บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ข้าว (Rice)

ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรเกือบทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางแถบทวีปเอเชีย และลาตินอเมริกา โดยมีการปลูกข้าวในประเทศต่าง ๆ ทั่วไปทั้งในเขตร้อน (tropical) และใกล้เขตร้อน (sub-tropical) ของโลก เช่น ประเทศในแถบเอเชีย บราซิล แอฟริกาตอนใต้ ฯลฯ โดยเฉพาะในประเทศไทย ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และอาจถือได้ว่าการทำนาปลูกข้าวเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรไทย

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว (3)

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าอยู่ใน Family -Gramineae
Sub-tribe -Oryzinae
Genus -Oryza

ข้าวใน genus oryza นี้มีอยู่หลาย species โดยถูกจัดเป็นข้าวป่า (wild rice) 22 species และเป็นข้าวที่ปลูกกันทั่ว ๆ ไป (cultivated rice) 2 species คือ

1.1 Oryza glaberrima ปลูกในแถบแอฟริกาตะวันตกเป็นส่วนใหญ่

1.2 Oryza sativa เป็นข้าวที่ใช้ปลูกกันโดยทั่ว ๆ ไปรวมทั้งในประเทศไทยด้วย ข้าวใน species นี้ แบ่งออกเป็น 3 sub-species คือ

1.2.1 sub-species indica ปลูกอยู่ทั่วไปในแถบเอเชียเขตร้อน ปลูกมากใน อินเดีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ เวียดนาม อินโดนีเซียและไทย อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ประมาณ 80-120 วัน เมล็ดมีลักษณะยาวเรียว ใบสีเขียวอ่อน

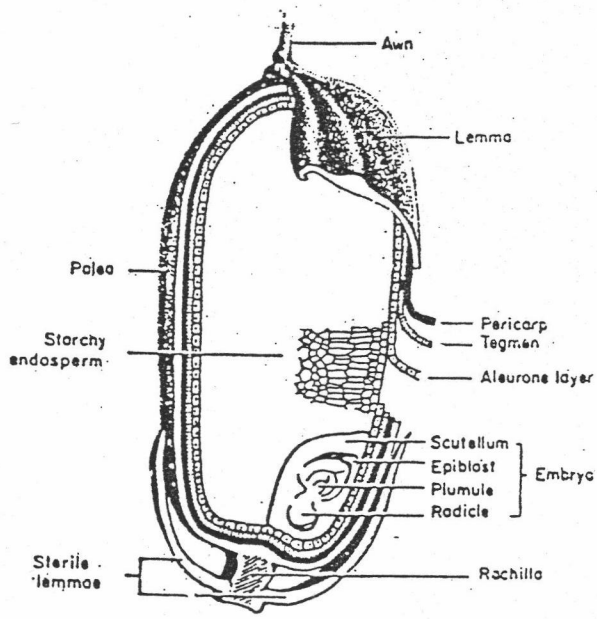
1.2.2 sub-species japonica ขึ้นได้ดีในเขตอบอุ่น ปลูกมากใน จีน ญี่ปุ่นและเกาหลี เมล็ดมีลักษณะอ้วน ป้อม รวงแน่น ใบสีเขียวเข้ม

1.2.3 sub-species javanica ปลูกมากในหมู่เกาะชวา มีปลูกบ้างเล็กน้อยในฟิลิปปินส์ อินเดียและศรีลังกา ข้าวชนิดนี้จะมีลำต้นแข็ง รวงยาว เมล็ดมีหาง

(awned grains)

2. โครงสร้างของเมล็ดข้าว (4,5)

เมล็ดข้าวมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวเปลือก คือ ผลของข้าวที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ จากด้านนอกเข้าไป ดังต่อไปนี้ คือ

2.1 non-flowering glume จะอยู่ด้านนอกสุด ตรงส่วนที่เมล็ดติดกับรวงข้าว มีอยู่ 2 อัน

2.2 flowering glume ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) และเปลือกเล็ก (palea) ซึ่งมีลักษณะแข็ง เป็นเปลือกที่หุ้มอยู่ภายนอกเมล็ด

