การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

ของห้องปฏิบัติการ



กองวิจัยและพัฒนาข้าว

กรมการข้าว

การวิเคราะห์คุณภาพข้าวของห้องปฏิบัติการ

จัดทำโดย: กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

คณะทำงาน:

ศูนย์วิจัยข้าวแพร่
นางสาวกาญจนา พิบูลย์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี
นางสาววัชรี สุขวิวัฒน์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
นางสาวธารารัตน์ มณีน่วม นักวิชาการเกษตรชำนาญการ
นางปราณี มณีนิล เจ้าพนักงานการเกษตรชำนาญงาน
ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก
นายพูลเศรษฐ์ พรโสภณ นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
นางสาวอลิษา เสนานุสย์ เจ้าพนักงานการเกษตรปฏิบัติงาน
ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
นางสาวสุภาภรณ์ จันทะนุด นักวิชาการเกษตรชำนาญการ
ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี
นางสาวปิยะนุช เทียงดีฤทธิ์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการ
ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง
นางสาวพัชราภรณ์ รักชุม นักวิชาการเกษตรชำนาญการ

ออกแบบรูปเล่ม:

นางสาวภัทรมน มหุวรรณ์

ISBN (e-book): 978-616-358-724-4

ตุลาคม 2568

คำนำ

คู่มือ **“การวิเคราะห์คุณภาพข้าวของห้องปฏิบัติการ”** จัดทำขึ้นภายหลังการดำเนินงานการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของข้าวภายใต้โครงการการเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบคุณภาพข้าวและเมล็ดพันธุ์ข้าวของห้องปฏิบัติการกองวิจัยและพัฒนาข้าวให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพข้าวทุกแห่งของกองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว ถือปฏิบัติให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน มีความถูกต้องและแม่นยำ โดยได้รับงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

คณะทำงานวิเคราะห์คุณภาพข้าว
กองวิจัยและพัฒนาข้าว
กรมการข้าว
ตุลาคม 2568

สารบัญ

	หน้า
คุณภาพทางกายภาพ (Physical quality)	
- สีเปลือก (Hull color)	1
- สีเมล็ดข้าวกล้อง (Brown color)	1
- ขนาดเมล็ด (Grain size)	1
- รูปร่างเมล็ด (Grain shape)	2
- น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight)	4
- ท้องไข่ (Chalky grain)	5
- คุณภาพการสี (Milling Quality)	6
- ความขาวของข้าวสาร (Whiteness of milled rice)	9
- ความใสของข้าวสาร (Translucency)	9
- ความชื้น (Moisture)	9
คุณภาพทางเคมี (Chemical properties)	
- อมิโลส (Amylose content)	12
- ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)	18
- อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature)	20
- กลิ่นหอม (Aroma)	23
- อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio)	25
เอกสารอ้างอิง	26

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ข้าราชการบำนาญ กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว นางสาวสุนันทา วงค์ปิยชน นางสาวสอางค์ ไชยรินทร์ และนางกฤษณา สุดทะสาร รวมทั้งนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจและแก้ไขเอกสาร รวมทั้งให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะในการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานวิเคราะห์คุณภาพข้าว จนสำเร็จลุล่วง ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้

คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ
(Physical quality)

หมายถึง คุณสมบัติของเมล็ดที่สามารถมองเห็นหรือชั่ง ตวง วัดได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด สีเมล็ดข้าวเปลือก สีเมล็ดข้าวกล้อง ขนาดและรูปร่างเมล็ด ลักษณะท้องไข่ คุณภาพการสี ความใสขุ่นของข้าวสาร ความขาวของข้าวสาร ซึ่งมีความชัดเจนและสามารถตรวจสอบได้รวดเร็ว (เครือวัลย์, 2534) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าวในงานด้านปรับปรุงพันธุ์ข้าว ซึ่งมีรายละเอียดการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

1. สีเปลือก (Hull color)

เป็นลักษณะประจำพันธุ์ ซึ่งมีส่วนในการตั้งชื่อพันธุ์ข้าวในอดีต เช่น ขาวพวง ขาวนางเนย เนื่องจากข้าวเปลือกมีสีฟางหรือสีขาว เหลืองหอม เหลืองข้างรั้ว เนื่องจากข้าวเปลือกมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาล สำหรับพันธุ์ข้าวไทยจะพบสีเปลือกทั้งสีขาว ฟาง น้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม ร่องน้ำตาล กระน้ำตาล น้ำตาลแดง ม่วงหรือดำ เป็นต้น พันธุ์ข้าวของไทยที่พบส่วนใหญ่สีเปลือกเป็นสีฟางและสีน้ำตาลอ่อนจนถึงเข้มน้ำตาล น้ำตาลแดง สำหรับข้าวพื้นเมืองพบความหลากหลายของสีเปลือก เช่น ฟางร่องน้ำตาล ฟางกระน้ำตาล น้ำตาลแดง ม่วง หรือดำ เป็นต้น การเรียกชื่อสีเปลือกเมล็ดจึงมีความแตกต่างกันตามลักษณะที่พบ

การกำหนดชื่อสีเปลือก

1.1 การกำหนดชื่อจากสีพื้นของข้าวเปลือก เช่น สีฟาง น้ำตาล น้ำตาลเข้ม ม่วง เป็นต้น

1.2 การกำหนดสีเปลือกที่พบสีหรือลักษณะอื่นบนเมล็ดด้วย ให้เรียกสีพื้นตามด้วยลักษณะที่พบ ได้แก่

1.2.1) พบสีอื่นในร่องเปลือกเป็นแนวยาว เช่น ฟางร่องน้ำตาล ฟางร่องดำ

1.2.2) พบลักษณะเป็นจุดกระจายบนเมล็ด เช่น ฟางกระ น้ำตาลกระ โดยไม่ระบุสีกระ

1.2.3) พบลักษณะก้นจุดบนเมล็ด การเรียกชื่อ เช่น ฟางก้นจุด ไม่ระบุสีของก้นจุด

1.2.4) พบลักษณะมีหางบนเมล็ด การเรียกชื่อ เช่น ฟางมีหาง ไม่ระบุความยาวของหาง

วิธีการประเมิน: ประเมินด้วยสายตา โดยใช้สีเปลือกของข้าวพันธุ์รับรองเป็นสีเปลือกเปรียบเทียบ

สีเปลือก	พันธุ์เปรียบเทียบ
สีฟาง	ขาวดอกมะลิ 105
สีน้ำตาล	กข6

2. สีเมล็ดข้าวกล้อง (Brown color)

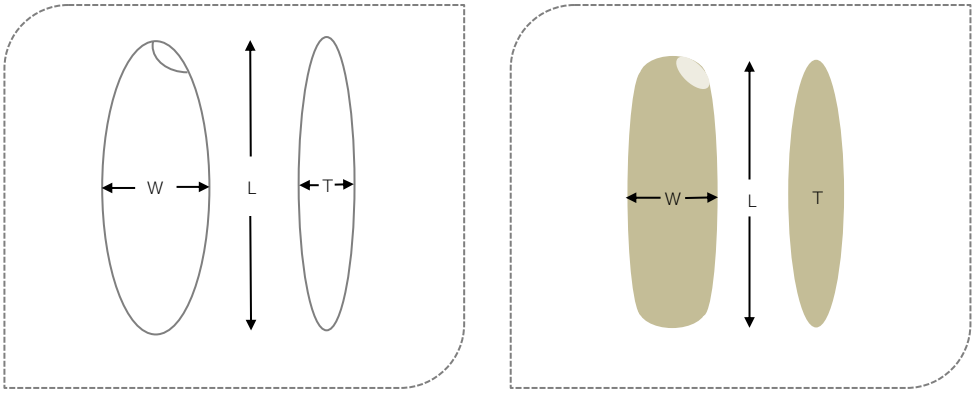
สีข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มผล (pericarp) มีสีแตกต่างกัน ตั้งแต่ สีขาว แดง น้ำตาลเข้ม ม่วงถึงเกือบดำ สีของข้าวกล้องมีผลต่อคุณภาพการสี คือ ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดรำนานหรือใช้แรงกดมาก ทำให้เกิดข้าวหักมาก ได้คุณภาพการสีต่ำ

วิธีการประเมิน: ประเมินด้วยสายตา

3. ขนาดเมล็ด (Grain size)

หมายถึง ความยาว (Length; L) ความกว้าง (Width; W) และความหนาเมล็ด (Thickness; T) ซึ่งเป็นลักษณะที่ควบคุมโดยพันธุกรรม ดังนั้น สถานที่ปลูกและการจัดการไม่ทำให้ลักษณะเหล่านี้เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยทั่วไป การพิจารณาคุณภาพเมล็ดจะหมายถึงความยาวของเมล็ด

- ความยาวเมล็ด หมายถึง ระยะทางจากปลายยอดสุดถึงโคนเมล็ด
- ความกว้างเมล็ด หมายถึง ระยะทางของส่วนที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ (lemma) ถึงเปลือกเล็ก (palea)
- ความหนาเมล็ด หมายถึง ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง



“การวัดขนาด (กว้าง ยาว หนา) เมล็ดข้าว”

ในงานปรับปรุงพันธุ์จะประเมินขนาดเมล็ดข้าวจากเมล็ดข้าวกล้อง (ตารางที่ 1) ส่วนงานตรวจสอบมาตรฐานสินค้าข้าวไทยของกระทรวงพาณิชย์จะประเมินจากเมล็ดข้าวกล้องและข้าวสาร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 การประเมินขนาดเมล็ดของงานปรับปรุงพันธุ์ข้าว

ขนาดเมล็ด	ความยาวเมล็ดข้าวกล้อง (มิลลิเมตร)
เมล็ดยาวมาก (Extra long grain)	ยาวกว่า 7.50
เมล็ดยาว (Long grain)	6.61 - 7.50
เมล็ดปานกลาง (Medium grain)	5.51 - 6.60
เมล็ดสั้น (Short grain)	ไม่เกิน 5.50

ที่มา: IRRI (2014)

ตารางที่ 2 การประเมินขนาดเมล็ดของงานตรวจสอบมาตราฐานสินค้าข้าวไทย

ชั้นเมล็ด	ความยาวเมล็ด (มิลลิเมตร)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร
เมล็ดยาวชั้น 1	ยาวกว่า 7.00 มม.	ยาวกว่า 7.00 มม.
เมล็ดยาวชั้น 2	6.61 - 7.00 มม.	6.61 - 7.00 มม.
เมล็ดยาวชั้น 3	6.21 - 6.60 มม.	6.21 - 6.60 มม.
เมล็ดสั้น (Short grain)	ไม่เกิน 6.20 มม.	ไม่เกิน 6.20 มม.

