปปไทด์อย่างอิสระภายในสายโปรตีน โดยต้องมีความจำเพาะต่ออนุมูลกรดอะมิโนบริเวณนั้น จึงจะย่อยพันธะนั้นได้ และลักษณะการตัด จากปลายสายเปปไทด์ เรียกว่า เอกโซเปปทิเดส ซึ่งจะตัดพันธะเปปไทด์จากปลายสายของโปรตีนด้านใดด้านหนึ่งโดยถ้าตัดจากปลายสายด้านหมู่อะมิโน เรียกว่า อะมิโน-เอกโซเปปทิเดส ถ้าตัดจากปลายสายด้านหมู่คาร์บอกซิลิก เรียกว่า คาร์บอกซี-เอกโซเปปทิเดส

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เอนไซม์ 3 ชนิดคือ ปาเปน เปปซิน และ อัลคาเลส® ซึ่งมีคุณสมบัติ และความจำเพาะในการตัดสายพันธะเปปไทด์ที่แตกต่างกัน ดังมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

2.4.1 ปาเปน (E.C.3.4.22.2)

ปาเปนเป็นเอนไซม์ที่ได้จากยางมะละกอ เป็นซัลไฟดริลโปรติเอส (sulfhydryl protease) ได้จากพืชชั้นสูงเช่นเดียวกับโบรมิเลน

คุณสมบัติทั่วไป

ปาเปนมีโครงสร้างเป็นโพลีเปปไทด์สายเดี่ยว ประกอบด้วยกรดอะมิโน 212 กรดอะมิโน น้ำหนักโมเลกุล 23,900 เป็นเอนโดเปปทิเดส ที่มีความจำเพาะต่อสับสเทรตกว้างอนุมูลกรดที่มีความจำเพาะ เช่น ไลซีน, กลูตามิค, ฮีสทิดีน และไกลซีน เป็นต้น มีหมู่ไธออลที่บริเวณเร่ง คือ อนุมูลซีสเตอีน 25 และฮิสทิดีน 159 หรืออาจเป็นแอสปาติก 158 ขึ้นอยู่กับโครงร่าง 3 มิติ และถูกยับยั้งโดยสารประกอบซัลเฟอร์ เพราะจะไปทำให้หมู่ไธออลที่บริเวณเร่งเกิดการเปลี่ยนแปลง ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม คือ 6.0-7.5 ซึ่งที่ภาวะนี้ปาเปนจะทนอุณหภูมิได้สูง แต่ถ้าค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 4.0 ปาเปนจะเสียคุณสมบัติในการทนความร้อน และถ้าค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 2.0 ปาเปนจะสูญเสียสภาพโดยสิ้นเชิง แม้จะมีอุณหภูมิเพียง 25 องศาเซลเซียสก็ตาม

2.4.2 เปปซิน

เป็นเอนไซม์ประเภทแอซิดโปรติเอส (acid proteare) พบทั่วไปในน้ำย่อยของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง

สมบัติทั่วไป

เปปซินมีโครงสร้างเป็นโพลีเปปไทด์สายเดี่ยว ที่มีพันธะไดซัลไฟด์อยู่ 3 ตำแหน่ง ประกอบด้วยกรดอะมิโน 321 กรดอะมิโน มวลโมเลกุล 35,500 เป็นเอนโดเปปทิเดส ที่มีความจำเพาะต่อสับสเทรตกว้าง ชอบไฮโดรไลซ์ อนุมูลกรดประเภทอะโรมาติค เช่น เฟนีลอะลานีน, ไทโรซีน, ลิวซีน และเมทิโอนีน เป็นต้น แต่ยังไม่ทราบอนุมูลกรดที่บริเวณเร่งอย่างชัดเจน เปปซิน จะมีความเสถียรที่ค่าความเป็นกรดด่าง 2.0 - 5.0 และที่ค่าความเป็นกรดด่างน้อยกว่า 6.0 เปปซินจะมีคุณสมบัติในการทนอุณหภูมิได้สูงถึง 60 องศาเซลเซียส แต่ถ้าค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่า 6.0 เปปซินจะเสียสภาพทันทีเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส

2.4.3 อัลคาเลส® (E.C. 3.4.21.14)

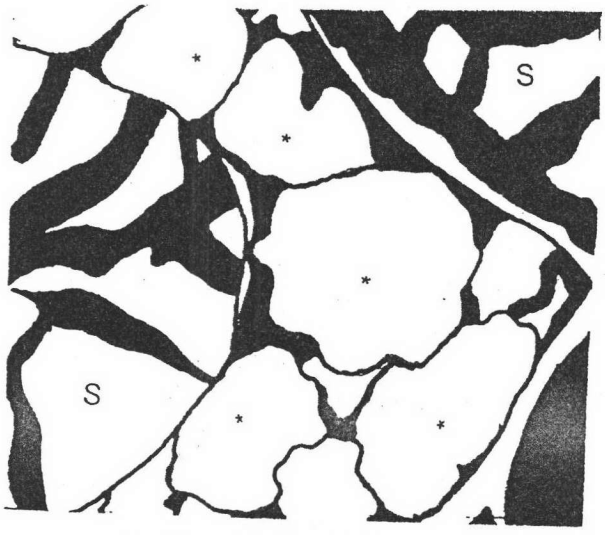
เป็นเอนไซม์ประเภทเซอรีนโปรติเอส (Serine protease) ได้จากบาซิลลัส ไลเคนิฟอร์มีส (*Bacillus licheniformis*) มีชื่อสามัญว่า ซับทิลิน คาร์ลสเบิร์ก (Subtilin Carlsberg)

สมบัติทั่วไป

อัลคาเลส® มีโครงสร้างเป็นโพลีเปปไทด์สายเดี่ยวมีกรดอะมิโน 274 กรดอะมิโน มวลโมเลกุล 27,277 เป็นเอนโดเปปทิเดส ที่มีความจำเพาะต่อสับสเทรตกว้าง มีความสามารถในการไฮโดรไลซ์พันธะเปปไทด์เกือบทุกชนิด และพันธะเอสเทอร์บางชนิดที่มีหมู่อะโรมาติค เช่น ไทโรซีน, เฟนีลอะลานีล และทริปโตเฟน เป็นต้น มีบริเวณเร่งอยู่ที่ปลายสายเปปไทด์ด้าน คาร์บอกซิลิค ประกอบด้วยหมู่เซอรีน 221, ฮิสทิดีน 64, แอสปาร์ติก 32 และออกซิเจน ถูกยับยั้งด้วยสารประกอบไดโซโพรพริลฟอสโฟโรฟลูอโอริเดท (Disopropryl phosphofluroridate) ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซริล (seryl residue) ในบริเวณเร่งของเอนไซม์ อัลคาเลส® จะมีความเสถียรที่ ค่าความเป็นกรดด่างกว้าง แต่ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม คือ 8.0-9.0 ซึ่งที่ค่าความเป็นกรดด่างนี้ อัลคาเลส® จะทนอุณหภูมิได้สูงถึง 70 องศาเซลเซียส แต่ปรกติแล้วอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 55-60 องศาเซลเซียส ถ้าค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 5.0 อัลคาเลส® จะสูญเสียความสามารถในการทนความร้อน และที่ค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 4.0 ในสภาพที่มีความร้อนสูงอัลคาเลส® จะสูญเสียสภาพโดยสมบูรณ์

งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการนำเอนไซม์ประเภทโปรติเอสมาย่อยโปรตีนข้าวเจ้าเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่นในปี คศ. 1978 Betchel และ Pomeranz ได้ทดลองใช้ เปปซิน และ โพรเนส ในการย่อยโปรตีนในข้าวเจ้า เพื่อศึกษาสมบัติของโปรตีนที่พบในข้าว **พบว่า เปปซิน สามารถย่อยสลายโปรตีนข้าวในชั้นเนื้อเมล็ดได้โดยสมบูรณ์** แต่โพรเนสย่อยโปรตีนที่พบได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ต่อมาในปี คศ. 1990 Marshall และคณะ ใช้โพรเนสแช่ข้าวสารนาน 30 นาที เพื่อศึกษาผลของการย่อยโปรตีนต่อการเกิดเจลาทีไนเซชัน ของข้าวพันธุ์ เลมองต์ **พบว่าการแช่ข้าวสารด้วยสารละลายโพรเนสจะทำให้ข้าวสารเกิดรอยร้าวและมีรูเล็กๆเกิดที่ผิวข้าวมากขึ้น มีผลให้ค่าการดูดกลืนพลังงานเพื่อใช้ในการเกิดเจลาทีไนเซชันลดลง** และในปี คศ. 1991 Watanabe และคณะ ใช้ แอคติเนส เพื่อปรับปรุงคุณภาพการหุงของข้าวเก่า **พบว่าการใช้ แอคติเนส แช่ข้าวสารเก่าก่อนนำไปหุงจะ**