2.3 เยื่อหุ้มผล (pericarp) ประกอบด้วยเยื่อ 3 ชั้น คือ epicarp, mesocarp และ endocarp

2.4 เยื่อหุ้มเมล็ด (testa)

2.5 aleurone layer เป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูง

2.6 endosperm เป็นส่วนเนื้อของเมล็ดข้าว มีอยู่ประมาณ 82 % ของเมล็ด ส่วนใหญ่ประกอบด้วย carbohydrate ซึ่งอยู่ในรูปแป้ง

2.7 จมูกข้าว (Embryo) เป็นส่วนเล็ก ๆ อยู่ที่มุมล่างของเมล็ด ส่วนนี้มี

สารอาหารหลายชนิด ยกเว้นแป้ง เป็นส่วนที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นต่อไป

จะเห็นได้ว่าเมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดเรียกว่า แกลบ (husk) และส่วนที่รับประทานได้เรียกว่า ข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) ดังนั้นเมื่อกระเทาะเปลือกออกก็จะได้ข้าวกล้อง ชั้นนอกสุดของข้าวกล้อง คือส่วนที่จะเป็นรำ ซึ่งมีชั้นของ aleurone layer อยู่ในสุด เป็นชั้นที่มีคุณค่าทางอาหารสูงคือมีโปรตีนและไขมันอยู่สูง เมื่อนำไปขัดสีเยื่อส่วนนี้จะถูกกำจัดออกได้เป็น ข้าวสารและรำ

3. **การจำแนกชนิดของข้าว** (3,6,7,8,9)

การจำแนกชนิดของข้าวจะอาศัยคุณสมบัติต่าง ๆ เป็นตัวกำหนด ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น ในแง่ของนักปรุงพันธุ์และผสมพันธุ์ข้าวนิยมจำแนกชนิดของข้าว โดยอาศัยสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าว เพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีคุณลักษณะการหุงต้มการรับประทาน และการนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค เช่น การจำแนกตามความคงตัวของเจล (gel consistency) การเปลี่ยนคุณลักษณะของแป้งระหว่างการหุงต้ม (pasting characteristics) แต่ถ้าจำแนกโดยอาศัยความแตกต่างของสัดส่วนแป้งที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าว จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

3.1 <u>ข้าวเจ้า</u> (non-glutinous rice) เมล็ดจะมีลักษณะใสและแข็ง แป้งในเมล็ดประกอบด้วยส่วนที่เป็นอะไมโลเปคติน (amylopectin) ประมาณ 64-92 % และเป็นอะไมโลส (amylose) ประมาณ 8-36 % ของน้ำหนักเมล็ด เมื่อตรวจสอบสมบัติของแป้งด้วยสารละลายไอโอดีน จะได้เป็นสีน้ำเงิน

3.2 <u>ข้าวเหนียว</u> (glutinous rice) เมล็ดข้าวมีลักษณะขุ่นทึบ มีความเลื่อมมัน เมล็ดอ่อนและมีขนาดใหญ่ แป้งในเมล็ดประกอบด้วยอะไมโลเปคตินประมาณ 92-100 % และเป็นอะไมโลสประมาณ 0-8 % ของน้ำหนักเมล็ด ปริมาณอะไมโลสในข้าวเหนียวจะมีน้อยกว่าในข้าวเจ้า เมื่อทดสอบคุณสมบัติของแป้งในเมล็ดข้าวเหนียวด้วยสารละลายไอโอดีน จะพบว่าสีของส่วนผสมจะเป็นสีเหลืองหรือสีแดงอมน้ำตาล (reddish brown)

4. **การแบ่งลักษณะของเมล็ดข้าว** (10)

ในสหรัฐอเมริกานิยมแบ่งข้าวตามขนาดและรูปร่าง ขนาดของเมล็ดข้าววัดตามความยาวของเมล็ดข้าวกล้อง แบ่งได้ 3 พวก คือ

- ข้าวเมล็ดสั้น (short grain rice) ขนาดยาวตั้งแต่ 5.50 มิลลิเมตรลงมา

- ข้าวเมล็ดปานกลาง (medium grain rice) ขนาดยาว 5.51-6.60 มิลลิเมตร
- ข้าวเมล็ดยาว (long grain rice) ขนาดยาว 6.61-7.50 มิลลิเมตร
- ข้าวเมล็ดยาวพิเศษ (extra long grain rice หรือ EL-type) ยาวกว่า 7.50 มิลลิเมตร