ที่มา: กระทรวงพาณิชย์ (2559)

4. รูปร่างเมล็ด (Grain shape)

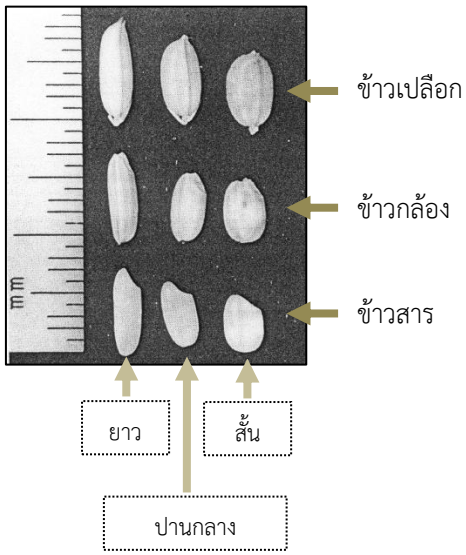
เป็นลักษณะประจำพันธุ์ของข้าว ขนาดและรูปร่างเมล็ดเป็นลักษณะแรกทางด้านคุณภาพเมล็ดที่นักปรับปรุงพันธุ์ใช้ในการจำแนกและคัดเลือกข้าวที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งแต่ละประเทศมีภูมิประเทศ ภูมิอากาศ วิธีการปลูก และความชอบในการบริโภคที่แตกต่างกัน ดังนั้น ข้าวที่ปลูกในแต่ละแห่งจึงมีลักษณะและรูปร่างเมล็ดที่แตกต่างกันด้วย ข้าวอินดิคาที่ปลูกในประเทศแถบร้อน เช่น ไทย พม่า มีรูปร่างเมล็ดเรียวถึงค่อนข้างป้อม ข้าวจาปอนิกาที่ปลูกในประเทศแถบอบอุ่น เช่น ไต้หวัน เกาหลี ญี่ปุ่น มีรูปร่างเมล็ดกลม ขนาดเมล็ดสั้น ส่วนข้าวจาวานิกาซึ่งเป็นข้าวพื้นเมืองของมาเลเซีย มีเมล็ดกว้างและหนา (เครือวัลย์, 2534)

ข้าวไทย โดยทั่วไปถือว่าเป็นข้าวที่มีเมล็ดเรียวยาว แต่ในมาตราฐานข้าวไทยไม่มีการกำหนดรูปร่างเมล็ด ดังนั้นจึงถือว่า ข้าวที่มีความยาวเมล็ดมากกว่า 7.0 มิลลิเมตร จัดเป็นข้าวคุณภาพดี

รูปร่างเมล็ด คำนวณได้จากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างเมล็ดของข้าวเต็มเมล็ด (Adiar *et al.*, 1966)

ตารางที่ 3 การประเมินรูปร่างเมล็ดข้าวของงานปรับปรุงพันธุ์ข้าวและงานตรวจสอบมาตราฐานสินค้าข้าวไทย

รูปร่างเมล็ด (grain shape)	**ความยาว/ความกว้าง** (L/W)
เรียว (Slender: SL)	มากกว่า 3.0
ปานกลาง (Medium: M)	2.0-3.0
ป้อม (Bold: B)	น้อยกว่า 2.0



วิธีการวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างเมล็ด

I. งานปรับปรุงพันธุ์ข้าวและงานวิจัยอื่น ๆ:

1. สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเมล็ดข้าวกล้องเต็มเมล็ด จำนวน 10 เมล็ดต่อตัวอย่าง ในกรณีที่จะเสนอขอรับรองพันธุ์ ใช้ข้าวกล้อง จำนวน 100 เมล็ดต่อตัวอย่าง
2. วัดขนาด (ยาวxกว้างxหนา) ด้วยเครื่องวัดขนาดเมล็ด เช่น micrometer เวอร์เนียร์
3. หาค่าเฉลี่ยความยาว ความกว้าง และความหนาเมล็ดเป็นมิลลิเมตร
4. คำนวณรูปร่างเมล็ด โดยใช้อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างเมล็ด และแปลผลตามตารางที่ 3

II. งานตรวจสอบมาตรฐานสินค้าข้าวไทย:

1. สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด จำนวน 100 เมล็ดต่อตัวอย่าง
2. วัดขนาด (ยาวxกว้างxหนา) ด้วยเครื่องวัดขนาดเมล็ด เช่น micrometer เวอร์เนียร์
3. หาค่าเฉลี่ยความยาว ความกว้าง และความหนาเมล็ดเป็นมิลลิเมตร
4. คำนวณรูปร่างเมล็ด โดยใช้อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างเมล็ด และแปลผลตามตารางที่ 3

5. น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight)

เปนองคประกอบผลผลิตที่ควบคุมโดยพันธุกรรมเปนสวนใหญ่แต่มีความแปรปรวนได้ตามขนาดและรูปรางเมล็ด ความชื้น การปลูก และสภาพภูมิอากาศ ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว การหาน้ำหนักเมล็ด สามารถทำได 2 รูปแบบ คือ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และน้ำหนักตอปริมาตร เช่น กรัมต่อลิตร กิโลกรัมต่อถัง เป็นต้น

สำหรับน้ำหนักเมล็ดของพันธุข่าวไทย พบวา ข่าวเปลือกมีน้ำหนักตั้งแต 16-42 กรัมตอ 1,000 เมล็ด และมีน้ำหนักตอปริมาตรระหวาง 10-11.5 กิโลกรัมตอถัง

วิธีการวิเคราะห์ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด

1. ทำความสะอาดเมล็ดข้าวเปลือกด้วยเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปน (Seed blower)
2. ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก 250 กรัม วัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น Steinlite รุ่น SB900 บันทึกผล
3. นับจำนวนเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความสมบูรณ์และมีขนาดสม่ำเสมอ 100 เมล็ด จำนวน 5 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักและหาค่าเฉลี่ย
4. นำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

น้ำหนัก 1,000 เมล็ด = 10 x น้ำหนักเฉลี่ย 100 เมล็ด

5. ปรับเป็นน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่ความชื้นร้อยละ 14 จากสูตร

$$\text{น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (14\% mc)} = \frac{\text{น้ำหนักที่วัดได้ x (100-ความชื้นที่วัดได้)}}{(100-14)}$$

วิธีการวิเคราะห์ น้ำหนักต่อปริมาตร

1. ทำความสะอาดเมล็ดข้าวเปลือกด้วยเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปน (Seed blower)
2. ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก 250 กรัม วัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้น Steinlite รุ่น SB900 บันทึกผล
3. นำข้าวเปลือกมาเทใส่ภาชนะมาตรฐาน ความจุ 1 ลิตร ใช้ไม้ปาดข้าวเปลือกให้เสมอกับปากภาชนะ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเป็นกรัม ทำจำนวน 2 ซ้ำ
4. หาค่าเฉลี่ยน้ำหนักข้าวเปลือก 1 ลิตร แล้วคำนวณเป็นกิโลกรัมต่อถัง (1 ถัง = 20 ลิตร)
5. ปรับเป็นน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ความชื้นร้อยละ 14 จากสูตร

$$\text{น้ำหนักต่อปริมาตร (14\% mc)} = \frac{\text{น้ำหนักที่วัดได้ x (100-ความชื้นที่วัดได้)}}{(100-14)}$$



เครื่องมือหาน้ำหนักต่อปริมาตร

6. ท้องไข่ (Chalky grain)

เป็นจุดขุ่นขาวทึบแสงคล้ายชอล์คในเมล็ดข้าว พบในเมล็ดข้าวเจ้า เกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวม ๆ ของเม็ดแป้ง (starch granule) ทำให้เกิดช่องอากาศเล็ก ๆ ภายในเมล็ด จึงเห็นเป็นลักษณะทึบแสง ซึ่งอาจมีขนาดแตกต่างกัน

ลักษณะเมล็ดท้องไข่เป็นลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยพันธุกรรมและเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม ทั้งนี้ขึ้นกับพันธุ์ข้าว (Nakatat, 1972) เมล็ดท้องไข่ไม่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มรับประทาน แต่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและราคาข้าว เนื่องจากข้าวที่มีเมล็ดท้องไข่มากเมื่อนำไปสีจะมีข้าวหักมาก ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อย (เครือวัลย์, 2534)

ท้องไข่ในเมล็ดข้าวมี 3 ชนิด ได้แก่

1. White belly ท้องไข่เกิดขึ้นทางด้านข้างเมล็ดด้านเดียวกับคัพภะ (embryo)
2. White center ท้องไข่เกิดขึ้นตรงกลางของส่วนที่เป็นแป้งในเมล็ด
3. White back ท้องไข่เกิดขึ้นทางด้านหลังของเมล็ดด้านตรงข้ามกับคัพภะ (embryo)