ลดความกระด้างของข้าวลงได้ ทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวนุ่มมากขึ้น ต่อมาในปี คศ. 1994 Arai และ Watanabe พบว่าการใช้แอคติเนสในการปรับปรุงกลิ่นของข้าวเก่าจะทำให้ข้าวเก่ามีกลิ่นที่ดีขึ้น โดยพบว่าโปรตีนข้าวส่วนที่แอคติเนสย่อยได้นั้น เป็นส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิคซึ่งจับกลิ่นข้าวเก่าไว้ หลังจากนั้นนำข้าวเก่าที่ผ่านการบำบัดด้วยแอคติเนส มาล้างน้ำ จะทำให้กลิ่นข้าวเก่าหมดไป



รูปที่ 2.5 การย่อยโครงสร้างโปรตีนด้วยเปปซิน กำลังขยาย 37,800 เท่า

* คือตำแหน่งที่พบโปรตีนก่อนมีการย่อย

ดังจะเห็นว่าเอนไซม์ที่เลือกใช้ทั้ง 3 ชนิด มีความจำเพาะต่ออนุมูลกรดแตกต่างกันคือ ปาเปนมีความจำเพาะต่ออนุมูลกรดไฮโดรฟิลลิคที่พบมากในข้าวเจ้า แต่อัลคาเลส® และเปปซิน มีความจำเพาะต่ออนุมูลกรดไฮโดรโฟบิค แต่เอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด เป็นเอนโดเปปทิเดส ที่มีความจำเพาะต่อสับสเทรตกว้าง สามารถย่อยพันธะเปปไทด์ได้หลากหลาย

2.5 ข้าวหุงสุกเร็ว (Quick cooking rice)

ข้าวหุงสุกเร็ว หรือ ข้าวกึ่งสำเร็จรูป คือ ผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ใช้เวลาในการหุงข้าวสั้นกว่าปรกติ ซึ่งปรกติใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที แต่ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ซึ่งผู้บริโภคสามารถเตรียมได้ง่าย โดยเพียงเติมน้ำร้อนลงไป หรือบาง

ครั้งมีการใช้ความร้อนร่วมด้วย การผลิตข้าวหุงสุกเร็วเริ่มครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1948 โดยวิธีของ Ozai-durrani (Luh ,1980) ใช้เวลาในการคืนรูปประมาณ 10-13 นาที ซึ่งค่อนข้างนานไม่แตกต่างจากการหุงข้าวทั่วไป ตลอดเวลา ที่ผ่านมาได้มีผู้พัฒนาปรับปรุงรูปแบบวิธีการผลิตมาโดยตลอด โดยมีวัตถุประสงค์แตกต่างกันไป เช่น เพื่อลดเวลา ลดพลังงานในการผลิต หรือเพื่อพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ชชนิดใหม่ ปี ค.ศ. 1991 Luh ได้รวบรวมวิธีการผลิตไว้เป็นหมวดหมู่ดังนี้คือ

2.5.1.1 การแช่ข้าว-ต้ม/ไอน้ำ-ทำแห้ง (The soak-boil-steam-dry methods)