และรูปร่างของเมล็ดข้าวแบ่งออกได้ 3 พวก โดยประเมินจากอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของเมล็ด ได้แก่

- เรียว (slender) อัตราส่วนเกินกว่า 3.0 ขึ้นไป
- ปานกลาง (medium) อัตราส่วนตั้งแต่ 2.1 - 3.0
- ป้อม (bold) อัตราส่วนตั้งแต่ 2.0 ลงมา

5. คุณภาพของเมล็ดข้าว

คุณภาพของเมล็ดข้าว ปกติจะพิจารณาตามความเหมาะสมที่ผู้บริโภคจะตัดสินว่าตรงตามความต้องการหรือไม่ ซึ่งรวมถึงคุณภาพในการเก็บรักษา คุณภาพการสี คุณภาพในการหุงต้ม การนำไปรับประทานและคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าว โดยอาจแบ่งคุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวเป็น 2 พวก (11) คือ

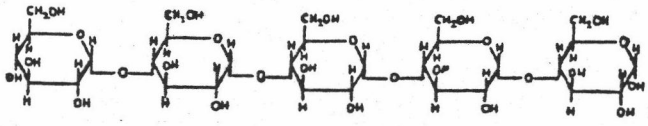
5.1 <u>คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ</u> หมายถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือชั่ง ตวง วัดได้ เช่น สีของข้าวเปลือก สีของข้าวกล้อง ขนาดรูปร่างของเมล็ด น้ำหนักเมล็ด และคุณภาพการสี

5.2 <u>คุณภาพเมล็ดทางเคมี</u> หมายถึง คุณสมบัติและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมล็ดทางเคมี เช่น ชนิดและปริมาณแป้ง โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุและอื่น ๆ รวมตลอดถึงคุณภาพการหุงต้ม การรับประทาน และการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ ส่วนใหญ่จะใช้ประเมินราคาข้าวที่ซื้อขายกันในท้องตลาด

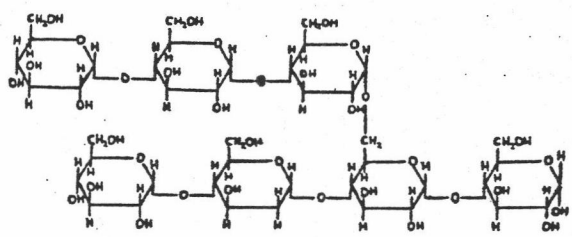
คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี มีความสัมพันธ์และสำคัญยิ่งต่อคุณลักษณะการหุงต้ม การรับประทาน การนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและสมบัติของแป้งในเมล็ดข้าว แป้งในข้าวอาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. อะไมโลส ประกอบด้วย D-glucopyranose มาต่อกันเป็นเส้นตรงโดยใช้พันธะ -1,4 glycosidic จำนวนย่อยของ D-glucopyranose ในโมเลกุลของอะไมโลสจะมีได้ตั้งแต่น้อย ๆ หน่วยขึ้นไปจนถึง 3,000 หน่วย ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลส

2. อะไมโล เปคติน ประกอบขึ้นด้วย D-glucopyranose เช่นกัน แต่การต่อกันจะใช้พันธะ 2 แบบ คือ -1,4 และ -1,6 glycosidic ทำให้อะไมโล เปคตินมีโครงสร้างของโม เลกุลที่แยกออก เป็นกิ่ง โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะมี D-glucopyranose ประมาณ 24-30 หน่วยอยู่ระหว่างจุดแยกแต่ละจุดของอะไมโล เปคติน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างของอะไมโล เปคติน