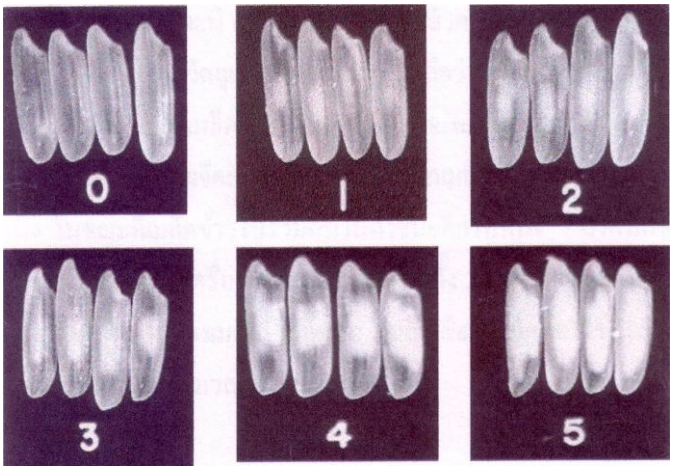
วิธีการวิเคราะห์

I. งานปรับปรุงพันธุ์ข้าวและงานวิจัย

1. สุ่มนับเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด จำนวน 2 ซ้ำ ๆ ละ 100 เมล็ด
2. นำเมล็ดข้าววางบนอุปกรณ์ที่มีแสงไฟส่องผ่าน
3. ประเมินขนาดของจุดขาวขุ่นด้วยสายตาเป็นระดับคะแนน นับจำนวนเมล็ดแต่ละระดับ

สถาบันวิจัยข้าว (2531) แบ่งระดับความเป็นท้องไข่ 6 ระดับ เป็น 0-5 ดังนี้

ระดับท้องไข่	จุดขาวขุ่น
ระดับ 0	0 %
ระดับ 1	10 - 20 %
ระดับ 2	>20 - 35 %
ระดับ 3	>35 - 55 %
ระดับ 4	>55 - 80 %
ระดับ 5	> 80 %



4. ประเมินค่าท้องไข่โดยวิธีถ่วงน้ำหนัก คำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{คะแนนท้องไข่} = \frac{\sum(\text{จำนวนเมล็ด } x \text{ ระดับท้องไข่})}{100}$$

5. แปลผลคะแนนท้องไข่

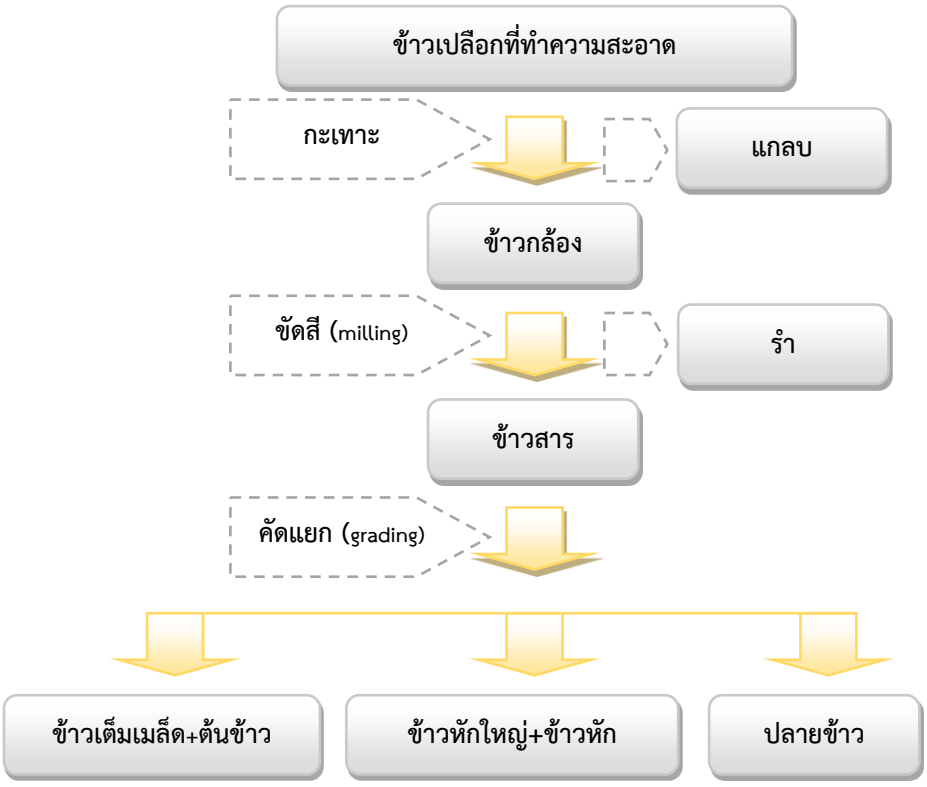
ท้องไข่	คะแนนท้องไข่
น้อย (slightly chalky)	< 1.0
ปานกลาง (moderately chalky)	1.0-1.5
ค่อนข้างมาก (chalky)	>1.5-2.0
มาก (very chalky)	> 2.0
ที่มา: สถาบันวิจัยข้าว (2531)	

II. งานตรวจสอบมาตรฐานสินค้าข้าวไทย:

1. ชั่งน้ำหนักข้าวสารเต็มเมล็ด 50 กรัม จำนวน 2 ซ้ำ
2. นำเมล็ดข้าววางบนอุปกรณ์ที่มีแสงไฟส่องผ่าน
3. ประเมินขนาดของจุดขาวขุ่นด้วยสายตาที่มีพื้นที่มากกว่า 50% ของเมล็ด จึงถือว่าเป็นเมล็ดท้องไข่
4. ชั่งน้ำหนักเมล็ดท้องไข่ และคำนวนเป็นร้อยละ

7. คุณภาพการสี (Milling Quality)

เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ประเมินราคาข้าวเปลือกโดยประเมินจากข้าวสารเต็มเมล็ดและต้นข้าว ถ้าได้มากแสดงว่ามีคุณภาพการสีดี ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว การจัดการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว และกระบวนการสีข้าว



แผนภูมิกระบวนการสีข้าว

กระบวนการสีข้าว จะได้ผลผลิตจากข้าวเปลือก ดังนี้

ข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้ว 100%	ผลผลิต (%)
แกลบ	20-24
รำ	8-10
ข้าวสาร	68-70
(ข้าวสาร ประกอบด้วย ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหัก และปลายข้าว)	

ที่มา: เครือวัลย์ (2534)

นิยาม:

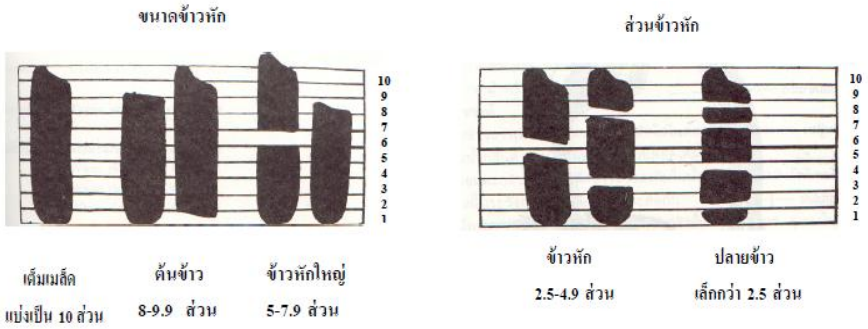
ข้าวเต็มเมล็ด หมายถึง เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการขัดสีและไม่มีส่วนที่เมล็ดแตกหักเลย

ต้นข้าว หมายถึง เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการขัดสีและมีความยาวเมล็ดตั้งแต่ 8 ส่วนขึ้นไปของความยาวทั้งเมล็ด รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ร้อยละ 80 ของเมล็ดขึ้นไป

ข้าวหักใหญ่ หมายถึง เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการขัดสีและมีความยาวเมล็ดตั้งแต่ 5-7.9 ส่วนของความยาวทั้งเมล็ด

ข้าวหัก หมายถึง เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการขัดสีและมีความยาวเมล็ดตั้งแต่ 2.5-4.9 ส่วนของความยาวทั้งเมล็ด

ปลายข้าว หมายถึง เมล็ดข้าวสารที่ได้จากการขัดสีและมีความยาวเมล็ดน้อยกว่า 2.5 ส่วนของความยาวทั้งเมล็ด รวมถึงส่วนของเมล็ดข้าวที่ร่อนผ่านตะแกรงโลหะเบอร์ 7



การคัดแยกเมล็ดข้าวสารหลังจากผ่านขบวนการสีข้าว ที่มา: กิติยา (2547)

การวิเคราะห์คุณภาพการสี

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1) เครื่องวัดความชื้นเมล็ด

1.2) เครื่องกะเทาะข้าว

1.3) เครื่องขัดขาว

1.4) เครื่องคัดแยกเมล็ด

1.5) เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2. วิธีการวิเคราะห์

2.1) ทำความสะอาดข้าวเปลือก

2.2) วัดความชื้นเมล็ด (เมล็ดที่จะนำมาวิเคราะห์คุณภาพการสี ต้องมีความชื้นเมล็ดไม่เกิน 14%)

2.3) ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้ว 125 กรัม จำนวน 2 ซ้ำ

2.4) นำข้าวเปลือกไปกะเทาะด้วยเครื่องกะเทาะเป็นข้าวกล้อง ชั่งน้ำหนักข้าวกล้อง คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องและเปอร์เซ็นต์แกลบ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวกล้อง}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} x100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์แกลบ} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก} - \text{น้ำหนักข้าวกล้อง}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} x100$$

2.5) นำข้าวกล้องไปขัดสีด้วยเครื่องขัดขาวเป็นข้าวสาร ชั่งน้ำหนักข้าวสาร คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ข้าวสารและเปอร์เซ็นต์รำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ข้าวสาร} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสาร}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} x100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์รำ} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวกล้อง} - \text{น้ำหนักข้าวสาร}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} x100$$

2.6) นำข้าวสารทั้งหมดไปคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว และข้าวหักออกจากกันด้วยเครื่องคัดแยกเมล็ด ชั่งน้ำหนักข้าวที่คัดแยกได้ คำนวณเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว และเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก (Adair, 1952 อ้างโดย Andrews *et al.,* 1992)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} x100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสาร} - \text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} x100$$

2.7) ประเมินคุณภาพการสีจากเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว

คุณภาพการสี	**เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว**
ดีมาก	> 50
ดี	41-50
ปานกลาง	31-40
ต่ำ	< 31
ที่มา: งามชื่น (2536)	

8. ความขาวของข้าวสาร (Whiteness of milled rice)

เกิดจากลักษณะประจำพันธุ์ ลักษณะทางกายภาพ รวมถึงระดับการสี ข้าวที่ผ่านการสีจนเป็นข้าวสารจะมีสีขาวเสมอเพราะเหลือส่วนที่เป็นแป้ง (endosperm) ของเมล็ด แต่ข้าวสารอาจมีความขาวแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี (degree of milling) ข้าวที่ขัดเบา ๆ หรือขัดด้วยระดับการสีต่ำจะได้ข้าวสารสีขาวน้อยกว่าข้าวที่ขัดหนักหรือขัดด้วยระดับการสีสูงเพราะยังมีรำติดอยู่บ้าง ข้าวที่เก็บไว้นาน ๆ เมื่อนำไปสีจะได้ข้าวสารสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ สันนิษฐานว่าเกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดข้าว โดยนักวิทยาศาสตร์ของ IRRI พบว่า ข้าวที่มีโปรตีนสูงจะมีสีข้าวสารคล้ำกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ ในทางการค้า ความขาวของข้าวสารซึ่งจำแนกโดยชั้นของการสีจะเป็นตัวกำหนดเกรดของข้าวด้วย เช่น ข้าว 100% จะต้องมีชั้นของการสีดีเป็นพิเศษ ซึ่งหมายถึง การสีเอาสิ่งต่าง ๆ ออกหมดไม่มีรำอยู่เลยจนข้าวมีลักษณะใสงามเป็นพิเศษ หรือข้าว 45% มีชั้นของการสีเป็นสีธรรมดา ซึ่งหมายถึง การสีที่ไม่เต็มที่ ข้าวสารมีสีขาวปานกลาง (เครือวัลย์, 2534)

9. ความใสของข้าวสาร (Translucency)

เป็นลักษณะความทึบแสงหรือความใสของเนื้อข้าวสารทั้งเมล็ด ซึ่งจะสังเกตเห็นความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า โดยเป็นคนละลักษณะกับเมล็ดท้องไข่ ส่วนในเมล็ดข้าวเหนียวที่แห้งจะมีลักษณะขาวขุ่นเพียงอย่างเดียว ปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุของความใสขุ่นในส่วนที่เป็นแป้งของข้าวเจ้า แต่คาดว่ามีสาเหตุเนื่องจากทั้งพันธุ์ข้าวและพื้นที่ปลูก (เครือวัลย์, 2534)

วิธีวิเคราะห์ ความขาวและความใสของเมล็ดข้าวสาร



วิเคราะห์ด้วยเครื่อง milling meter รุ่น MM1D โดยใช้ตัวอย่างข้าวสารประมาณ 10-15 กรัม ใส่ในภาชนะบรรจุตัวอย่าง (pan) แล้วนำไปใส่ในตลับใส่ตัวอย่างปิดฝาให้สนิท หลังจากนั้นใส่ในเครื่องวิเคราะห์ ผลที่ได้จะแสดง เปอร์เซ็นต์ความขาว (whiteness) เปอร์เซ็นต์ความใส (transparency) และค่าการขัดสี (milling degree)

10. ความชื้น (Moisture)

ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจะนำไปสีเป็นข้าวสารไม่ได้เพราะเมล็ดข้าวยังมีลักษณะอ่อนยุ่ย เมื่อสีเป็นข้าวสารเมล็ดข้าวยาวจะหักป่นหมด ความชื้นที่อยู่ในเกณฑ์ที่จะสีเป็นข้าวสารได้ประมาณ 14.5% การลดความชื้นจะสามารถช่วยเกษตรกรให้ขายข้าวเปลือกได้ราคาสูงขึ้น ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้นต่ำกว่า 14% แยกได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีแรกถ้าข้าวเปลือกมีความชื้นต่ำกว่า 14% ลงไปจนถึง 12% ยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถสีเป็นข้าวสารได้ กรณีที่ 2 ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้นต่ำกว่า 12% ลงไปแล้ว ถ้านำไปไปสีเป็นข้าวสารจะไม่ค่อยได้ผลเท่าใดเนื่องจากความชื้นระดับนี้จะทำให้เมล็ดข้าวแห้งเกินไป เปราะและหักง่าย (งามชื่น, 2547)

การหาปริมาณความชื้นสามารถทำได้โดย

1. ใช้เครื่องวัดความชื้นเมล็ด ได้แก่ Steinlite SB900, Kett-PM-650

	**Steinlite SB900** หลักการ: วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของเมล็ดพืชซึ่งแปรผันตรงกับปริมาณน้ำในเมล็ดและแปลงเป็นค่าความชื้น
	**Kett-PM-650** หลักการ: วัดค่าประจุไฟฟ้าคงที่ไดอิเลคทริค ที่ความถี่ 50MHz เมื่อนำตัวอย่างเมล็ดพืชใส่ลงในถ้วยตวง ความชื้นในตัวอย่างจะส่งผลต่อค่าไดอิเลคทริคที่วัดได้ ซึ่งเครื่องจะแปลงค่านี้เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยอัตโนมัติ โดยมีคุณสมบัติชดเชยอุณหภูมิและคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อความแม่นยำ
	**Kett-riceter** หลักการ: วัดความต้านทานกระแสไฟฟ้า เพื่อตรวจหาปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าว เครื่องจะใช้ระบบการบดที่คงที่เพื่อรักษาความแม่นยำในการวัด โดยเมื่อใส่เมล็ดข้าวลงไป เครื่องจะทำการวิเคราะห์ค่าความชื้นโดยอัตโนมัติ โดยมีคุณสมบัติชดเชยอุณหภูมิและคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อความแม่นยำ

2. วิธีการอบ (งามชื่น, 2547)

ใช้ตรวจสอบปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวที่บดแล้วหรือแป้งข้าวเท่านั้น

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1) ตู้อบ (oven)

1.2) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.3) โถดูดความชื้น (desiccator) พร้อมซิลิกาเจล

1.4) เครื่องบดเมล็ดข้าว ความละเอียดของแป้ง 80-100 เมซ (mesh)

1.5) ถ้วยอบอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร หรือมากกว่า



ตู้อบ



เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง



โถดูดความชื้น (desiccator) พร้อมซิลิกาเจล



เครื่องบดเมล็ดข้าว ความละเอียดของแป้ง 80-100 เมช (mesh)



ถ้วยอบอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm.

2. วิธีวิเคราะห์

2.1) บดเมล็ดข้าวขาวด้วยเครื่องบดให้เป็นแป้ง

2.2) เปิดฝาถ้วยอบอลูมิเนียม โดยเอาฝาซ้อนไว้ใต้ถ้วยอบ แล้วนำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปิดฝาทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.3) ชั่งแป้ง น้ำหนัก 1.0000 กรัม ใส่ในถ้วยอบอลูมิเนียม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.4) นำถ้วยที่บรรจุแป้งไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปิดฝาทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล

2.5) คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{(B-C)}{(B-A)} \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยอบอลูมิเนียมพร้อมฝา

B = น้ำหนักถ้วยอบอลูมิเนียมพร้อมฝาและแป้งก่อนอบ

C = น้ำหนักถ้วยอบอลูมิเนียมพร้อมฝาและแป้งหลังอบ

คุณภาพเมล็ดทางเคมี
(Chemical quality)

คุณภาพเมล็ดทางเคมีมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทานหรือคุณภาพข้าวสุก ซึ่งผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ทั้งนี้เพราะความชอบที่แตกต่างกัน เช่น บางคนชอบข้าวแข็งร่วนหุงขึ้นหม้อ บางคนชอบข้าวนุ่มเหนียว การที่ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีคุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัย ดังนี้

1. ปริมาณอมิโลส (Amylose content)

เมล็ดข้าวที่ใช้บริโภคเป็นอาหารนั้นประกอบด้วยแป้งประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ แป้งที่ประกอบเป็นเมล็ดข้าวมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ อมิโลสและอมิโลเพคติน อัตราส่วนของอมิโลสและอมิโลเพคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน

ปริมาณอมิโลส เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุกมากที่สุด ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินคุณภาพข้าวสุกว่ามีความเหนียวนุ่ม การเกาะตัวดี หรือร่วนค่อนข้างแข็ง หรือค่อนข้างเหนียว ปริมาณอมิโลสเพิ่มมากขึ้นทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้น ความนุ่มของข้าวลดลง เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอมิโลสที่สุกแล้ว (Retrogradation)

การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส แบ่งเป็น

1.1 ข้าวเหนียว ประกอบด้วยอมิโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ มีแป้งชนิดอมิโลสน้อยมากหรือบางพันธุ์ไม่มีเลย เมื่อหุงจึงสุกง่ายและอ่อนนุ่ม

1.2 ข้าวเจ้า ปริมาณอมิโลสจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว แป้งส่วนที่เหลือจะเป็นอมิโลเพคติน ปริมาณอมิโลสในข้าวเจ้าทำให้ข้าวหุงสุกมีลักษณะอ่อนนุ่มหรือแข็งกระด้างแตกต่างกันไป เรียกว่า มีคุณภาพการหุงต้มรับประทานต่างกัน กล่าวคือ ข้าวพันธุ์ที่มีอมิโลสมากเมื่อหุงสุกแล้วจะยิ่งแข็ง

การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลส (amylose content)

ประเภทข้าว	ปริมาณอมิโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-5	เหนียวมาก
ข้าวเจ้า		
- อมิโลสต่ำ (low)	10 ถึง < 20	นุ่มเหนียว
- อมิโลสปานกลาง (intermediate)	20 ถึง < 25	ค่อนข้างร่วน ไม่แข็ง
- อมิโลสสูง (high)	ตั้งแต่ 25 ขึ้นไป	ร่วน แข็ง