วิธีการนี้เป็นวิธีแรกที่ใช้ผลิตข้าวหุงสุกเร็วขึ้นมา ตามวิธีของ Ozai-Durrani ค.ศ. 1948 ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ การแช่น้ำ การให้ความร้อนเพื่อทำให้สุก และการทำแห้ง วิธีการนี้ ถูกนำมาพัฒนาปรับปรุงต่อในหลายวิธี เช่นพยายามทำให้เม็ดข้าวเกิดรอยแตกมากขึ้น จึงมีการนำข้าวสารไปผ่านกรรมวิธีต่างๆ ก่อนที่จะนำข้าวสารไปแช่น้ำ วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้เช่น อาจมีการใช้ความร้อนหรือแรงบีบ ทำให้เม็ดข้าวสารแตกมากขึ้น ช่วยให้การซึมผ่านของน้ำเข้าในเม็ดข้าวสารได้ดีขึ้น ทำให้ลดเวลาการแช่ข้าวสาร หรือเจลาติไนเซชันลงได้

2.5.1.2 การทำให้เกิดการพองตัว (Expanded and pregelatinized rice)

หลักการของวิธีการนี้คือ นำข้าวสารมาผ่านการเจลาติไนเซชันก่อน โดยการให้ความร้อนด้วยวิธีต่าง ๆ หลังจากนั้นทำให้เม็ดข้าวสารขยายตัว โดยการใช้ความร้อน เม็ดข้าวที่ได้ในขั้นตอนนี้จะมีลักษณะใส แข็ง และหดตัว มีความหนาแน่นมาก หลังจากนั้นจะทำให้พอง โดยการใช้ไอน้ำร้อนที่ 200-260° C ที่อุณหภูมิลมร้อน ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าเดิมประมาณ 4 เท่า เบา และมีรูพรุน ใช้เวลาในการคืนรูปสั้นประมาณ 2-3 นาที

2.5.1.3 การใช้ลูกกลิ้ง (The rolling or bumping treatment)

หลักการคือ จะใช้ลูกกลิ้ง หรือ แรงกดกระทำต่อเม็ดข้าวที่สุกแล้ว ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยลง ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ซึ่งมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสน้ำได้มากขึ้น ดูดน้ำกลับได้รวดเร็วขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการคืนรูปสั้น

2.5.1.4 การใช้ความร้อนแห้ง (Dry-heat treatment)

เป็นการใช้ความร้อนแห้งเพื่อทำให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ ตลอดทั่วเม็ดข้าว ช่วยให้น้ำซึมเข้าเม็ดข้าวสารได้ดีขึ้น และขณะเดียวกันความร้อนจะทำให้เกิดการเจลาติไนเซชันบางส่วน ด้วยตามวิธีของ Alexander (1954) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้เวลาในการหุง นาน 10 นาที

2.5.1.5 การแช่แข็ง และละลายน้ำแข็ง (Freeze-thaw process)

วิธีการนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 วิธีคือ การแช่แข็ง และการละลายน้ำแข็งข้าวสุก โดยขั้นตอนการแช่แข็งข้าวสุกต้องควบคุมให้เกิดผลึก น้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะไปทำให้โครงสร้างเม็ดแป้งฉีกขาด และในการละลายน้ำแข็งต้องทำในภาวะที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อกันการเกาะติดกันของเมล็ดข้าว หลังจากนั้นจึงนำไปทำแห้ง เพื่อเกิดโครงสร้างรูพรุนในเม็ดข้าว วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ให้ประสิทธิภาพดี ในการผลิตข้าวในเชิงการค้า

2.5.1.6 การใช้ Puffing gun (Gun-puffing)

เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมานานแล้วในผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป เช่นจากข้าวเจ้า ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี ฯลฯ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า puffing gun จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพองตัว การทำงานของ puffing gun แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ใช้ไอน้ำ (steam chamber) เมื่อวัตถุดิบผ่านเข้ามาจะมีการลดความดันภายในส่วนนี้ลง เพื่อดึงอากาศออกจากวัตถุดิบก่อน หลังจากนั้น จะมีการผ่านไอน้ำเข้าไปเพื่อทำให้ข้าวเกิดเจลาติไนเซชัน และผลผลิตที่ได้จะผ่านเข้าสู่ส่วนต่อไป คือส่วนที่มีภาวะเป็นสูญญากาศ(vacuum chamber) ข้าวที่ผ่านเข้ามาจะเกิดการขยายตัวทันที เพราะความดันลดลงอย่างรวดเร็ว ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะมีขนาดขยายใหญ่กว่าเดิมประมาณ 2-3 เท่า