ใน เม็ดแป้ง โม เลกุลของอะไมโลส และอะไมโล เปคตินจะจัด เรียงตัวกัน เป็นกลุ่ม แบ่งได้ เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งมีการจัด เรียงตัวกันอย่างมีระ เบียบ เหมือนผลึก ซึ่ง เป็นส่วนของอะไมโลส มีการพองตัวจำกัด เรียกส่วนนี้ว่า crystalline region อีกกลุ่มหนึ่งมีการจัดตัวกันอย่างไม่ เป็นระ เบียบ ดูดน้ำได้ดี เรียกส่วนนี้ว่า amorphous region เป็นส่วนที่อยู่รอบ ๆ ผลึก ซึ่งประกอบด้วยอะไมโล เปคติน เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในแป้งที่มีอะไมโล เปคตินสูงจะมีส่วนที่ เป็น crystalline region น้อย จึงสามารถดูดน้ำได้รวด เร็ว พองตัวได้ดี เมื่อ เทียบกับแป้งที่มีอะไมโลสสูง (12)

6. **คุณภาพทาง เคมีกายภาพของข้าว** (Physicochemical criteria of rice)

คุณสมบัติทาง เคมีกายภาพนี้ มีความสำคัญต่อการทดสอบและประ เมินคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน ปัจจัยที่ทำให้ เมล็ดข้าวมีคุณสมบัติการหุงต้ม การรับประทานต่างกัน ได้แก่

6.1 ปริมาณอะไมโลส (amylose content)

สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (The International Rice Research Institute, IRRI) แบ่งข้าวออกตามปริมาณอะไมโลสเป็น 4 พวก (8) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ชนิดของข้าว	ร้อยละอะไมโลส
อะไมโลสต่ำ (low amylose)	ต่ำกว่า 20
อะไมโลสปานกลาง (intermediate amylose)	20-25
อะไมโลสสูงปานกลาง (moderately high amylose)	25-27
อะไมโลสสูง (high amylose)	มากกว่า 27

ปริมาณอะไมโลสมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการขยายปริมาตร และการดูดน้ำในระหว่างการหุงต้ม มีความสัมพันธ์ทางลบกับความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุก แต่ข้าวที่มีอะไมโลสเท่าหรือใกล้เคียงกันก็ยังมีความแตกต่างกันโดยเฉพาะความนุ่มของข้าวสุก ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับค่าการสลายเมล็ดในด่าง (alkali spreading value) หรือค่าความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) หรือทั้งสองค่า (13,14,15)

6.2 ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) (16,17)

เนื่องจากในข้าวบางพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสเท่ากัน ยังมีความแตกต่างในคุณภาพอีก IRRI จึงได้คิดหาวิธีการทดสอบคุณภาพในการรับประทานให้แน่ชัดยิ่งขึ้น เรียกว่า gel consistency test อาศัยหลักการทำให้แป้งใสโดยการต้มในสารละลายด่างเข้มข้น 0.2 N นาน 8 นาที แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และวัดระยะทางที่แป้งสุกไหลไปเมื่อวางบนพื้นราบนาน 30นาที IRRI ได้จัดแบ่งประเภทของข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แข็ง	ต่ำกว่า 35
ค่อนข้างแข็ง	36-40
ปานกลาง	41-60
อ่อน	มากกว่า 60

6.3 อุณหภูมิการเกิดเจล (gelatinization temperature)

อุณหภูมิการเกิดเจล คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่ทำให้เม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำดูดน้ำและพองตัวขึ้น จนกระทั่งความร้อนทำลายการจัดตัวภายในเม็ดแป้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในอย่างถาวร (irreversible granule swelling) ทำให้แป้งเปลี่ยนจากสภาพผลึกหลายเหลี่ยมเป็นลักษณะที่ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน (amorphous coherent mass) (18)

เนื่องจากความสามารถในการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง มีความสัมพันธ์ทางลบกับอุณหภูมิการเกิดเจล ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวจึงคาดคะเนอุณหภูมิการเกิดเจลจากค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในด่าง (alkali spreading value) ตามวิธีการของ Little และคณะ (19)

6.4 โปรตีน

ในเมล็ดข้าวถึงแม้จะมีโปรตีนอยู่น้อยก็ตาม แต่ก็มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มรับประทาน โดยทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลง ความนุ่ม ความเหนียวและความเลื่อมมันลดลงด้วย (17,20)