ปริมาณอมิโลสในข้าวมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน ข้าวเหนียวมีปริมาณอมิโลสน้อยกว่าข้าวเจ้า จึงหุงสุกเร็วกว่าและข้าวเหนียวที่หุงสุกแล้วจะมีความเหนียวมากกว่าข้าวเจ้า สำหรับข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีปริมาณอมิโลสสูง เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดข้าวสุกจะมีความแข็งมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ ดังนั้น ผู้บริโภคที่ชอบรับประทานข้าวนุ่มจะต้องเลือกข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำกว่า 20% นอกจากนี้ ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูง ในขณะหุงต้มจะดูดน้ำและขยายตัวได้มากกว่าข้าวที่มีอมิโลสต่ำ ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจึงมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวอมิโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะทำให้ข้าวสุกแฉะเละ แต่สำหรับข้าวอมิโลสสูงหากใส่น้ำปริมาณเท่ากับการหุงต้มข้าวอมิโลสต่ำจะได้ข้าวสุกที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากการหุงต้มข้าวอมิโลสสูงต้องการน้ำมาก เมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวสุกร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน ทำให้ข้าวสุกขยาย

ปริมาตรมากหรือข้าวขึ้นหม้อดีกว่าข้าวอมิโลสต่ำ ในขณะที่ข้าวอมิโลสต่ำ ข้าวสวยมีลักษณะเหนียว เกาะติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ

การหาปริมาณอมิโลสสามารถวิเคราะห์จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแป้งที่ละลายในสารละลายที่ปรับสภาพความเป็นกรด - ด่างพอเหมาะ อมิโลสเมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะได้สารละลายสีน้ำเงินซึ่งสามารถหาปริมาณอมิโลสในแป้งได้โดยวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 610-620 นาโนเมตร (nm) และเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานแป้งข้าวที่มีปริมาณอมิโลสระดับต่าง ๆ สีของสารละลายจะแตกต่างกัน การย้อมสีเมล็ดข้าวสารกับสารละลายไอโอดีนโดยตรงเป็นวิธีการที่จะแยกข้าวเจ้าและข้าวเหนียวได้ โดยเมล็ดข้าวเหนียวจะย้อมได้สีน้ำตาลแดง ส่วนเมล็ดข้าวเจ้าเป็นสีน้ำเงินเข้ม

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอมิโลส ตามวิธีการของ Juliano (1971)

วิธีการต้ม (Juliano, 1971)

1. เครื่องมือ

1.1) เครื่องบดเมล็ดข้าวที่บดให้ละเอียดได้ถึง 80-100 เมซ (mesh)

1.2) เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.3) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

1.4) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

1.5) ขวดแก้วปริมาตร (volumetric flask) ขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร

1.6) ปิเปต แบบ volumetric pipette ขนาดความจุ 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร

1.7) ปิเปต แบบ measuring pipette ขนาดความจุ 1-10 มิลลิลิตร

2. สารเคมี

2.1) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol: C_2H_5OH) 95%

2.2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: NaOH)

2.3) กรดเกลเซียลอะซิติก (glacial acetic acid: CH_3COOH)

2.4) ไอโอดีน (iodine: I_2)

2.5) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide: KI)

2.6) อมิโลส (potato amylose) มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95%

3. วิธีการเตรียมสารละลาย

3.1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์มัล (N): โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร ความจุ 1,000 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.2) สารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก เข้มข้น 1 นอร์มัล (N): กรดเกลเซียลอะซิติก ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร ความจุ 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.3) สารละลายไอโอดีน: ไอโอดีน 0.2000 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.000 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชาปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืนหรือจนไอโอดีนละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4. วิธีวิเคราะห์

4.1) บดเมล็ดข้าวขาวด้วยเครื่องบดให้เป็นแป้ง ชั่งแป้ง 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรความจุ 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิท ไม่ควรมีแป้งติดบริเวณคอของขวดแก้ว

4.2) เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก

4.3) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามข้อ 3.1 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร

4.4) นำไปต้มในน้ำเดือดหรือในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

4.5) วันรุ่งขึ้น เตรียมขวดแก้วปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก ตามข้อ 3.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ตามข้อ 3.3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

4.6) ดูดน้ำแป้ง ตามข้อ 4.4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตรที่เตรียมไว้ ตามข้อ 4.5 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

4.7) วัดความเข้มสีของสารละลาย ตามข้อ 4.6 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยอ่านค่าเป็น absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร (nm) หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0 (ศูนย์)

4.8) การทำ blank โดยเติมสารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4.9) นำ absorbance ไปหาปริมาณ (ร้อยละ) อมิโลส โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้ ตามข้อ 5

4.10) ปรับปริมาณอมิโลสในแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้ให้เป็นที่ระดับความชื้นร้อยละ 14.0 จากสูตร

$$\%\ amylose\ = \frac{A\ x\ 86}{100 - M}$$

A = ปริมาณอมิโลสในแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้เป็นร้อยละ

M = ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้เป็นร้อยละ

5. การเขียนเส้นกราฟมาตรฐาน

5.1) ชั่งอมิโลส 0.0400 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิท แล้วดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่าง ตามข้อ 4.2-4.4 เป็นสารละลายมาตรฐาน

5.2) วันรุ่งขึ้น เตรียมขวดแก้วปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก ปริมาตร 0.2 (ขวดที่ 1), 0.4 (ขวดที่ 2), 0.6 (ขวดที่ 3), 0.8 (ขวดที่ 4) และ 1.0 มิลลิลิตร (ขวดที่ 5) ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด

5.3) ดูดสารละลายมาตรฐาน ตามข้อ 5.1 ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณอมิโลส ร้อยละ 8 16 32 และ 40 ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ ตามข้อ 5.2 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0 (ศูนย์) เช่นเดียวกับข้อ 4.7

5.4) นำ absorbance กับปริมาณอมิโลสในสารละลายมาตรฐาน ตามข้อ 5.3 มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน

5.5) นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 5.4 มาใช้แปลงค่า absorbance ให้เป็นปริมาณ (ร้อยละ) อมิโลส

6. การเขียนเส้นกราฟมาตรฐาน (โดยใช้แป้งข้าวมาตรฐานที่มีปริมาณอมิโลสแตกต่างกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง)

6.1) ชั่งแป้งข้าวมาตรฐาน 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรความจุ 100 มิลลิลิตร ตามข้อ 1.5 ที่แห้งสนิท จำนวน 5 ขวด (ตามตัวอย่างแป้งที่ได้ไป) แล้วดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่าง ตามข้อ 4.2-4.4 เป็นสารละลายมาตรฐาน

6.2) วันรุ่งขึ้น เตรียมขวดแก้วปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก ตามข้อ 3.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ตามข้อ 3.3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

6.3) ดูดน้ำแป้ง ตามข้อ 6.1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตรที่เตรียมไว้ ตามข้อ 6.2 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที และวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0 (ศูนย์) เช่นเดียวกับข้อ 4.7

6.4) นำค่า absorbance ตามข้อ 6.3 กับปริมาณอมิโลสของแป้งข้าวมาตรฐาน จำนวน 5 ตัวอย่าง มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน

6.5) นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 6.4 มาใช้แปลงค่า absorbance ให้เป็นปริมาณอมิโลส (ร้อยละ)

วิธีการปั่น (routine method; ISO6647-2, 2020)

1. เครื่องมือ

1.1) เครื่องบดเมล็ดข้าวที่บดให้ละเอียดได้ถึง 80-100 เมซ (mesh)

1.2) เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.3) เครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) พร้อมแท่งแม่เหล็ก

1.4) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer)

1.5) ขวดแก้วปริมาตร (volumetric flask) ขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร

1.6) ปิเปต แบบ volumetric pipette ขนาดความจุ 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร

1.7) ปิเปต แบบ measuring pipette ขนาดความจุ 1-10 มิลลิลิตร

2. สารเคมี

2.1) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol: C_2H_5OH) 95%

2.2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: NaOH)

2.3) กรดเกลเซียลอะซิติก (glacial acetic acid: CH_3COOH)

2.4) ไอโอดีน (iodine: I_2)

2.5) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide: KI)

2.6) อมิโลส (potato amylose) มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95%

3. วิธีการเตรียมสารละลาย

3.1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2 นอร์มัล (N): โซเดียมไฮดรอกไซด์ 80.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร ความจุ 1,000 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.2) สารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก เข้มข้น 1 นอร์มัล (N): กรดเกลเซียลอะซิติก ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปริมาตร ความจุ 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.3) สารละลายไอโอดีน: ไอโอดีน 0.2000 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.000 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ในขวดแก้วสีชาปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืนหรือจนไอโอดีนละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4. วิธีวิเคราะห์

4.1) บดเมล็ดข้าวขาวด้วยเครื่องบดให้เป็นแป้ง ชั่งแป้ง 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรความจุ 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิท ไม่ควรมีแป้งติดบริเวณคอของขวดแก้ว

4.2) เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เพื่อเกลี่ยแป้งให้กระจายออก

4.3) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามข้อ 3.1 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร

4.4) ใส่แท่งแม่เหล็กลงในขวดแก้ว ปั่นกวนตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นกวนระบบแม่เหล็กหรือวิธีการต้มในน้ำเดือด นาน 10 นาที ให้เป็นน้ำแป้ง จากนั้นนำแท่งแม่เหล็กออกจากขวดแก้ว แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน

4.5) เตรียมขวดแก้วปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตร สารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก ตามข้อ 3.2 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ตามข้อ 3.3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

4.6) ดูดน้ำแป้ง ตามข้อ 4.4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตรที่เตรียมไว้ ตามข้อ 4.5 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

4.7) วัดความเข้มสีของสารละลาย ตามข้อ 4.6 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยอ่านค่าเป็น absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร (nm) หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0 (ศูนย์)

4.8) การทำ blank โดยเติมสารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

4.9) นำค่า absorbance ไปหาปริมาณอมิโลส (ร้อยละ) โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้ตามข้อ 5

4.10) ปรับปริมาณอมิโลสในแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้ให้เป็นที่ระดับความชื้นร้อยละ 14.0 จากสูตร

$$\%\, amylose = \frac{A\ x\ 86}{100 - M}$$

A = ปริมาณอมิโลสในแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้เป็นร้อยละ

M = ปริมาณความชื้นของแป้งข้าวที่วิเคราะห์ได้เป็นร้อยละ

5. การเขียนเส้นกราฟมาตรฐาน

5.1) ชั่งอมิโลสบริสุทธิ์ (pure amylose) 0.0400 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร ที่แห้งสนิท แล้วดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่างตามข้อ 4.2 - 4.4 เป็นสารละลายมาตรฐาน

5.2) เตรียมขวดแก้วปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมน้ำกลั่นขวดละ 70 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก ปริมาตร 0.4 (ขวดที่ 1), 0.8 (ขวดที่ 2), 1.2 (ขวดที่ 3), 1.6 (ขวดที่ 4) และ 2.0 มิลลิลิตร (ขวดที่ 5) ตามลำดับ แล้วเติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด

5.3) ดูดสารละลายมาตรฐาน ตามข้อ 5.1 ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ซึ่งเทียบเท่าปริมาณ อมิโลส ร้อยละ 8 16 32 และ 40 ตามลำดับ ใส่ในขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 5.2 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0 (ศูนย์) เช่นเดียวกับข้อ 4.7

5.4) นำค่า absorbance กับปริมาณอมิโลสในสารละลายมาตรฐาน ตามข้อ 5.3 มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน

5.5) นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 5.4 มาใช้แปลงค่า absorbance ให้เป็นปริมาณอมิโลส (ร้อยละ)

6. การเขียนเส้นกราฟมาตรฐาน (โดยใช้แป้งข้าวมาตรฐานที่มีปริมาณอมิโลสแตกต่างกัน จำนวน 5 ตัวอย่าง)

6.1) ชั่งแป้งข้าวมาตรฐาน 0.1000 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรความจุ 100 มิลลิลิตร ตามข้อ 1.5 ที่แห้งสนิท จำนวน 5 ขวด (ตามตัวอย่างแป้งที่ได้ไป) แล้วดำเนินการการเช่นเดียวกับตัวอย่างตามข้อ 4.2-4.4 เป็นสารละลายมาตรฐาน

6.2) เตรียมขวดแก้วปริมาตร ความจุ 100 มิลลิลิตร ชุดใหม่ เติมน้ำกลั่นประมาณ 70 มิลลิลิตรเติมสารละลายกรดเกลเซียลอะซิติก ตามข้อ 3.2 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ตามข้อ 3.3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

6.3) ดูดน้ำแป้ง ตามข้อ 6.1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วปริมาตรที่เตรียมไว้ ตามข้อ 6.2 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที และวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่นแสง 620 นาโนเมตร หลังปรับเครื่องด้วย blank ให้ได้ค่า absorbance เท่ากับ 0 (ศูนย์) เช่นเดียวกับข้อ 4.7

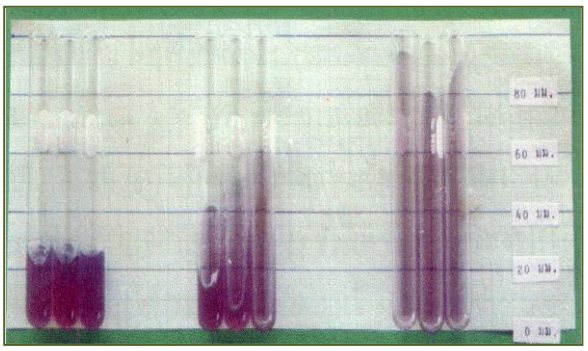
6.4) นำค่า absorbance ตามข้อ 6.3 กับปริมาณอมิโลสของแป้งข้าวมาตรฐาน จำนวน 5 ตัวอย่าง มาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน

6.5) นำเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากข้อ 6.4 มาใช้แปลงค่า absorbance ให้เป็นปริมาณอมิโลส (ร้อยละ)

2. ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

แม้ปริมาณอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกันเนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ดังนั้น การพิจารณาคุณภาพข้าวเจ้าจากความคงตัวของแป้งสุกจึงต้องพิจารณาบนพื้นฐานของข้าวในกลุ่มอมิโลสเดียวกัน ซึ่งข้าวที่มีความคงตัวแป้งสุกอ่อนจะได้ข้าวสุกที่มีความแข็งกระด้างน้อยกว่าข้าวที่มีความคงตัวแป้งสุกแข็ง การประเมินความแข็งและอ่อนของแป้งสุกทำได้โดยการอ่านระยะทางการไหลของแป้งสุกที่เย็นตัวแล้ว แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

ประเภทแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.)
แป้งสุกแข็ง (hard gel consistency)	26-40
แป้งสุกปานกลาง (medium gel consistency)	41-60
แป้งสุกอ่อน (soft gel consistency)	61-100



แข็ง ปานกลาง อ่อน

วิธีวิเคราะห์ความคงตัวของแป้งสุก ตามวิธีการของ Cagampang *et al.,* (1973)

1. เครื่องมือ

1.1) เครื่องปั่นผสมของเหลวในหลอดทดลอง (test tube mixer)

1.2) ถาดอลูมิเนียม ขนาด 8.5x14.5x3.5 นิ้ว

1.3) เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.4) หลอดแก้วขนาด 13 x 100 มิลลิเมตร

1.5) ตะแกรงหลอดทดลอง (test tube rack)

1.6) เครื่องบดเมล็ดข้าว cyclone sample mill ที่ติดตะแกรงที่มีรูเปิด 0.4 มม. หรือเครื่องบดที่บดข้าวได้ละเอียด 100 เมช

2. สารเคมี

2.1) thymol blue 0.025% ละลายใน 95% Ethanol

2.2) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 0.2 N

3. วิธีการเตรียมสารละลาย

3.1) สารละลาย thymol blue: ชั่ง thymol blue 0.125 กรัม นำไปละลายใน Ethanol 95% เขย่า แล้วปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

3.2) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.2 N: ชั่ง KOH 12.88 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ต้มและทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

4. วิธีวิเคราะห์

4.1) บดเมล็ดข้าวด้วยเครื่องบด cyclone sample mill

4.2) ชั่งแป้งข้าว น้ำหนัก 0.1000 กรัม ใส่ในหลอดแก้วขนาด 13x100 มิลลิเมตร จำนวน 2 ซ้ำ

4.3) ต้มน้ำ ปริมาตร 3,200 มิลลิลิตร ในถาดต้ม ตามข้อ 1.2

4.4) นำแป้งข้าวตามข้อ 4.2 มาเติมสารละลาย ตามข้อ 3.1 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เขย่าเล็กน้อย เพื่อให้แป้งลอยตัวขึ้น

4.5) เติมสารละลาย ตามข้อ 3.2 ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร

4.6) นำของเหลวในหลอดไปปั่นด้วย test tube mixer ประมาณ 8 วินาที ให้เป็นเนื้อเดียวกัน

4.7) จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือด ตามข้อ 4.3 ทันที ปิดฝาหลอดด้วยลูกแก้ว ต้มนาน 8 นาที (ต้มทีละหลอดตามลำดับ ระวังไม่ให้ระดับน้ำในถาดสูงเกินไป และให้น้ำแป้งในหลอดขึ้นสูงเพียง 2 ใน 3 ของหลอด)

4.8) เมื่อครบเวลาต้ม นำขึ้นจากน้ำเดือด ปั่นซ้ำอีกครั้ง ด้วย test tube mixer ประมาณ 8 วินาที เพื่อให้น้ำแป้งเข้ากันอย่างทั่วถึง

4.9) ทำให้น้ำแป้งเย็นโดยแช่หลอดทดลองในน้ำแข็งเย็นจัด นาน 20 นาที

4.10) วางหลอดแป้งในแนวนอนบนกระดาษกราฟที่มีช่องแบ่งละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร นาน 30 นาที

4.11) อ่านระยะทางที่แป้งสุกไหล ตามวิธีการของ Cagampang *et al.,* (1973)

4.12) บันทึกค่าระยะทางที่แป้งไหล

4.13) การคำนวณค่าความคงตัวแป้งสุก

$$\text{ค่าความคงตัวแป้งสุก} = \frac{\sum(\text{ระยะทางที่แป้งไหลหลอดที่ } 1 \text{ และ } 2)}{2}$$

4.12) การรายงานผลให้รายงานเป็นเลขจำนวนเต็ม ไม่มีทศนิยม

5. ข้อควรระวัง

5.1) หม้อต้มน้ำจะต้องเดือดพล่าน หากเดือดไม่รุนแรงจะเกิดการนอนก้นของแป้ง

5.2) เมื่อนำหลอดบรรจุน้ำแป้งลงต้ม ต้องแน่ใจว่าแป้งไม่นอนก้นหลอด

5.3) ระดับน้ำของหม้อต้มน้ำต้องพอเหมาะ มิฉะนั้นแป้งจะเดือดล้นหลอดแก้ว

5.4) กรณีที่ใช้ dispenser ในการดูดสารละลาย ให้หมั่นตรวจเช็คความถูกต้องแม่นยำของปริมาตรสารที่ได้จาก dispenser

5.5) ก่อนชั่งแป้ง ให้คนแป้งให้ทั่วทุกครั้ง

5.6) ใช้ตะแกรงใส่หลอดทดลองขนาดเดียวกันกับการทดสอบความหอม

5.7) ใช้เตาเดิมแต่ให้ปรับการใช้ไฟ

5.8) ให้ปั่นแป้งก่อนต้ม 1 ครั้ง และหลังต้ม 1 ครั้ง <u>เท่านั้น</u>

3. อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature)

มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพการหุงต้มและรับประทานหรือคุณภาพข้าวสุก ใช้ในการคาดคะเนระยะเวลาการหุงต้มโดยประเมินได้จากค่าสลายเมล็ดในด่าง เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสามารถใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวของงานปรับปรุงพันธุ์ได้เป็นจำนวนมาก