2.5.1.7 การทำแห้งในภาวะแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying)

หลักการคือการใช้เครื่อง ทำแห้งเยือกแข็ง ทำให้เม็ดข้าวสุกเกิดผลึกน้ำแข็งและระเหิดออกทันที ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ต้นทุนในการผลิตสูงกว่าการใช้ ลมร้อน หรือการใช้ puffing gun ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมมากนักแม้จะแม้จะได้ข้าวหุงสุกเร็วที่มีลักษณะที่ดีกว่าก็ตาม

2.5.1.8 การใช้สารเคมี (Chemical treatment)

มีการใช้สารเคมีในขั้นตอนต่างๆ เช่นในขั้นตอนการแช่ การต้ม และสารเคมีแต่ละชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป เช่น กรดไขมันประเภทเอสเทอร์, กรดไขมันประเภทซอร์บิทอลเอสเทอร์, โพรพิลีนไกลคอล, โดยสารเคมีเหล่านี้จะมีหน้าที่แตกต่างกันไป เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัว,สารเพิ่มความสามารถในการละลาย หรือเป็น สารช่วยให้เกิดฟอง หรือการใช้โซเดียมคลอไรด์ เพื่อทำให้เมล็ดข้าวดูดน้ำได้มากขึ้น

2.5.1.9 วิธีการอื่นๆ (Miscellaneous process)

เป็นวิธีการผลิตที่นำกระบวนการต่าง ๆ มาผสมผสานกัน เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ เช่น วัตถุดิบที่ใช้อาจเป็น ข้าวสาร ข้าวหัก หรือข้าวกล้อง ดังนั้นจึงต้องมีกรรมวิธีที่แตกต่างกันออกไป เช่น อาจจะมีการใช้สารเคมีในการผลิต ร่วมกับการระเหยน้ำแข็งในภาวะแช่เยือกแข็ง หรือใช้ลูกกลิ้งบีบข้าวนึ่ง ในภาวะที่มีเอนไซม์และความชื้นแล้วผ่านการลดความดันที่ความร้อนสูง จะได้ข้าวพองที่มีความหนาแน่นที่ดี (Lewis และ คณะ, ค.ศ. 1986)

จากวิธีการผลิตทั้ง 9 วิธี จะพบว่าแต่ละวิธีมีขั้นตอนการผลิตและหลักการแตกต่างกันไป แต่สรุปได้ว่าการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจะประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การทำให้ข้าวเกิดเจลาทีไนเซชันเพื่อทำให้ข้าวสุก และการทำแห้งเพื่อทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนภายในเมล็ด และยังเป็นการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลง นอกจากนั้นกระบวนการอื่นๆที่ใช้ในการผลิตนอกเหนือไปจากการเจลาทีไนเซชัน และการทำแห้งเช่น การแช่น้ำ , การใช้แรงบีบ, การใช้ความดัน หรือ การใช้สารเคมี ก็ต่างเป็นวิธีที่ช่วยทำให้ข้าวเกิดการเจลาทีไนเซชันได้ดีขึ้น หรือวิธีการแช่แข็งและละลายน้ำแข็ง ก็จะเป็นวิธีที่ทำให้ข้าวเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนมากขึ้น คืนรูปได้ง่ายขึ้น ดังจะเห็นว่าหลักการที่พยายามพัฒนาปรับปรุงวิธีการผลิตขึ้นมาก็เพื่อวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 2 ประการคือ เพื่อลดพลังงาน และเวลาที่ใช้ในการเกิดเจลาทีไนเซชัน และเพื่อให้ได้ข้าวหุงสุกเร็ว ที่ใช้เวลาในการคืนรูปสั้นลง โดยข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มีคุณภาพที่ดี