6.5 สารมีกลิ่นในเมล็ดข้าว

ข้าวบางพันธุ์มีลักษณะที่ทำให้เป็นที่นิยมเป็นพิเศษ คือ กลิ่นหอม เช่น ข้าวพันธุ์ขาวมะลิ 105 หรือข้าวหอมมะลิ กลิ่นหอมนี้ประกอบด้วยสารระเหยไม่ต่ำกว่า 100 ชนิด โดยมีองค์ประกอบหลักเป็น 2-acetyl-1-pyrroline (21)

6.6 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บ

ข้าวเก่าและข้าวใหม่มีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว 3-4 เดือน เมื่อเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 15°C การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา อาจมีผลมาจากการปรับสภาพการละลายและการเกิดเจลของแป้งและโปรตีนในเมล็ดข้าวที่สุกเต็มที่ ให้กลายเป็นสารที่คงตัวและไม่ละลายในน้ำมากขึ้น มีผลให้ข้าวเก่าต้องการน้ำในการหุงต้มมากกว่าข้าวใหม่ ลักษณะข้าวสุกจะแข็งและร่วนมากกว่าข้าวใหม่ ความหนืดและความคงตัวของแป้งจะเพิ่มขึ้น ส่วนองค์ประกอบทางเคมีอันได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณอะไมโลสและแป้งจะคงใกล้เคียงกับข้าวใหม่ ส่วนปริมาณ reducing sugar กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ในขณะที่ non-reducing sugar และกรดอะมิโนอิสระลดลง (22)

7. คุณภาพในการนำข้าวไปทำผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวมักใช้ข้าวที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป โดยเฉพาะปริมาณอะไมโลสข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะไมโลสอยู่เลย มักใช้สำหรับเป็นของหวาน ขนมพุดดิ้งและซ้อสต่าง ๆ ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำนิยมนำไปผลิตอาหารแห้งรับประทานตอนเช้า (dry breakfast cereal) และอาหารสำหรับเด็กอ่อน เนื่องจากปริมาณอะไมโลสต่ำทำให้เกิดความคงอยู่ในสภาพวุ้น (stable gel) ได้นาน ซึ่งจะทำให้แข็งตัวช้าในระหว่างการเก็บรักษา โรงงานผลิตข้าวพองจากข้าวนึ่งก่อนสี และข้าวตอกซึ่งผลิตจากข้าวสารนิยมใช้ข้าวเหนียวและข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ เนื่องจากความสามารถในการขยายพองตัวมีมาก ข้าวที่มีอะไมโลสปานกลางนิยมใช้ทำซุปกระป๋อง และส่วนผสมซุปแห้ง (dry soup mix) ในฟิลิปปินส์ทำเค้กข้าวหมักจากข้าวที่มีอะไมโลสปานกลางและมีความคงตัววุ้นอ่อน (soft gel consistency) เพราะแป้งดังกล่าวมีคุณสมบัติในการขยายตัวทางปริมาตรที่พอเหมาะระหว่างนึ่งด้วยไอน้ำและมีลักษณะเนื้อที่อ่อนนุ่ม ข้าวอะไมโลสสูงมีคุณลักษณะความคงตัวของวุ้นแข็ง (hard gel consistency) เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากมีความคงตัวสูงมาก ทนทานต่อการสลายในระหว่างหุงต้มและเป็นแผ่นดีมาก (23)

ข้าวพอง (Puffed rice หรือ popped rice)

1. **กรรมวิธีการทำข้าวพอง** (24)

ในการทำข้าวพองจะนำเอาเมล็ดข้าวมา puff ที่อุณหภูมิสูงในเวลาสั้น ๆ (high-temperature-short-time) โดยข้าวที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตนั้นจะเป็นข้าวเปลือก (raw paddy) อาจแสดงแผนผังในการผลิตข้าวพองให้เห็นง่าย ๆ ได้ดังนี้

Paddy ---> adjust moisture ---> puff ---> **puffed rice**

นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์จากข้าวอีกชนิดหนึ่ง ที่ใช้หลักการในการผลิตเหมือนข้าวพอง คือ expanded rice แต่ expanded rice จะเพิ่มขั้นตอนในการผลิตขึ้นมาอีก ดังนี้