Starch granule ของข้าวมีลักษณะเฉพาะ คือ มี maltese cross หรือ birefringence คุณสมบัตินี้จะเสียไปเมื่อแป้งเกิด gelatinize ดังนั้น gelatinization temperature จึงเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ starch granule สูญเสียลักษณะ birefringence ทำให้แป้งเปลี่ยนจากทึบแสงเป็นใส และไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิม คุณสมบัตินี้เกี่ยวข้องกับระยะเวลาหุงข้าวให้สุก (cooking time) ซึ่งหมายความว่า ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะใช้เวลาหุงข้าวให้สุกนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ เนื่องจากข้าวที่อุณหภูมิแป้งสุกต่ำจะดูดน้ำและพองตัวเร็วกว่า จึงทำให้ข้าวสุกได้ง่ายกว่า

ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time) หมายถึงระยะเวลาที่ใช้ในการต้มเมล็ดข้าวให้สุกหรือจนเมล็ดข้าวสุกต้องไม่มีไตของแป้งดิบภายในเมล็ด อาจใช้เวลา 14-24 นาที หรือมากกว่านั้น ระยะเวลาในการหุงต้มขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature)

ค่าการสลายเมล็ดในด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1.7% มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแป้งสุก ซึ่งแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุกได้เป็น 3 ประเภท ตามวิธีการของ Little *et al.*, (1958)

อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	ระดับ อุณหภูมิแป้งสุก	ค่าการสลายเมล็ดใน ด่าง 1.7%KOH	ระยะเวลาหุงต้ม (นาที)
< 70	ต่ำ	6 - 7	12 - 17
70-75	ปานกลาง	4 - 5	>17 - 24
> 75	สูง	1 - 3	> 24

วิธีการวิเคราะห์ค่าการสลายเมล็ดในด่าง ตามวิธีการของ Little *et al.*, (1958)

1. เครื่องมือ

1.1) เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.2) ตู้อบ (oven)

1.3) ขวดแก้วปริมาตร (volumetric flask) ขนาดความจุ 1,000 มิลลิลิตร

1.4) จานพลาสติกใสพร้อมฝาปิด (petri dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 และ 13.5 เซนติเมตร

1.5) บีกเกอร์แก้ว (beaker) ขนาด 1-2 ลิตร

1.6) เดซิกเคเตอร์ดูดความชื้น (desiccator)

2. สารเคมี

2.1) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide: KOH) 85%AR grade

2.2) โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (potassium hydrogen phthalate: $C_8H_5KO_4$) AR grade

2.3) ฟีนอล์ฟธาลีน (phenolphthalein: $C_{20}H_{14}O_4$)

3. การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1.7% + 0.05%

3.1) การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำได้ 2 วิธี

3.1.1) เตรียม working solution โดยตรง

- ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 20.00 กรัม (85% purity) ละลายในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือดแล้วปิดฝาทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ได้สารละลายเข้มข้น 1.7±0.05%

วิธีการคำนวณสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ต่อสารละลาย 100 มิลลิลิตร)

W = 100*1.7/P

W = นน KOH ที่ใช้

P = % purity KOH

3.1.2) เตรียม working solution จาก stock solution

ก) stock solution: ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 588.24 กรัม (85% purity) ละลายในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือดแล้วปิดฝาทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร เก็บไว้เป็นสำหรับเจือจางต่อไป

วิธีการคำนวณสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ต่อสารละลาย 100 มิลลิลิตร)

W = 100*50/P

W = นน KOH ที่ใช้

P = % purity KOH

ข) working solution: นำ **stock solution จาก ก) ปริมาตร 33 มิลลิลิตร** มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

3.2) การหาความเข้มข้นของสารละลาย working solution

3.2.1) อบสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลทที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

3.2.2) ชั่งสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ตามข้อ 3.2.1 ประมาณ 0.5000 กรัม โดยอ่านให้ได้น้ำหนักที่แท้จริง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ทำจำนวน 2 ซ้ำ

3.2.3) ละลายสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ตามข้อ 3.2.2 ในน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร หยดสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน เข้มข้น 0.1% ลงไป 3 หยด ไทเทรตกับสารละลาย working solution จนสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรของ working solution ที่ใช้ไปเป็นมิลลิลิตร

3.2.4) ทำ blank ตามวิธีการเดียวกับข้อ 3.2.3 โดยไม่ใช้สารโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท

3.2.5) คำนวณหาความเข้มข้นของ working solution ดังนี้

$$\%KOH = \frac{P}{204.23} \times \frac{56.109}{V-B} \times 100$$

V = ปริมาตร working solution ที่ใช้ในการไทเทรตกับโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตร working solution ที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

P = น้ำหนักของสารโพแสสเซียมไฮโดรพทาเลท (กรัม)

4. วิธีวิเคราะห์

I. งานปรับปรุงพันธุ์และงานวิจัย

4.1) สุ่มเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด จำนวน 10 เมล็ดต่อตัวอย่าง จำนวน 2 ซ้ำ ใส่ในจานพลาสติกใส (petri dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร วางบนพื้นสีดำหรือสีเข้ม

4.2) เติมสารละลาย KOH 1.7% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ให้ท่วมเมล็ดข้าวและเกลี่ยให้แต่ละเมล็ดอยู่ห่างกันพอสมควร แล้วปิดฝา

4.3) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มีการเคลื่อนย้าย เป็นเวลา 23 ชั่วโมง

4.4) ประเมินคะแนนจากลักษณะการสลายของเมล็ดข้าวสารแต่ละเมล็ดตามเกณฑ์การให้คะแนนลักษณะการสลายเมล็ดในด่าง

II. งานตรวจสอบมาตรฐานสินค้าข้าวไทยและงานวิจัย

4.1) สุ่มเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด จำนวน 100 เมล็ดต่อตัวอย่าง จำนวน 2 ซ้ำ ใส่ในจานพลาสติกใส (petri dish) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร วางบนพื้นสีดำหรือสีเข้ม

4.2) เติมสารละลาย KOH 1.7% ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ให้ท่วมเมล็ดข้าวและเกลี่ยให้แต่ละเมล็ดอยู่ห่างกันพอสมควร แล้วปิดฝา

4.3) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มีการเคลื่อนย้าย เป็นเวลา 23 ชั่วโมง

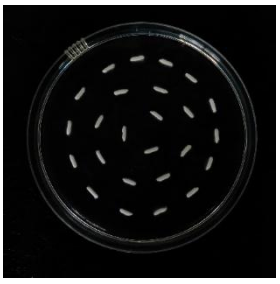
4.4) ประเมินคะแนนจากลักษณะการสลายของเมล็ดข้าวสารแต่ละเมล็ดตามเกณฑ์การให้คะแนนลักษณะการสลายเมล็ดในด่าง

เกณฑ์การให้คะแนนลักษณะการสลายเมล็ดในด่าง

ระดับการสลาย	ลักษณะการสลายของเมล็ด
1	เมล็ดไม่เปลี่ยนแปลง
2	เมล็ดพองตัว ไม่มีแป้งออกมา
3	เมล็ดพองตัว มีแป้งกระจายออกจากเมล็ดบางส่วน
4	เมล็ดพองตัว มีแป้งกระจายออกจากเมล็ดโดยรอบหรือกว้าง
5	เมล็ดแตกปริทางขวางหรือทางยาว แป้งกระจายออกโดยรอบเป็นบริเวณกว้าง
6	เมล็ดสลายตัวตลอดทั้งเมล็ด มีลักษณะเป็นเมือกขุ่นขาว
7	เมล็ดสลายจนหมด มีลักษณะเป็นเมือกใส



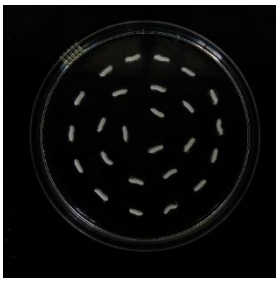
ระดับ 1



ระดับ 2



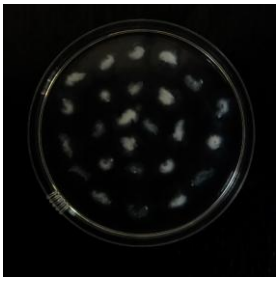
ระดับ 3



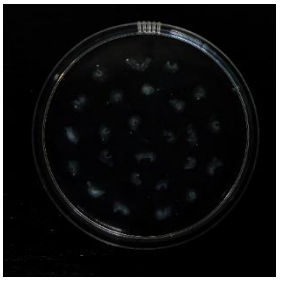
ระดับ 4



ระดับ 5



ระดับ 6



ระดับ 7

4.5) คำนวณระดับการสลายเมล็ดในด่าง จากสูตร

$$\text{alkali value} = \frac{\sum (\text{nxS})1.....n}{N}$$

n = จำนวนเมล็ดที่สลายในแต่ละระดับคะแนน

S = ระดับคะแนนการสลายของเมล็ดข้าว

N = จำนวนเมล็ดข้าวสารทั้งหมด

4.6) แปลผลการคำนวณเป็นระดับอุณหภูมิแป้งสุก

4. ความหอม (Aroma)

ความหอมเป็นอีกคุณลักษณะหนึ่งที่ใช้ประกอบลักษณะประจำพันธุ์เนื่องจากพบว่าผู้บริโภคจะมีความชอบเพิ่มมากขึ้นหากข้าวสุกมีกลิ่นหอม ส่งผลให้ข้าวหอมถูกจัดให้เป็นข้าวที่มีคุณภาพสูง กลิ่นหอมของข้าวเกิดจากการผสมผสานของสารระเหยมากกว่า 100 ชนิด (Buttery *et al.*, 1982; Petrov *et al.*, 1996 อ้างโดยไวพจน์ และคณะ, 2013) สุกัญญา และคณะ (2544) กล่าวว่า สารสำคัญในการให้กลิ่นหอมของข้าวคือ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) เป็นดัชนีสำคัญในการบ่งบอกถึงคุณภาพความหอมของข้าว โดยเป็นสารระเหยหลักในการทำให้เกิดกลิ่นหอมซึ่งเป็นกลิ่นจำเพาะในข้าวหอมที่ให้กลิ่นหอมคล้ายกลิ่นใบเตย ความหอมในข้าวถูกควบคุมด้วยยีน *Os2AP* หรือยีน *badh2* บนโครโมโซมที่ 8 ซึ่งเกิดจากการขาดหายไปของลำดับเบส 8 เบสบน exon ที่ 7 ทำให้ยีน *Os2AP* สูญเสียความสามารถในการเปลี่ยน 4-aminobutanal ไปเป็น GABA ทำให้เกิดการสะสม 1-pyrroline เพิ่มขึ้น และเปลี่ยนเป็น 2-acetyl-1-pyrroline: 2AP (กมลวรรณ และคณะ, 2556)

วิธีการวิเคราะห์ความหอม ตามวิธีการของ งามชื่น (2536)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1) หลอดทดลองขนาด 16 x 100 มิลลิเมตร

1.2) จุกยาง (รองด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันกลิ่นของยาง)

1.3) แผ่นพลาสติกใสบาง ขนาด 2.2 นิ้ว

1.4) ถาดต้มน้ำ

1.5) ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (test tube rack)

1.6) เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

1.7) ปิเปต (pipette)/เครื่องดูดจ่ายสารละลาย (dispenser) ขนาดความจุ 1-10 มิลลิลิตร

2. สารเคมี

โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) / เกลือเสริมไอโอดีน

3. วิธีการเตรียมสารละลาย

3.1) สารละลายน้ำเกลือความเข้มข้น 10%

ชั่งโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือเกลือเสริมไอโอดีน 100 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 400 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วจนละลาย จึงเทสารละลายลงในขวดแก้วปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นทีละน้อยเทลงในขวดแก้วปริมาตรจนมั่นใจว่าไม่มีเกลือเหลืออยู่ ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร

3.2) พันธุ์ข้าวมาตรฐานเปรียบเทียบ ใช้เป็นข้าวสารใหม่ที่เป็นฤดูกาลผลิตเดียวกันโดยต้องเปลี่ยนทุกปี

พันธุ์มาตรฐานเปรียบเทียบความหอม ใช้พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

พันธุ์มาตรฐานเปรียบเทียบไม่หอม ใช้พันธุ์ข้าว เช่น พิษณุโลก 2 ชัยนาท 1 สันป่าตอง 1 เป็นต้น

4. วิธีวิเคราะห์

4.1) ชั่งข้าวสาร น้ำหนัก 4 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 16x100 มิลลิเมตร

4.2) เติมน้ำเกลือความเข้มข้น 10% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร

4.3) ปิดหลอดทดลองด้วยจุกยางที่รองด้วยแผ่นพลาสติกใสบาง

4.4) นำไปต้มในน้ำเดือด นาน 3 นาที หลังจากนั้นยกขึ้น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

4.5) ทดสอบกลิ่นโดยวิธีการดมด้วยบุคคลที่ผ่านการฝึกฝน ให้ระยะเวลาระหว่างหลอดต่างกันอย่างน้อย 20 วินาที (ทั้งนี้แล้วแต่ความชำนาญของผู้วิเคราะห์)

4.6) เปรียบเทียบระดับกลิ่นหอมของตัวอย่างข้าวกับตัวอย่างมาตรฐาน ให้คะแนนการดมกลิ่นเป็น

ประเภทข้าว	กลิ่นหอม
ข้าวมีกลิ่นหอม	+
ข้าวไม่มีกลิ่นหอม	0

หมายเหตุ ผู้ทำการวิเคราะห์ต้องได้รับการฝึกฝนจนชำนาญก่อนทำการวิเคราะห์ วิธีการนี้นำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์กลิ่นหอมของข้าวในโครงการปรับปรุงพันธุ์

5. อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio)

ในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว จะทำให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น ช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น นอกจากนั้น การที่เมล็ดขยายตัวได้มากขึ้นจะทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น ช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นคุณลักษณะพิเศษของข้าวบางชนิด เช่น ข้าวบาสมาติ 370 เป็นข้าวอมิโลสปานกลาง มีการยืดตัวดีมาก จึงเป็นที่นิยมในตลาดตะวันออกกลาง ข้าวที่ผ่านการเก็บรักษาจะมีการขยายตัวของข้าวสุกมากขึ้นเนื่องจากเมล็ดข้าวสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น (ทรงเชาว์ และคณะ, 2548) การยืดตัวของเมล็ดข้าวนอกจากจะมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างเมล็ดแล้ว ยังพบว่า มีความสัมพันธ์กับปริมาณอมิโลสด้วย โดยปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับอัตราการยืดตัวของเมล็ด ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงจะมีอัตราการยืดตัวสูงกว่าข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำ (Singh *et al.,* 2005)

วิธีการวิเคราะห์อัตราการยืดตัวของข้าวสุก ตามวิธีการของ Juliano and Perez (1984)

1. เครื่องมือ

1.1) ตะแกรงทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร

1.2) เวอร์เนียร์ (Vernier) ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร หรือเครื่องขยายเงา

1.3) ภาชนะต้มน้ำ

1.4) ภาชนะแช่เมล็ดข้าว

1.5) จานพลาสติกพร้อมฝาปิด

2. วิธีการ

2.1) สุ่มเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด 20 เมล็ด และวัดความยาว 10 เมล็ด คำนวณค่าเฉลี่ย

2.2) นำข้าวสารทั้ง 20 เมล็ด ใส่ในตะแกรง แล้วแช่ในน้ำกรอง 30 นาที

2.3) นำไปต้มในน้ำเดือด นาน 10 นาที

2.4) ยกตะแกรงขึ้นจากน้ำเดือดแล้วแช่ในน้ำเย็น เทข้าวในจานพลาสติกที่มีฝาปิด

2.5) เลือกเมล็ดที่มีลักษณะตรง จำนวน 10 เมล็ด วัดความยาว คำนวณค่าเฉลี่ย

2.6) คำนวณหาอัตราการยืดตัวของข้าวสุก

$$\text{อัตราการยืดตัวของข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยข้าวสุก}}{\text{ความยาวเฉลี่ยข้าวสาร}}$$

อัตราการยืดตัวของข้าวสุก แบ่งเป็น 2 กลุ่ม (สถาบันวิจัยข้าว, 2531)

อัตราการยืดตัว > 1.9 แสดงว่า มีการยืดตัวมาก

อัตราการยืดตัว < 1.9 แสดงว่า มีการยืดตัวปกติ

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. 2559. มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2559. กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. 19 หน้า.

กิติยา กิจควรดี. 2547. การเก็บเกี่ยวและปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้คุณภาพดี, หน้า 1-15. *ใน:* คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพและการแปรสภาพเมล็ด. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 53 หน้า.

งามชื่น คงเสรี. 2536. คุณภาพเมล็ดทางเคมี. หน้า 54-70, *ใน:* เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว. ณ ห้องประชุมศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง วันที่ 20-23 กันยายน 2536.

งามชื่น คงเสรี. 2547. มาตรฐานข้าว. หน้า 75-92, *ใน:* คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม.

ทรงเชาว์ อินสมพันธ์, วีระชัย ศรีวัฒนพงศ์, โสพิศ ใจปาละ และอารีรัตน์ จิตบุญ. 2548. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและคุณภาพข้าวโดยการดำเนินการในระหว่างเก็บรักษาของสหกรณ์การเกษตร. หน้า 418-423. *ใน:* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2548. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยข้าว. 2531. คู่มือการเก็บข้อมูลพันธุ์ข้าว. กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. หน้า 23-26.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2555. มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4004-2555: ข้าว. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 34 หน้า.

Adair, C.R. 1952. The Mcgill Miller Method for Determining the Milling Quality of Small Samples of Rice. J. 55(2): 21-22

Adair, C.R., H.M. Beachell, N.E. Jodon, T.H. Johnston, J.R. Thysell, V.E. Green Jr., B.D. Webb and J.G. Athino. 1966. Rice breeding and testing methods in the U.S. In: Rice in the United States: varieties and production. Agriculture Handbook No. 289. Agriculture Research Service. U.S.Department of Agriculture. 124 p.

Andrews, W., T.J. Siebenmorgen and M. Mauromoustakos. 1992. Evaluation of the McGill No.2 Miller. Cereal Chem 69: 35-43.

Cagampang, G.B., C.M. Perez and B.O. Juliano. 1973. A gel consistency test for eating quality rice. J. Sci. Food Ag.24: 1589-1594.

IRRI. 2014. Standard Evaluation System for Rice. 5th ed. International Rice Research Institute, DAPO Box 7777, Metro Manila 130, Philippines. 57 p.

ISO6647-2. 2020. Rice-Determination of amylose content - Part 2: Spectrophotometric routine method without defatting procedure and with calibration from rice standards. International Organization for Standardization. Ed.3, 2020. Source: https://www.iso.org/standard/73670.html. 24 June, 2025

Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today 16: 334-360.

Juliano, B.o. and C.M. Perez. 1984. Results of a collaborative test on the measurement of grain elongation of milled rice during cooking. J. Cereal Sci. 2: 281-292.

Little, R.R., G.B. Hilder and E.H. Dawson. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled rice. Cereal Chem 35: 111-126.

Nakatat, S.1972. Heritability estimates concerning some physical charactieristics of the rice grain. M.S. Thesis, Kasetsart University, Faculty of Agriculture, Bangkok, Thailand. 50 p.

Singh, N., L. Kaur, S.S. Sodhi and K.S. Sekhon (2005). Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. Food Chemistry, 89, 253-259.

ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี
ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก
ศูนย์วิจัยข้าวสกลนคร
ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี
ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง
ศูนย์วิจัยข้าวแพร่