2.6 ลักษณะเฉพาะของข้าวหุงสุกเร็ว

ลักษณะของข้าวหุงสุกเร็ว หรือข้าวกึ่งสำเร็จรูปอธิบายได้ 2 ลักษณะคือ

2.6.2.1 ลักษณะข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูป

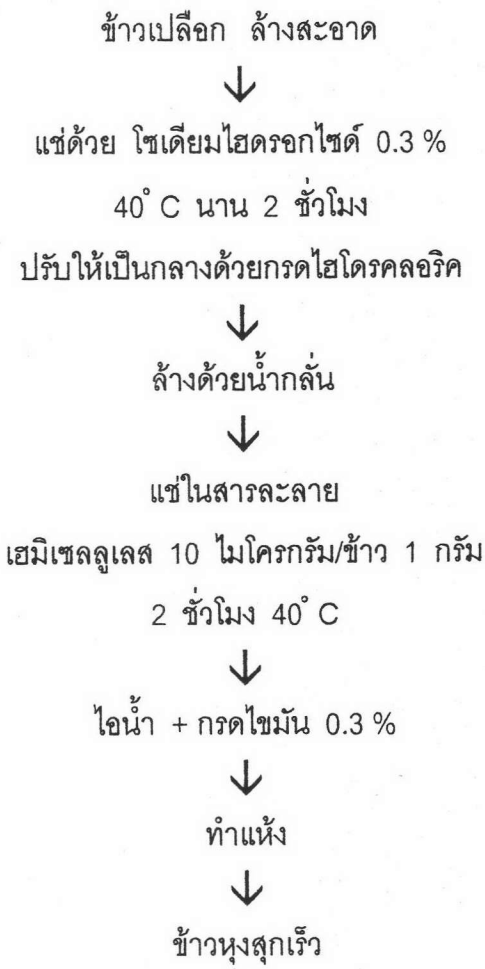
ข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูปควรมีความชื้นไม่เกิน 12% เม็ดข้าวต้องแยกตัวจากกันไม่เกาะเป็นก้อนเพื่อให้มีพื้นที่ผิวในการดูดน้ำกลับคืนมากขึ้น มีค่าความหนาแน่นต่ำประมาณ 0.4-0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Robert, Carlson and Farkas , 1980) ค่าความหนาแน่นเกี่ยวข้องกับความพรุนของข้าว ข้าวเจ้าที่มีค่าความหนาแน่นต่ำตามต้องการจะมีความพรุนมาก สามารถคืนรูปได้อย่างรวดเร็ว การจะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วก่อนคืนรูปมีค่าความหนาแน่นต่ำสามารถทำได้โดยในช่วงกระบวนการผลิต ต้องให้ข้าวสุกดูดน้ำเป็นปริมาณมากก่อนที่จะนำมาทำแห้ง และต้องทำแห้งโดยระเหยน้ำออกอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าใช้เวลาในการเกิดเจลาทีไนเซชัน ก่อนการทำแห้งนานเกินไป ข้าวเจ้าจะดูดน้ำมากเกินไป เมื่อนำไปทำแห้งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่น ต่ำมากไป เมื่อคืนรูปจะให้ผลิตภัณฑ์ที่แฉะและคุณภาพไม่เป็นที่ต้องการ

2.6.2 ลักษณะข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้ว ควรมีลักษณะดังนี้

ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วควรมีรสชาติ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏเหมือนข้าวหุงด้วยวิธีธรรมดา ควรจะมีอัตราการขยายตัวประมาณ 1.5-3.0 เท่าโดยปริมาตรของข้าวก่อนคืนรูป และ มีคุณค่าทางอาหารสูง ดังนั้นต้องหลีกเลี่ยงการฉีกขาดของเมล็ดข้าว ทำให้สูญเสียแป้งและสารอาหาร

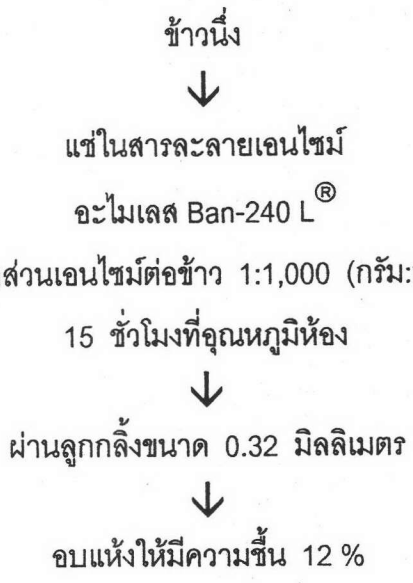
2.7 การใช้เอนไซม์ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว

จากการศึกษาข้อมูลเรื่องการนำเอนไซม์มาใช้ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว พบว่าก่อนหน้านี้ได้มีผู้ริเริ่มใช้เอนไซม์ในกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว โดยจะใช้ร่วมกับวิธีการอื่นๆเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เช่น ในปี ค.ศ. 1976 Li และคณะ ผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวเปลือก โดยการใช้เอนไซม์เฮมิเซลลูเลสย่อยสลายเปลือกข้าว และ สารช่วยในการเกิดฟอง เพื่อป้องกันการเกาะตัวของข้าว ทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดน้ำมากขึ้น ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้มีรสชาติดีเป็นที่ยอมรับ



รูปที่ 2.6 แผนภาพการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวเปลือก โดยใช้เอนไซม์ ตามวิธีของ Li และคณะ ค.ศ. 1976

ต่อมาในปี ค.ศ. 1986 Lewis และคณะ ใช้เอนไซม์อะไมเลส Ban-240 L® ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวนึ่ง ได้ข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้เวลาในการต้ม 8-10 นาที มีความนุ่มและกลิ่นที่ดี



รูปที่ 2.7 แผนภาพการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวนึ่ง โดยใช้เอนไซม์ ตามวิธีของ Lewis และคณะ ค.ศ. 1986

จากงานทดลองของ Watanabe และคณะ ในปี ค.ศ. 1991 ทดลองปรับปรุงคุณภาพข้าวเก่าด้วยเอนไซม์ 5 ชนิด คือ เซลลูเลส, เพคโตไลเอส , ทรานสกลูตามิเนส, ไลเปส และโปติเอส เพื่อย่อยสลายโครงสร้าง เซลลูโลส, เฮมิเซลูโลส, ไขมัน และโปรตีน ออกจากผนังเซลของข้าว พบว่าการย่อยสลายผนังเซลจะไม่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพข้าวสุกของข้าวเก่า แต่การย่อยสลายโปรตีนที่เชื่อมเยื่อหุ้มเซลภายในข้าว มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพข้าวเก่าที่ได้ โดยทำให้ข้าวสุกที่ได้มีลักษณะสัมผัสดีที่สุด มีค่าความเหนียวต่อความแข็งมากที่สุด

จากเอกสารค้นคว้าที่ได้นำมาศึกษาไม่ว่าจะเป็นชนิดข้าว สมบัติของข้าวด้านการหุง รวมทั้งกรรมวิธีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตข้าวหุงกึ่งสำเร็จรูปชี้ให้เห็นประเด็นของแนวทางการผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวที่น่าสนใจยิ่ง โดยเฉพาะองค์ประกอบของโปรตีนในผิวข้าวเจ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึง ทดลองผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวสารขัดขาว โดยเลือกใช้วิธีการแช่ข้าว - ต้ม/ไอน้ำ - ทำแห้ง ร่วมกับ วิธีการใช้สารเคมี โดยการใช้โปรติเอสร่วมในขั้นตอนการแช่ เพื่อย่อยสลายโครงสร้างโปรตีนที่ผิวข้าวซึ่งมีอยู่ถึงร้อยละ 6 ถึง 7 ที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการขัดขวางการดูดซับน้ำของเม็ดแป้งลงก่อน และเม็ดข้าว

ต้องมีความชื้นในช่วง 30-35 % จึงจะเพียงพอที่จะเกิดเจลาทีไนเซชันในตขั้นตอนต่อไปได้ จากนั้นจึงผ่านการเจลาทีไนเซชัน ด้วยการต้มในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอเพื่อทำให้ข้าวสุก โดยมีค่าร้อยละการเกิดเจลาทีไนเซชันมากกว่า 80 แล้วตามด้วยวิธีการทำแห้งแบบลมร้อน ให้ได้ความชื้นประมาณ 7 % ผลผลิตที่ได้นำมาทดสอบตามลักษณะเฉพาะของข้าวหุงสุกเร็ว