Paddy --> parboil --> dry --> mill --> puff --> **expanded rice**

ส่วนกรรมวิธีในการทำข้าวพองจะแตกต่างกันไปตามภูมิภาค วิธีหนึ่งที่ทำในอินเดีย คือ การนำเอาข้าวเปลือกมาตากแดดนาน 4 ชั่วโมงในฤดูร้อน หรือ 8-12 ชั่วโมงในฤดูหนาว แล้วนำมาแช่น้ำร้อนในโอ่ง 2-3 นาที เทน้ำออกปิดฝาทิ้งค้างคืนไว้ รุ่งเช้านำมาตากแดดให้แห้ง แล้วทิ้งไว้ในภาชนะปิดจนความชื้นคงที่ก่อนนำไป puff โดยวิธี air puffing หรือ sand puffing

2. **ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว**

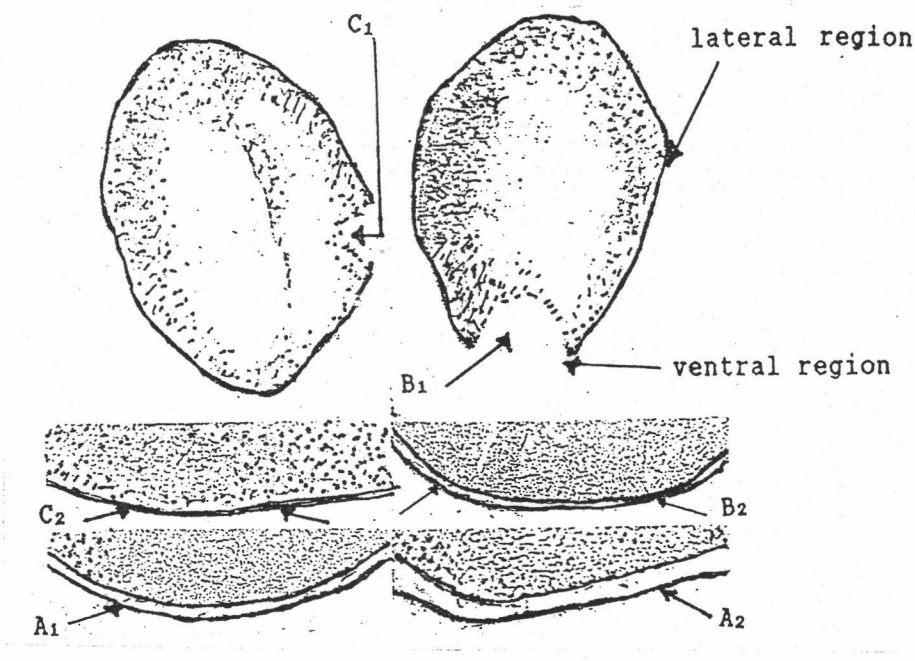
จากการศึกษาตัวแปรที่ผลต่อการพองของข้าว พบว่า มีตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

2.1 พันธุ์ข้าว

2.1.1 Histological study

Srinivas (25) ได้ทดลองนำเอาข้าวเปลือกมาปรับความชื้นเป็น 14 % ก่อนนำไป puff ใน electrically-heated rotatory roaster ที่ปรับอุณหภูมิไว้ 275°C พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างคุณภาพการพองตัวและความหนาเฉลี่ยของ aleurone layer แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวที่ให้คุณภาพการพองตัวที่ดี จะมี aleurone layer ที่อ่อนและบางตรง specific site ที่จะเกิด bursting ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพการพองตัวที่ไม่ดีจะมีความหนาของ aleurone layer เกือบสม่ำเสมอเท่ากันตลอดตามภาคตัดขวาง (cross-section)

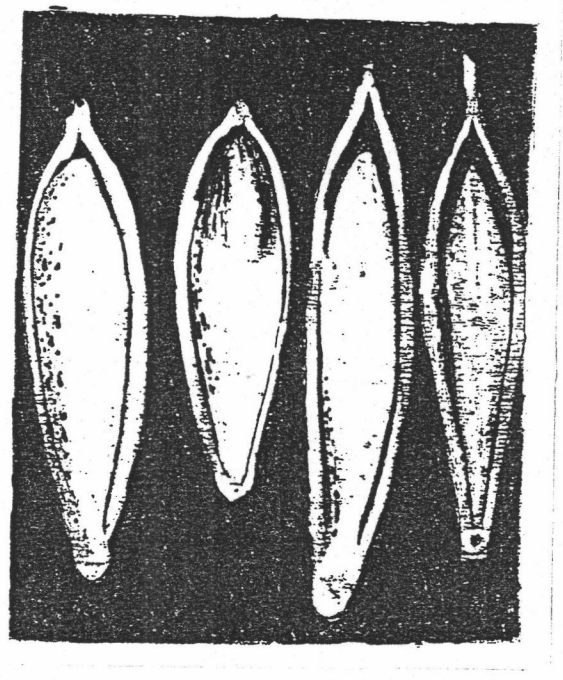
ของเมล็ดข้าว ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Transverse section ของเมล็ดข้าว

จากรูป A_1 และ A_2 แสดงถึง aleurone layer บริเวณ ventral และ lateral ของเมล็ดข้าวตามลำดับ ซึ่งเป็น aleurone layer ที่มีความหนามากและสม่ำเสมอ จึงเกิด puffing ได้ไม่ดี B_1 แสดงถึง bursting site ตรง ventral region B_2 แสดงให้เห็นถึง aleurone layer ที่บางและอ่อนตรง ventral region ส่วน C_1 แสดง bursting sites ที่บริเวณ lateral และ C_2 แสดงถึง thin aleurone layer ที่บริเวณ lateral

นอกจากนี้เขายังพบว่าถ้าข้าวมีช่องว่างระหว่างเมล็ดและเปลือกข้าวกว้างจะให้คุณภาพการพองตัวที่ดี ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวและเปลือกของข้าวเปลือกพันธุ์ Mg1-1, Taichung-65, White Puttu, IR-253 และ Korean waxy ตามลำดับ

จากรูป เมล็ดข้าวทางซ้ายมือมีช่องว่างเมล็ดข้าวและเปลือกแคบ จะมีคุณภาพการพองที่ต่ำ ส่วนเมล็ดข้าวทางขวามือมีช่องว่างระหว่างเปลือกและเมล็ดกว้าง จึงมีคุณภาพการพองตัวที่ดี

2.1.2 ความแก่อ่อนของเมล็ด (maturity)

Srinivas (25) พบว่าข้าวจะให้คุณภาพการพองตัวที่ดี เมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีความชื้นในเมล็ดโดยเฉลี่ย 20-24 % การเก็บเกี่ยวก่อนเวลาอันสมควรหรือเก็บเกี่ยวล่าช้ามีผลทำให้ข้าวมีคุณภาพการพองตัวลดลง

2.1.3 ความถ่วงจำเพาะของเมล็ดข้าว

Srinivas (25) กล่าวว่าเมล็ดข้าวที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะให้คุณภาพการพองที่ดีกว่าข้าวที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ

2.1.4 ปริมาณอะไมโลส (amylose content)

Srinivas (25) พบว่า ปริมาณอะไมโลสและคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวไม่มีความสัมพันธ์กัน แม้ว่าข้าวเหนียวบางพันธุ์จะมีคุณภาพการพองตัวที่ดีก็ตาม

แต่ผลการทดลองของ Villareal (26) พบว่า คุณภาพการ

พองตัวของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยข้าวเหนียวซึ่งแทบไม่มีอะไมโลสอยู่เลยมีคุณภาพการพองตัวที่สูง

2.2 ความชื้นของข้าวก่อน puff

Murugesan (24) พบว่า ความชื้นของข้าวก่อนที่จะ puff มีความสำคัญต่อคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวเป็นอย่างมาก โดยถ้าข้าวมีความชื้นต่ำเกินไปจะพองได้น้อย คาดว่าเนื่องจาก steam pressure ไม่เพียงพอที่จะเกิด bursting และถ้าข้าวมีความชื้นสูงเกินไป ก็จะให้คุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวที่ต่ำเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องหาความชื้นที่เหมาะสมที่จะให้คุณภาพการพองตัวสูง ๆ โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมของข้าวก่อน puff มักอยู่ในช่วง 13.5-14.5 %

2.3 อุณหภูมิที่ใช้ puff

Murugesan (24) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ puff ต่ออัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าว โดยปรับความชื้นของข้าวก่อน puff เป็น 14 % พบว่า ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ต่ำเกินไปอาจทำให้ข้าวไม่ puff หรือ puff ได้น้อยลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปคุณภาพการพองตัวของเมล็ดข้าวที่ได้ก็จะต่ำเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะทำให้ข้าวไหม้เสียก่อนที่จะพองได้หมด ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการ puff ของข้าว จะเป็นอุณหภูมิที่ข้าวมีคุณภาพการพองสูง และเมื่อใช้วิธีการผลิตเดียวกัน ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน

2.4 เกลือ (salt)

จากการที่ Chinnaswamy (27) พบว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะเพิ่มการขยายตัวของ expanded rice Murugesan (24) จึงได้ทำการทดสอบว่า เกลือจะมีผลต่อการ puff ของข้าวพองหรือไม่ โดยการแช่ข้าวเปลือกในสารละลายเกลือ NaCl ความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 3 วัน หลังจากนั้นก็นำข้าวไปปรับความชื้น จนได้ความชื้นค่าต่าง ๆ ก่อนนำไป puff พบว่า เกลือจะช่วยเพิ่มคุณภาพการพองตัวของข้าว และในขณะเดียวกันก็จะไปมีผลทำให้ความชื้นที่เหมาะสมของข้าวก่อน puff เลื่อนจาก 14 % เมื่อไม่มีเกลือไป เป็น 17 % เมื่อเติมเกลือเข้มข้น 2 % ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม และนอกจากเกลือ NaCl แล้ว เกลือ $CaCl_2$, K_2SO_4 ก็สามารถช่วยเพิ่มอัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าวได้เช่นกัน

3. **การใช้ประโยชน์จากข้าวพอง** ได้มีการใช้ข้าวพองในลักษณะต่าง ๆ (28) ดังนี้

3.1 เป็นอาหารขบเคี้ยว (snack) ข้าวพองจะให้รสชาติกลมกล่อม (mild in flavor) มากกว่าข้าวโพดคั่ว (pop corn)

3.2 เป็นอาหารรับประทานตอนเช้า (breakfast cereal)

3.3 เป็นสารให้ความเหนียว (thickening agent) เนื่องจากแป้งที่ทำจากข้าวพองสามารถละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ทำให้เกิดความหนืดมาก จึงดัดแปลงมาใช้ในเครื่องดื่ม เพื่อจับอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ใน suspension นอกจากนี้แป้งที่ทำจากข้าวพองยังแสดงคุณสมบัติในการเป็น strong hydrophilic ใน water dispersion จึงนำไปใช้ในอาหารสำหรับเด็กอ่อน ซึ่งมีแป้งที่ทำจากเมล็ดพืชที่กำจัดไขมันออกแล้ว (defatted oilseed flour) เป็นแหล่งของโปรตีน ซึ่งจะแสดงความเป็น hydrophobic จึงอาจตกตะกอนลงมาได้

3.4 เป็น bulking agent คุณสมบัติที่สังเกตเห็นได้ง่ายของแป้งที่ทำจากข้าวพอง คือ มี bulk density ต่ำ จึงนำเอาแป้งจากข้าวพองมาใช้เป็น diluent หรือ bulking agent ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงได้กำหนดขึ้นมา เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในการผลิตข้าวพอง โดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ดีของประเทศไทย 6 พันธุ์ ซึ่งกรมวิชาการเกษตรแนะนำสำหรับเกษตรกรทั่วประเทศเป็นวัตถุดิบในการทดลอง โดยจะดำเนินการวิจัยในด้านการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม และศึกษาผลของสภาวะในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวและต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวพองที่ได้ ซึ่งคาดว่าประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ

1. ช่วยลดปัญหาข้าวเปลือกที่ล้นตลาดภายในประเทศ
2. เพื่อเป็นฐานข้อมูลและแนวทางที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร