

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ข้าว

ข้าวจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว วงศ์หญ้า (Family: Grammineae หรือ Poaceae) สกุลออริซา (Genus: *Oryza*) เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและอบอุ่น ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชีย โดยข้าวที่นำมาปลูกเป็นอาหารนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ข้าวที่ปลูกในแถบเอเชียสายพันธุ์ *Oryza sativa* Linn. และ ข้าวที่ปลูกในแถบแอฟริกาสายพันธุ์ *Oryza glaberrima* Steud. มีจำนวนพันธุ์มากกว่า 120,000 พันธุ์ ที่มีชื่อและลักษณะที่แตกต่างกัน เมล็ดข้าวประกอบด้วย เปลือกหุ้มเมล็ด (Hull) ซึ่งจะหุ้มข้าวกล้อง ในเมล็ดข้าวกล้อง ประกอบด้วยจมูกข้าว (Germ) รำข้าว (bran) และเมล็ดข้าวขาวหรือเมล็ดข้าวสาร (Endosperm) เมล็ดข้าวมีองค์ประกอบต่างๆดังนี้ (อรอนงค์, 2547)

ก. แกลบ ประกอบไปด้วย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า สารซิลิกา แคลเซียม ฟอสฟอรัส ลิกนิน เซลลูโลส เพนโตแซน เฮมิเซลลูโลส และอื่นๆสามารถนำแกลบไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ทำปุ๋ย นำไปเผาใช้เป็นพลังงานความร้อนได้ หรือใส่ในนาข้าวเพื่อปรับสภาพดิน

ข. ข้าวกล้อง เมื่อนำข้าวกล้องมาขัดเอาผิวออกจะได้อาหารและจมูกข้าว (5 – 8%) รำละเอียด และจมูกข้าว (2–3%) และข้าวสาร (60-73%) องค์ประกอบหลักของเมล็ดข้าวคือ คาร์โบไฮเดรตหรือแป้งข้าว (Starch)

ค. คาร์โบไฮเดรตหรือแป้งข้าว ข้าวจะมีแป้งอยู่ 90% ของน้ำหนักแห้ง แป้งข้าวสามารถแยกออกเป็นองค์ประกอบย่อย 2 ชนิด ได้แก่ แอมิโลเพคติน (amylopectin) และแอมิโลส (amylose) แอมิโลเพคตินประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสจัดเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์ที่มีแขนง 96% ต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 อีก 4% ต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,6 สำหรับแอมิโลส ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสจัดเรียงตัวเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (linear chains) ด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 มีโซ่กิ่ง (branched chain) 3-4 กิ่งด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,6

ง. โปรตีน เมล็ดข้าวมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ประมาณ 4.3 – 18.2 % หรือเฉลี่ย 9.5 % เป็นอันดับสองรองจากแป้ง โดยปริมาณโปรตีนที่พบในเมล็ดข้าวจะขึ้นอยู่กับสถานที่ปลูก และสภาพแวดล้อม

จ. ไขมัน ไขมันที่อยู่ในเมล็ดข้าวมักจะอยู่ในสภาพเป็นหยดไขมันเล็กๆ ขนาดเล็กกว่า 1.5 ไมครอน อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเมล็ด และจมูกข้าว เมล็ดข้าวมีไขมัน 1.6 – 2.8 % ส่วนใหญ่อยู่ในรำข้าว ไขมันที่ได้จากข้าวเป็นไขมันที่มีคุณภาพดี โดยมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ได้แก่ Linoleic acid, Oleic acid และ Palmitoleic acid มีสารแกมมา ออไรซานอล (Gamma Oryzanol) ที่ช่วยในการควบคุมระดับโคเลสเตอรอลในเส้นเลือด และช่วยในการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ เด็กแรกเกิด และเด็กเล็ก ข้าวสาร

ที่มีอายุมากจะมีความแข็งแรงมากกว่าข้าวสารใหม่ เมื่อเก็บข้าวเป็นระยะเวลาสั้นขึ้นแอมิโลสและกรดไขมันในข้าวจะจับตัวกันเป็นสารประกอบขึ้น ทำให้เม็ดแป้งสามารถพองตัวในน้ำได้ลดลง และกรดไขมันไม่อิ่มตัวในแป้งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสารประกอบคาร์บอนิล ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้ความสามารถในการละลายของโปรตีนลดลง ส่งผลให้ข้าวสารเก่าใช้ระยะเวลาในการหุงนานขึ้น

ข้าวที่ค้าขายกันในตลาดโลกเกือบทั้งหมดเป็นข้าวที่ปลูกจากแถบเอเชีย ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามแหล่งปลูก คือข้าวอินดิกา (Indica) มีลักษณะเมล็ดยาวรี ต้นสูง เป็นข้าวที่ปลูกในเอเชียเขตร้อน ตั้งแต่จีน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ ไทย อินโดนีเซีย อินเดีย และศรีลังกา ข้าวพันธุ์นี้ค้นพบครั้งแรกในอินเดียและต่อมาได้พัฒนาไปปลูกที่ทวีปอเมริกา ข้าวจาпонิกา (Japonica) เป็นข้าวที่ปลูกในเขตอบอุ่น เช่น จีน ญี่ปุ่น เกาหลี มีลักษณะเมล็ดป้อมกลมรี ต้นเตี้ย และข้าวจาวานิกา (Javanica) ปลูกในอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ มีเมล็ดป้อมใหญ่แต่ไม่ได้รับความนิยมเพราะให้ผลผลิตต่ำ สำหรับข้าวที่ปลูกในไทยเป็นพันธุ์ข้าวเมล็ดยาวคือ ข้าวอินดิกา แต่ประกอบด้วยหลายพันธุ์ทั้งที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ และข้าวพันธุ์พื้นเมืองซึ่งมีอยู่ประมาณ 3,500 พันธุ์ ซึ่งมีข้าวป่า ข้าวพื้นเมือง และข้าวพันธุ์ที่ผสมโดยมนุษย์ขึ้นมาใหม่ แต่ข้าวพันธุ์ที่สร้างชื่อเสียงให้กับไทยมากที่สุด คือ ข้าวหอมมะลิ (อรอนงค์, 2547; Thai FTA, 2551)

## 2.2 สมบัติทางกายภาพของข้าว (Physical properties)

สมบัติทางกายภาพหมายถึงสมบัติที่กำหนดจากคุณลักษณะของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นด้วยสายตา และสามารถทำการชั่ง ตวง วัด ได้ คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวดังนี้

2.2.1 น้ำหนักเมล็ด กำหนดได้ 2 แบบ คือ น้ำหนักต่อปริมาตร หมายถึงการชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวด้วยปริมาตรคงที่ เช่น กรัมต่อลิตร และแบบที่สองเป็นน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด หมายถึงการชั่งน้ำหนักข้าวด้วยจำนวนเมล็ดคงที่ เช่น กรัมต่อ 100 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดจึงเป็นลักษณะประจำพันธุ์ที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าวซึ่งควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรม และมีความคงที่มากที่สุด จากการตรวจสอบพันธุ์ข้าวในเมืองไทย ประมาณ 344 พันธุ์ จะมีน้ำหนักเมล็ดข้าวอยู่ในช่วง 16.20-41.68 กรัมต่อ 1000 เมล็ด (เครือวัลย์, 2536)

2.2.2 สีเปลือกของข้าวเปลือก เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าว มีหลายสีตั้งแต่สีขาว สีฟาง น้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม น้ำตาลทอง ร่องน้ำตาล กระน้ำตาล น้ำตาลแดง ม่วง หรือดำ สำหรับพันธุ์ข้าวของประเทศไทยมีสีเปลือกส่วนใหญ่เป็นสีขาว หรือสีฟาง และสีน้ำตาล ส่วนสีน้ำตาลแดง สีเขียวแกมเทา และดำ มีเป็นส่วนน้อย พันธุ์ข้าวที่ดีควรมีสีเปลือกอ่อน เพราะสีเปลือกเข้ม เมื่อผ่านการขัดสีแล้ว จะมีเปอร์เซ็นต์แกลบสูงกว่า (เครือวัลย์, 2536; อังคณา และ เครือวัลย์, 2539)

2.2.3 สีข้าวกล้อง เป็นลักษณะประจำพันธุ์ข้าว ที่เหมือนกับสีของข้าวเปลือก มียีนหลายคู่ที่สร้างสารสีประเภท แอนโทไซยานิน อยู่ในเยื่อหุ้มผล มีสีต่างๆกัน เช่น ขาว แดง น้ำตาลเข้มน้ำตาลเทา และม่วง

ถึงม่วงเกือบดำ สีข้าวกล้องของพันธุ์ข้าวในประเทศไทยจัดกลุ่มได้ 4 สี คือ ขาวน้ำตาล แดง และม่วงหรือ ม่วงเกือบดำ (เครือวัลย์, 2536; อังคณา และ เครือวัลย์, 2539)

2.2.4 ขนาดและรูปร่างเมล็ด ใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายข้าวในประเทศไทย โดยวัดขนาดเป็น ความยาว ความกว้าง และการวัดความหนาของเมล็ด ซึ่งความยาวของเมล็ดใช้จำแนกเมล็ดข้าวได้ ดังนี้

ความยาวของเมล็ด หมายถึง ระยะทางจากปลายสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด

ความกว้างของเมล็ด หมายถึง ระยะทางที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ถึงเปลือกเล็ก

ความหนาของเมล็ด หมายถึง ระยะทางมากที่สุดจากเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกเมล็ดข้าวโดยใช้รูปร่างเป็นเกณฑ์ได้ (เรียว ปานกลาง ป้อม) โดย คำนวณความยาวของเมล็ดข้าวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวได้ มาตรฐานข้าวไทยที่กำหนดโดยกรมการ ข้าว ไม่กำหนดรูปร่างเมล็ด เนื่องจากข้าวส่วนใหญ่มีเมล็ดยาวเรียว และยึดถือข้าวที่มีความยาวเกิน 7.0 มิลลิเมตรเป็นข้าวคุณภาพดี และข้าวไทยเป็นข้าวประเภทข้าวอินดิกา จึงทำให้เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าข้าว ชนิดนี้มีเมล็ดยาวเรียว แต่โดยความเป็นจริงมีข้าวไทยพันธุ์พื้นเมืองบางพันธุ์มีเมล็ดป้อมเช่นกัน

2.2.5 ข้าวท้องไข หมายถึงจุดขาวชุ่นคล้ายซอล์ก ที่เกิดขึ้นในเนื้อของเมล็ดข้าวสารมี 3 ลักษณะคือ จุดขาวชุ่นตรงกลางเนื้อเมล็ดข้าวสาร จุดขาวชุ่นด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ด ซึ่งเป็นด้านเดียวกับคัพภะ และจุดขาวชุ่นด้านหลังของเมล็ดข้าวสาร เป็นด้านตรงข้ามกับคัพภะ เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งบอก ถึงคุณภาพ และส่งผลถึงราคาของข้าวเปลือก เนื่องจากเมล็ดที่เป็นท้องไขมาก เมื่อนำไปขัดสีจะทำให้มีการ แดกหักของข้าวสารในปริมาณสูง จึงมีผลต่อคุณภาพในการสีโดยตรง นอกจากนี้ยังเป็นลักษณะที่บ่งบอก ถึงคุณภาพในด้านลักษณะปรากฏ ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความต้องการข้าวสารที่มีลักษณะใส ทำให้ข้าว ท้องไขมีราคาตก การปลูกข้าวในอากาศร้อน (อุณหภูมิกลางวัน 38 องศาเซลเซียส กลางคืน 21 องศา เซลเซียส) จะทำให้เกิดข้าวท้องไขมากกว่าการปลูกในพื้นที่อากาศเย็นกว่า (อุณหภูมิกลางวัน 26 องศา เซลเซียส กลางคืน 15 องศาเซลเซียส) ลักษณะของข้าวท้องไขพบได้ในข้าวเจ้า หรือข้าวที่มีอะไมโลสเป็น องค์ประกอบในเมล็ดข้าว สำหรับข้าวเหนียวซึ่งมี อะไมโลเพกตินเกือบทั้งหมด จะให้ลักษณะข้าวชุ่นทั้ง เมล็ด จึงไม่เห็นลักษณะข้าวท้องไข (อรอนงค์, 2547)

2.2.6 ความเลื่อมมันของเมล็ด เป็นปัจจัยที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและราคาข้าว เนื่องจากข้าว กล้องที่มีความเลื่อมมันดี เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวหักน้อย

2.2.7 ความขาวของข้าวสาร เป็นผลมาจากการขัดสีข้าวกล้อง ระดับการขัดสีที่แตกต่างกันส่งผล ถึงความขาวของข้าวสาร

2.2.8 ความใสของเมล็ด เป็นลักษณะการโปร่งแสง ข้าวที่มีเมล็ดใสแสงสามารถส่องผ่านได้ทั้ง เมล็ดต่างจากข้าวท้องไข ข้าวในข้าวเจ้าด้วยกันจะมีความใส หรือความชุ่นที่ต่างกันขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่ ปลูก ข้าวเหนียวจะมีความทึบแสง (เครือวัลย์, 2536)

## 2.3 คุณภาพของข้าว

ปัจจุบันการผลิตข้าวนอกจากจะคำนึงถึงผลผลิตแล้วยังต้องคำนึงถึงคุณภาพเมล็ดควบคู่กันด้วย คำว่า “คุณภาพข้าว” นั้นสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ (กัญญา, 2547)

- คุณภาพการสี (milling quality)
- คุณภาพการหุงต้ม รับประทาน และการแปรรูป (cooking eating and processing quality)
- คุณภาพทางด้านโภชนาการ (nutritive quality)
- คุณภาพตามมาตรฐานซื้อขาย

ในแต่ละประเภทของคุณภาพดังกล่าว มีความสำคัญแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ ตัวอย่างเช่นในการสีข้าวต้องการข้าวที่มีคุณภาพการสีดีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูงหรือในด้านคุณภาพการหุงต้มรับประทาน และการแปรรูป ข้าวสุกที่ได้อาจมีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ ข้าวสุกนุ่มและเหนียว ข้าวสุกไม่แข็ง และข้าวสุกร่วน เป็นต้น

คุณภาพข้าวถูกควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ได้แก่ การเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา ดังนั้นในการพัฒนาพันธุ์ข้าวนอกจากจะคำนึงถึงผลผลิตสูงแล้ว ควรให้มีคุณภาพเมล็ดทั้งคุณภาพการสี และคุณภาพการหุงต้มและรับประทานดีร่วมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแข่งขันทางด้านค้าขายในตลาดโลก

คุณภาพข้าวจะเป็นตัวกำหนดระดับราคาข้าว ซึ่งการกำหนดมาตรฐานข้าว เพื่อการส่งออกของประเทศค้าข้าวทั้งหลายดังกล่าวแล้วมักใช้คุณสมบัติเมล็ดทางกายภาพในการจำแนกเกรดของข้าวทุกชนิด เนื่องจากมีความชัดเจนและสามารถตรวจสอบได้รวดเร็ว มาตรการที่ใช้สำหรับประเมินราคาข้าวเปลือกและข้าวสารล้วนเป็นลักษณะที่มองเห็นหรือชั่ง ตวงวัดได้ทั้งสิ้น รวมทั้งการตรวจสอบดูพื้นข้าวว่ามีเมล็ดยาวหรือสั้น สีแล้วหักมากหรือน้อย มีเมล็ดข้าวแดงปนหรือไม่ เป็นต้น

## 2.4 คุณภาพการหุงต้ม รับประทาน และการแปรรูป (cooking eating and processing quality)

ตามมาตรฐานการส่งออกข้าวของกระทรวงพาณิชย์ กำหนดเฉพาะลักษณะทางกายภาพ เช่น ปริมาณข้าวที่มีขนาดเมล็ดต่างๆ ขนาดข้าวหัก ปริมาณเมล็ดชนิดอื่นปน ความสะอาดที่จำกัดด้วยปริมาณสิ่งเจือปนความชื้น และระดับการสี ซึ่งตรวจสอบได้ง่าย ข้าวคุณภาพดี (ข้าวขาว 100% และ 5%) ต้องมีส่วนผสมของข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (> 7.0 มม.) จำนวนมาก (เครือวัลย์, 2534) ด้วยเหตุนี้ การปรับปรุงพันธุ์ข้าวใหม่ ๆ จึงเน้นพันธุ์ข้าวที่มีเมล็ดมาตรฐานดี คือ มีความยาวเฉลี่ยมากกว่า 7.0 มม. ดังนั้น ข้าวสารที่จำหน่ายในท้องตลาดจึงมีลักษณะเมล็ดเรียวยาวคล้ายๆ กัน ไม่ว่าจะเป็ข้าวประเภทใด แต่เมื่อนำไปหุงต้มอาจมีคุณภาพข้าวสุกแตกต่างกัน เช่น เป็นข้าวนุ่มเหนียว (ข้าวหอมมะลิ) ข้าวอ่อนหรือข้าวขาวตาแห้ง และข้าวแข็งหรือข้าวเส้าให้ ทั้งนี้ เนื่องจากเมล็ดข้าวมีคุณสมบัติของแป้งแตกต่างกัน จึงทำให้เกิดปัญหาการปนกันระหว่างข้าวต่างพันธุ์หรือต่างชนิดของคุณภาพข้าวสุก การปนกันของข้าวต่างคุณภาพใน

อัตราส่วนไม่แน่นอนย่อมก่อความยุ่งยากแก่ผู้บริโภคที่มีความนิยมข้าวสวยคุณภาพต่างกัน ดังเช่นข้าวไทยที่รู้จักกันทั่วไปว่า "ข้าวหอมมะลิ" ซึ่งผู้ซื้อคาดหวังที่จะได้ข้าวที่มีข้าวสุกนุ่มเหนียว และกลิ่นหอม การปนกับข้าวประเภทอื่น

นอกจากทำให้คุณภาพข้าวสวยเปลี่ยนไปยังมีผลให้กลิ่นหอมลดน้อยลงอีกด้วย ปัญหาเหล่านี้ย่อมไม่เป็นที่พึงปรารถนาของผู้ซื้อ การที่ข้าวแต่ละพันธุ์มีคุณภาพข้าวสวยแตกต่างกัน เนื่องจากในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (Endosperm) ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ประมาณ 84 - 93% โดยน้ำหนักแห้ง และมีโปรตีน ประมาณ 5 - 14% ในส่วนของแป้งข้าวยังสามารถแยกออกเป็นแป้ง 2 ชนิด (งามชื่น, 2539 และ Juliano, 1979) คือ

1. **แอมิโลเปคติน (Amylopectin)** เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลของกลูโคส (Glucose) จำนวนมาก และมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันแบบแยกเป็นกิ่งก้านสาขา (Branched chain) แอมิโลเปคตินเมื่อย้อมสี ด้วยสารละลายไอโอดีนจะเป็นสีน้ำตาลแดง (Red brown) เมื่อทำให้สุก (Gelatinized) ในน้ำเดือดจะค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นาน และเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกเหนียวติดกัน (งามชื่น, 2539 และ Juliano, 1979)

2. **แอมิโลส (Amylose)** เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสจำนวนมากเช่นกัน แต่มีโครงสร้างต่อกันเป็นแนวยาว (Linear chain) เมื่อย้อมสีด้วยสารละลายไอโอดีนจะมีสีน้ำเงิน เมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดและทำให้เย็นจะเกิดการคืนตัวเป็นของแข็ง (Retrogradation) ขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น (งามชื่น, 2539 และ Juliano, 1979) ในแป้งข้าวจะมีแอมิโลสเป็นส่วนรอง โดยอยู่ปะปนกับแอมิโลเปคติน

คุณภาพในการหุงต้ม (Cooking qualities) หมายถึง การยึดตัวของเมล็ดข้าว และการขยายปริมาตรของข้าวหลังจากการหุง การอุ้มน้ำของข้าวสุก และปริมาณของของแข็งที่ละลายในน้ำข้าวสุก (Juliano, 1985) โดยมีผลมาจากปัจจัยหลัก 3 ข้อ คือ ความแตกต่างของพันธุ์ข้าว อายุการเก็บรักษา และกระบวนการแปรรูป

คุณภาพการรับประทานคือคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับเนื้อสัมผัสของข้าวเช่น ความแน่นเนื้อ (Firmness) ความแข็ง (Hardness) ความเหนียวติดกัน (Adhesiveness) ความยืดหยุ่น (Springiness) ความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ความเหนียวยืดติด (Gumminess) และกลิ่นรสที่ได้จากข้าวหุงสุก มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพการหุงต้ม เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสของข้าวที่ดี นอกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสแล้ว การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบต่างๆ เช่น เทกซ์เจอร์มิเตอร์ (Texturometer) เครื่องยูนิเวอร์ซัล เทสติ้ง (Universal testing machine) และเครื่องเชียร์เพรส (Shear press) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก ได้แก่ พันธุ์ข้าว องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว และวิธีการหุงต้ม (อรอนงค์, 2547)

คุณภาพในการแปรรูป หมายถึง คุณภาพของข้าวที่เหมาะสมในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวพันธุ์นั้นๆ สมบัติดังกล่าวได้แก่การเกิดเจลาทีโนเซชัน และการเกิดรีโทรกราเดชัน เจลาทีโนเซชัน เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารละลายสตาร์ชได้รับความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) คือพันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัว คุณน้ำและพองตัว ทำให้น้ำแป้งมีความหนืดและใสขึ้น ความหนืดที่เปลี่ยนไป สามารถวิเคราะห์ได้ด้วย Brabender Visco Amylograph, Rapid Visco Analyzer และ Viscometer การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถผันกลับได้ สตาร์ชจะสูญเสียความสามารถในการบดระนาบแสงโพลาไรซ์ และสูญเสียความเป็นผลึก (Slade and Levine, 1988) ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลาทีโนเซชัน เช่น การจัดเรียงตัวและความแข็งแรงของโมเลกุลของสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมีนอกจากนี้สัดส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพคติน และปริมาณฟอสฟอรัสก็มีผลต่อการเกิดเจลาทีโนเซชันด้วย (Tester, 1997) แต่พบว่าขนาดโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพคติน ไม่มีผลต่อค่าพลังงานเอนทาลปีในการเกิดเจลาทีโนเซชัน (Chiang and Yeh, 2002) การเกิดรีโทรกราเดชันหรือการคืนตัว เป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุลแอมิโลสหลังจากผ่านการเกิดเจลาทีโนเซชันแล้ว สายโมเลกุลแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่และยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (Zhou *et al.*, 2002) เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกเรียกว่า ซินเนอร์ซีซิส (Syneresis) ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขรุขระและความหนืดเพิ่มขึ้น การคืนตัวของสตาร์ชเมื่อลดอุณหภูมิของสารละลายลงอย่างช้าๆ จะเกิดตะกอน แต่ถ้าลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดเจล ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน ได้แก่ ปริมาณแอมิโลส ปริมาณน้ำและอุณหภูมิ โดยปริมาณและขนาดแอมิโลสและแอมิโลเพคติน มีความสำคัญต่อการคืนตัวของสตาร์ช สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีแอมิโลสต่ำ เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงเกิดการเชื่อมต่อกันได้ง่ายกว่า จนเป็นโครงสร้างที่หนาแน่นเป็นเจลหรือตะกอน (สุนันทา, 2549)

คุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว (Cooking and eating quality) เป็นคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกัน เช่น บางคนชอบข้าวแข็งร่วนหุงขึ้นหม้อ บางคนชอบข้าวนุ่มเหนียว คุณภาพการหุงต้มและรับประทานนี้สามารถคาดคะเนโดยคุณสมบัติเคมีทางเคมี (Grain chemical properties) ปัจจัยที่ทำให้ข้าวพันธุ์ต่างๆ มีคุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบ ดังนี้ (งามชื่น, 2539 และ Juliano, 1979)

### 2.3.1 ปริมาณแอมิโลส (Apparent amylose content)

แม้ว่าแป้งข้าวจะมีแอมิโลเพคติน ปริมาณมากกว่าแอมิโลส แต่โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าว โดยถือแอมิโลสเป็นหลัก ทั้งนี้เมื่อเอ่ยถึงเปอร์เซ็นต์แอมิโลส มักมีความหมายว่าส่วนที่เหลือของแป้งเป็นแอมิโลเพคติน อัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น แป้งข้าวเหนียวมีแต่แอมิโลเพคตินหรือมีแอมิโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ในแป้งข้าวเจ้าจะมีแอมิโลสปนอยู่ประมาณ 10-34% ปริมาณแอมิโลสเป็นสาเหตุทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงหรือร่วนมากขึ้น และทำให้ข้าวนุ่มน้อยลงด้วย ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของแอมิโลสที่สุกแล้ว (Retrogradation) ได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณแอมิโลส ดังในตารางที่ 2.1 ข้าวที่มีแอมิโลสสูง จะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจึงมีส่วนกระทบกระเทือนคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวแอมิโลสต่ำต้อง การใช้น้ำน้อย หากใส่น้ำมากเกินไปจะได้ข้าวสุกแฉะและ แต่สำหรับข้าวแอมิโลสสูงหากใส่น้ำปริมาณ เท่ากับการหุงต้มข้าวแอมิโลสต่ำจะได้ข้าวสวยที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากการหุงต้มข้าวแอมิโลสสูงต้องการน้ำมาก และเมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวสวยร่วนฟูไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือข้าวขึ้นหม้อดีกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ ในขณะที่ข้าวแอมิโลสต่ำข้าวสวยมีลักษณะเหนียว เกาะติดกัน เป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ

ในการวิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลส สามารถตรวจวิเคราะห์จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างแป้งที่ละลายในสารละลายโดยปรับสภาพความเป็นกรด - ด่างพอเหมาะ แอมิโลสเมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะได้สารละลายสีน้ำเงินซึ่งสามารถหาปริมาณแอมิโลสในแป้งได้โดยการวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่นแสง 610-620 นาโนมิเตอร์ (Nanometer: nm) และเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสระดับต่างๆ การย้อมสีเมล็ดข้าวสารกับสารละลายไอโอดีนโดยตรง เป็นวิธีการที่จะแยกข้าวเจ้าและข้าวเหนียวได้ โดยแป้งข้าวเหนียวจะย้อมได้สีน้ำตาลแดง ส่วนแป้งข้าวเจ้าเป็นสีน้ำเงินเข้ม

ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณแอมิโลสในข้าวขาว (งามชื่น, 2547)

ประเภทข้าว	ปริมาณแอมิโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0 - 2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้า		
- ข้าวอไมโลสต่ำ	10 - 19	เหนียว- นุ่ม
- ข้าวอไมโลสปานกลาง	20 - 25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
- ข้าวอไมโลสสูง	26 - 34	ร่วน แข็ง

### 2.3.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

แม้ปริมาณแอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ในระหว่างข้าวที่มีแอมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้ เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน (Buttery et al., 1983) การทดสอบความแข็งของแป้งสุกสามารถทดสอบจากการอ่านระยะทางแป้งไหลไป แบ่งข้าวตามค่าความคงตัวของแป้งสุกเป็น 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ในการพิจารณาคุณภาพข้าวเจ้าโดยใช้ความคงตัวของแป้งสุกนั้น จะต้องพิจารณบนพื้นฐานของข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในประเภทเดียวกัน ดังนั้น หากมีข้าว 2 พันธุ์มีปริมาณแอมิโลสสูงใกล้เคียงกัน ข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกอ่อน เมื่อหุงเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่แข็งกระด้างน้อยกว่าข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกแข็ง

ตารางที่ 2.2 การแบ่งประเภทข้าวเจ้าตามความคงตัวของแป้งสุก (Cagampang et al., 1973)

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

### 2.3.3 ระยะเวลาในการหุงต้ม (Cooking time)

การต้มเมล็ดข้าวให้สุกอาจใช้เวลา 14 - 24 นาที หรือมากกว่านั้น (งามชื่น, 2539) เมล็ดข้าวสุกต้องไม่มีไตของแป้งดิบภายในเมล็ด ระยะเวลาที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature) การวิเคราะห์หาอุณหภูมิแป้งสุก อาจใช้วิธีหาอุณหภูมิที่ทำให้เม็ดแป้งสูญเสีย Birefringence โดยมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่มีอุปกรณ์จัดระเบียบของแสงให้เป็น Polarized light บดแป้งพร้อมน้ำในโกร่งบดยา (Mortar) จนเป็นผงละเอียด หยดน้ำแป้งที่ได้ลงบนแผ่นสไลด์และปิดด้านบนด้วย Glass slide วางแผ่นสไลด์บน Heating stage ที่สามารถอ่านอุณหภูมิได้ เมื่อมองเม็ดแป้งดิบผ่านกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเม็ดแป้งแต่ละเม็ดมีลักษณะเรืองแสงของ Birefringence อยู่ท่ามกลางพื้นมืดดำ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นพร้อมกับสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Birefringence ที่ค่อยๆ ลดน้อยลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งแสดงว่า เม็ดแป้งที่สูญเสีย Birefringence เหล่านั้นสุกหรือ Gelatinized แล้ว สังเกตต่อไปจนกว่า 90% ของเม็ดแป้งสูญเสีย Birefringence จึงอ่านอุณหภูมิ อุณหภูมิที่อ่านได้นี้ คือ Final birefringence end point temperature (Juliano, 1972) หรือ อุณหภูมิแป้งสุก ค่าอุณหภูมิแป้งสุกสามารถประมาณได้จากค่าความหนืด (viscosity) ของน้ำแป้งเข้มข้น 10% ที่เพิ่มขึ้น โดยใช้ Brabender Visco/ Amylograph จากระดับอุณหภูมิที่น้ำแป้งเริ่มมีความหนืดสูงขึ้น และลบออก 3 องศาเซลเซียส (Halick, 1959) หรือ จากน้ำแป้งเข้มข้น 20% และอ่านอุณหภูมิที่ระดับความหนืดสูงขึ้นเป็น 20 BU (Juliano, 1985) หรือจากค่าการสลายเมล็ดข้าวสารในด่าง (Alkali test) โดยแช่เมล็ดข้าวสารในสารละลาย KOH 1.7% นาน 23 ชั่วโมง และใช้

ค่าการสลายของเมล็ดที่ปรากฏมาประมาณระดับอุณหภูมิแบ่งสูงได้ (Little and Dawson, 1960 and Little et al., 1958) แม้ว่าระยะเวลาหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแบ่งสูงดังกล่าวข้างต้น แต่ความหนาของเมล็ดข้าวทำให้ต้องยืดเวลาหุงต้มออกไปอีก เช่น ข้าวที่มีอุณหภูมิแบ่งสูงเท่ากัน ข้าวที่มีเมล็ดหนาจะต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวเมล็ดบาง ในทำนองเดียวกัน โปรตีนซึ่งมีมากตามบริเวณผิวนอกของเมล็ดอาจเป็นอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำ และทำให้เวลาหุงต้มนานออกไปอีก (งามชื่น, 2536) การแบ่งชนิดข้าวตามอุณหภูมิแบ่งสูงและการประเมินด้วยค่าการสลายเมล็ดในต่างที่สัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้มข้าวสุก แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดข้าวตามอุณหภูมิแบ่งสูงและการประเมินด้วยค่าการสลายเมล็ดในต่างที่สัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้มข้าวสุก (งามชื่น, 2539)

อุณหภูมิแบ่งสูง (°C)	ระดับ	ค่าการสลายเมล็ดในต่าง	ระยะเวลาหุงต้ม (นาที)
ต่ำกว่า 69	ต่ำ	6 - 7	12 - 17
70 - 74	ปานกลาง	4 - 5	17 - 24
มากกว่า 75	สูง	1 - 3	> 24

ข้าวเจ้าของไทยแม้มีขนาดและรูปร่างเมล็ดใกล้เคียงกัน คือ เป็นข้าวเมล็ดยาวและรูปร่างเรียวยาวหรือรี แต่เมื่อหุงต้มสุกเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่มีความนุ่มและเหนียวต่างกัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณแอมิโลสในแป้งของเมล็ดข้าว ข้าวเจ้าพันธุ์ที่รัฐบาลส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นพันธุ์ที่รวบรวมจากเกษตรกรและนำมาคัดเลือกจนได้พันธุ์ดี หรือพันธุ์ที่ทางราชการพัฒนาขึ้นในภายหลัง สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามคุณภาพข้าวสุก คือ กลุ่มข้าวนุ่มเหนียว (แอมิโลสต่ำ) กลุ่มข้าวขาวตาแห้ง (แอมิโลสปานกลาง) และกลุ่มข้าวเส้าให้ (แอมิโลสสูง) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การจัดแบ่งข้าวพันธุ์ดีตามคุณภาพข้าวสุก (งามขึ้น และสุ่นันทา, 2536)

พันธุ์ข้าว	เมล็ดยาว (มม.)	อะมิโลส (%)	อุณหภูมิแป้งสุก	ความคงตัวแป้งสุก
<b>ข้าวสุกนุ่มและเหนียว</b>				
ขาวดอกมะลิ 105*	7.2-7.6	13-18	ต่ำ	อ่อน
กข15*	7.5	14-17	ต่ำ	อ่อน
กข21	7.3	17-19	ต่ำ	อ่อน
ปทุมธานี1*	7.3-7.8	14-18	ต่ำ	อ่อน
<b>ข้าวสุกอ่อน (ขาวคาแข็ง)</b>				
ขาวปากหม้อ	7.7	24-26	ปานกลาง	อ่อน
ขาวคาแข็ง 17	7.5	24-28	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน
กข7	7.2	24-28	ปานกลาง	อ่อน
กข23	7.3	22-26	ปานกลาง	อ่อน
สุพรรณบุรี 60	7.5	20-26	ต่ำ	ปานกลาง
<b>ข้าวสุกร่วนแข็ง (เส้าให้หรือข้าวเดียว)</b>				
เหลืองใหญ่ 148	7.3	30-31	ต่ำ	อ่อน-ปานกลาง
น้ำสะกวย 19	7.6	30-31	ต่ำ	อ่อน-ปานกลาง
เหลืองประทิว 123	7.4	28-32	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน-แข็ง
เล็บมือนาง 111	7.6	29-32	ต่ำ-ปานกลาง	แข็ง-อ่อน
ปิ่นแก้ว 56	7.5	29-31	ต่ำ-ปานกลาง	แข็ง
กข11	7.6	29-32	ต่ำ	แข็ง
กข13	6.9	30-33	ต่ำ-ปานกลาง	อ่อน
ปทุมธานี 60*	7.5	27-32	ต่ำ	แข็ง
ชัยนาท 1	7.4	27-30	ต่ำ-ปานกลาง	แข็ง
สุพรรณบุรี 90	7.4	27-30	ต่ำ-ปานกลาง	แข็ง
สุพรรณบุรี 1	7.3	29	ปานกลาง	อ่อน

\* มีกลิ่นหอม

### 2.3.4 วิธีการหุงต้ม

นอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆ ของเมล็ดดังกล่าวข้างต้นแล้ว วิธีการหุงต้มยังมีส่วนทำให้คุณภาพข้าวสุกต่างกันได้อีกด้วย เช่น การหุงต้มข้าวอะมิโลสสูงหากใส่น้ำน้อยจะแข็งกระด้างมาก แต่เมื่อใส่น้ำมากจะช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้นและทำให้การขยายปริมาตรมากขึ้นด้วย การหุงข้าวโดยรินน้ำทิ้ง (เช็ดน้ำ) เป็นการทำให้เมล็ดข้าวมีโอกาสดูดน้ำได้มาก และทำให้ข้าวแข็งกระด้างน้อยลง เพราะระหว่างดองข้าว

หรือทิ้งข้าวให้ระอุบนเตาไฟเต็มที่ เพื่อไล่ความชื้นที่มีมากเกินไป ข้าวยังคงได้รับความร้อนสูง ซึ่งมีผลทำให้เมล็ดสุกได้ หากการรินน้ำกระทำเมื่อข้าวค่อนข้างสุกก็อาจทำให้ข้าวแฉะได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวแอมิโลสต่ำ (ข้าวหอมมะลิ หรือข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105) จะมีโอกาสแฉะได้ง่าย ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำจึงควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ในทำนองเดียวกัน ข้าวเหนียวซึ่งมีแอมิโลสน้อยมากหรือไม่มีเลยก็ควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำเช่นกัน (Kongseree, 1979)

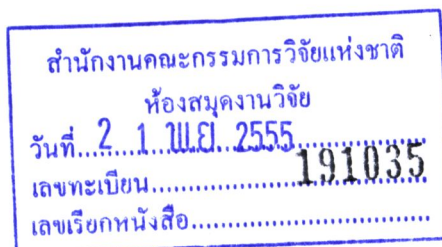
ข้าวพันธุ์ดีที่รัฐบาลส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในปัจจุบัน จะมีคุณภาพแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4 อย่างไรก็ตาม ก็ยังคงจัดอยู่ในข้าวเจ้า 3 กลุ่ม ตามปริมาณแอมิโลส หรือเรียกกันทั่วไปว่า ข้าวสุกนุ่มเหนียว ข้าวสุกอ่อน ข้าวสุกร่วนแข็ง (ขึ้นหม้อ) (งามชื่น, 2539)

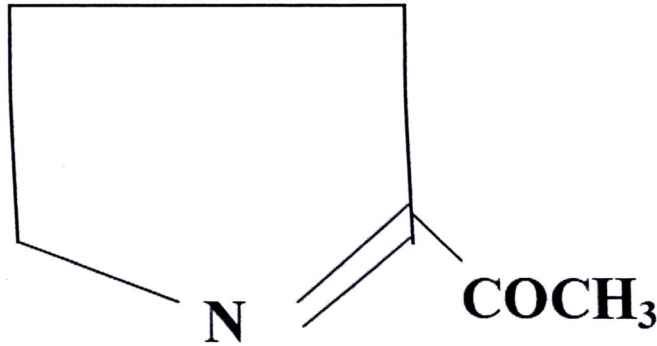
### 2.3.5 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation ratio during cooking)

ในระหว่างหุงต้ม เมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าวบางพันธุ์ ซึ่งจะช่วยให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น และหากเมล็ดข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้นไม่อัดกันแน่น ด้วยเหตุนี้ ข้าวพันธุ์ Basmati 370 ซึ่งเป็นข้าวแอมิโลสปานกลางมีการยืดตัวดีมาก จึงเป็นที่นิยมในตลาดตะวันออกกลาง (งามชื่น, 2539)

### 2.3.6 กลิ่นหอม (Aroma)

ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิด เคยมีผู้ทำการวิเคราะห์ไอที่ได้จากการหุงข้าว Koshihikari ของญี่ปุ่น พบว่ามีสารอยู่กว่าร้อยชนิด ซึ่งประกอบด้วยสาร hydrocarbon 13 ชนิด alcohol 13 ชนิด aldehyde 16 ชนิด ketone 14 ชนิด กรด 14 ชนิด ester 8 ชนิด phenol 5 ชนิด pyridine 3 ชนิด pyrazine 6 ชนิด ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีกลิ่นแตกต่างกัน เช่น สาร 2 - acetylthiazole และ benzothiasole มีกลิ่นรำสำหรับข้าวหอมมีสาร 2 - acetyl - 1 - pyrroline มากกว่าข้าวทั่วไป (Barber, 1972 and Batchner et al., 1956) สาร 2 - acetyl - 1 - pyrroline นี้ มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.1 ในข้าวสารหอมหนึ่งกรัมอาจมีสารนี้ ประมาณ 0.04 ไมโครกรัม และในข้าวกล้องอาจมีปริมาณ 0.1 - 0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม ดังตารางที่ 2.5 สารหอมชนิดนี้ยังพบมีปริมาณสูงมากในพืชตระกูลใบเตย (*Pandanus amaryllifolius* Roxb. fragrant screw pine) ซึ่งมีอยู่ปริมาณสูงถึง 1 ไมโครกรัม/กรัม (Buttery et al., 1983)





รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (Buttery et al., 1982)

ตารางที่ 2.5 ปริมาณของสาร 2-Acetyl-1-pyrroline ในเมล็ดข้าวขาวและข้าวกล้องของพันธุ์ข้าวที่มีกลิ่นหอมและไม่หอม (Buttery et al., 1983)

พันธุ์	ปริมาณของ 2-Acetyl-1-pyrroline (ppm)	
	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง
Malakit Sungsong	0.09	0.02
IR 841-76-1	0.07	0.20
Khao Dawk Mali 105 (ข้าวดอกมะลิ105)	0.07	0.20
Milagrossa	0.07	-
Basmati 370	0.07	0.17
Seratus Malem	0.06	-
Azucena	0.04	0.16
Hicrt	0.04	0.10
Texas long Grain (ข้าวไม่หอม)	<0.008	-
Carose (ข้าวไม่หอม)	<0.006	-

กลิ่นหอมในข้าวจัดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกประเภทข้าว ข้าวหอมและข้าวเจ้าจะมีความแตกต่างกันทั้งในด้านกลิ่นรสและเนื้อสัมผัส โดยข้าวหอม (aromatic/scented rice) จะมีกลิ่นที่เหมือนกับข้าวโพดคั่ว (popcorn-like) หรือเหมือนกับใบเตย (pandan-like) จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ความหอมที่ปรากฏในข้าวหอมนั้นเกิดจากสารประกอบหลักที่มีชื่อว่า 2-acetyl-1-pyrroline (ACPY) และนอกจากจะเป็นสารประกอบที่แสดงคุณสมบัติของข้าวหอมแล้ว ยังเป็นสารหอมหลักที่พบได้ในใบเตย

(*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) (Buttery et al., 1983 ; Lin et al., 1990 ; Laksanalamai and Ilangantileke, 1993)

Mahatheeranont et al. (1995) รายงานว่าในข้าวหอมมะลิ KDML-105 มีสารหลักที่ให้กลิ่นหอมคือ ACPY และยังมีสารประกอบที่ให้กลิ่นอื่นๆ ด้วย ได้แก่ butyl acetate, diethyl carbonate, butyl cyclopropane, 1,4-dimethylbenzene, isocyanatomethylbenzene, hexanal, nonanal, 7-octen-4-ol, 2-(2-propoxyethoxy)ethanol และ 2,6-bis(1,1-dimethyl-ethyl)-4-methylphenol ซึ่งสารประกอบให้กลิ่นที่พบโดยส่วนใหญ่คล้ายคลึงกับที่พบในใบเตย

Petrov et al. (1996) ศึกษาความแตกต่างระหว่างข้าวพันธุ์ Azucena (aromatic rice) และ IR-64 (non-aromatic rice) พบว่าความแตกต่างของกลิ่นหอมในข้าวนี้มาจากสาร ACPY โดยพบว่าสารหลักที่ให้กลิ่นหอมในข้าวคือ ACPY ซึ่งพบทั้งในข้าวหอมมะลิของไทย ข้าวพันธุ์ Basmati และข้าวพันธุ์ Azucena

Widjaja et al. (1996) พบว่าในข้าวพันธุ์ Pelde (non-aromatic rice) จะมีสารประกอบให้กลิ่นอื่นในปริมาณที่มากกว่าในข้าวหอมพันธุ์ Basmati, Jasmine, Goolarah และ YRF9 คือ n-hexanal, (E)-2-heptanal, 1-octen-3-ol, n-nonanal, (E)-2-octenal, (E)-4-decadienal, 2-pentylfuran, 4-vinylguaical และ 4-vinylphenol (โดย 2 ตัวสุดท้ายให้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์)

สารระเหยให้กลิ่นซึ่งมีความสำคัญเช่นกันคือสารประกอบในกลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl compound) โดย Bennion (1980) พบว่าสารประกอบในกลุ่มนี้ให้กลิ่นหืนหรือกลิ่นอับ (rancid/stale odors) ในข้าวหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดกระบวนการ lipid deterioration ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสารประกอบในกลุ่มคาร์บอนิล Gon Shin et al. (1986) รายงานว่าระหว่างการเก็บรักษาข้าวพบว่าปริมาณ hexanal ซึ่งเป็นสารในกลุ่มคาร์บอนิลเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากกระบวนการ lipid deterioration ดังนั้นในงานวิจัยทั่วไปจึงใช้การตรวจวิเคราะห์ hexanal เพื่อเป็นดัชนีในการบ่งชี้คุณภาพของข้าวได้ในแง่ของการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์

เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่ากลิ่นหอมของข้าวจะลดลงเมื่อเป็นข้าวเก่า เนื่องจากสารระเหยหอมค่อยๆ ระเหยหายไป ปัจจัยที่ส่งเสริมให้กลิ่นหอมเสื่อมเร็วคือ ความร้อนและความชื้น ความร้อนจะช่วยส่งเสริมการระเหยของสารหอม แต่สำหรับความชื้นจะทำให้ข้าวเกิดกลิ่นเหม็นสาบ เพื่อชลอการสูญหายของกลิ่นหอม จึงควรเก็บข้าวเปลือกในสภาพความชื้นต่ำและโรงเก็บไม่ควรร้อนอบอ้าว จากการศึกษาพบว่า การเก็บข้าวหอมในสภาพข้าวเปลือกและข้าวสารในห้องเย็น 15 องศาเซลเซียส จะช่วยรักษาคุณภาพข้าวสุกได้ใกล้เคียงกับข้าวใหม่แม้จะเก็บนานถึง 10 เดือน การเก็บข้าวสารในสภาพเปิดหรือถุงพลาสติกที่อากาศผ่านได้ ไม่ควรเกิน 4 เดือน เพราะข้าวจะมีกลิ่นสาบและกลิ่นหอมลดลงการเก็บข้าวในถุงพลาสติกชนิด Laminated หลายชั้นเพื่อลดการซึมผ่านของอากาศและปิดผนึกภายใต้สุญญากาศจะช่วยชลอการเสื่อมคุณภาพได้ เทคโนโลยีการขัดมันช่วยกำจัดเศษรำที่เกาะอยู่ตามผิวเมล็ดซึ่งช่วยชลอการเกิดกลิ่นหืนจากน้ำมันรำข้าว ทำให้กลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิเด่นชัดขึ้น

### 2.3.7 ปริมาณโปรตีน (Protein content)

แม้ว่าโปรตีนจะไม่ค่อยถูกอ้างถึงเมื่อกล่าวถึงคุณภาพข้าวสุก แต่มีบางรายงานพบว่า โปรตีนโดยเฉพาะที่อยู่ส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาหุงต้มเมล็ดข้าวให้สุกนานขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากโปรตีนจะเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปภายในเมล็ดข้าว นอกจากนี้ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้นทำให้ขัดสีออกได้ยาก จึงอาจมีระดับการสีต่ำกว่า (มีรำเหลืออยู่มาก) และทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลงและมีสีคล้ำ อย่างไรก็ตาม หากทำการสีข้าวให้มีระดับการสีมากขึ้นแล้ว ข้าวโปรตีนสูงอาจมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ จากการศึกษาผลการใส่ปุ๋ยต่อคุณภาพข้าว พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งทำให้โปรตีนในเมล็ดข้าวสารของพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 สูงขึ้น ข้าวสุกมีสีคล้ำลง ข้าวมีความนุ่มลดลงเมื่อเมล็ดข้าวสารมีโปรตีนถึง 10% และหากโปรตีนสูงถึง 12% ความเหนียวของข้าวจะลดลงด้วย (งามชื่น และคณะ, 2531)

### 2.3.8 สมบัติด้านความหนืด (pasting characteristics)

Juliano (1985) รายงานว่าข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีสมบัติทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกัน และความแตกต่างของสมบัติดังกล่าวทำให้สมบัติหลังการหุงต้มของข้าวดังกล่าวแตกต่างกันไปด้วย โดยปริมาณ แอมิโลส (amylose content) ซึ่งอยู่ในส่วนของเนื้อเมล็ด (endosperm) ในข้าวจะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม (cooking quality) คุณภาพการรับประทาน (eating quality) และคุณภาพในการแปรรูป (processing quality) (Tan and Corke, 2002) อย่างไรก็ตามยังมีรายงานวิจัยที่พบว่าแม้ข้าวต่างสายพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสเท่ากันก็ยังมีรูปแบบของความหนืด (past viscosity profiles) แตกต่างกันด้วย (Juliano, 1985) ดังนั้นนอกจากแอมิโลสแล้วยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่มีไม่ใช่แอมิโลส เช่น โปรตีน (Teo et al., 2000) ฟอสฟอรัส (Lin and Czuchajowska, 1998) และ แอมิโลเพคติน (Silverio et al., 2000) ที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของข้าวและส่งผลกระทบต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหลังการหุงต้มและแปรรูป

เนื่องจากขั้นตอนในการหุงต้มเพื่อทำให้ข้าวสุกนั้นเป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพที่ทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวที่เหมาะสมแก่การรับประทาน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสมบัติทางด้านความหนืด หรือ pasting characteristics สามารถใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพข้าว โดยสมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพการหุงต้ม คุณภาพการรับประทานและคุณภาพในการแปรรูป โดยในปัจจุบันเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์คือ เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอธิบายการเกิดเจลลิตีในเซชัน และการเกิดรีโทรกราเดชันของข้าวในระหว่างการหุงต้มได้

รุ่งนภา และคณะ (2546) ศึกษาการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวไทยจำนวน 16 พันธุ์ คือ ข้าวดอกมะลิ 105 ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 90 เหลืองประทิว 123 กข 23 กข 6 เหนียวสันป่าตอง

พิษณุโลก1 สุพรรณบุรี1 พิษณุโลก2 เชียงพัทลุง สังขะหยุด ขาวห้าร้อย กข15 และแจ็กเซย ด้วยเครื่อง DSC ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีในเซชันของสตาร์ชข้าวให้ผลสอดคล้องกับอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) ที่ตรวจสอบด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาทีในเซชันของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะสูงกว่าในสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ เพราะโครงสร้างของแอมิโลสในสตาร์ชที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้โมเลกุลของแอมิโลสมีลักษณะเกลียวม้วน ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดเจลลาทีในเซชันที่อุณหภูมิสูงกว่า ดังนั้นสตาร์ชข้าวแต่ละชนิดจึงมีเจลลาทีในเซชันต่างกัน

Ong and Blanshard (1995) ศึกษาผลของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยวิเคราะห์คุณสมบัติของเจลด้วยเครื่อง RVA อุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีในเซชันด้วยเครื่อง DSC ปริมาณแอมิโลส ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ระหว่างการหุง และความชุ่มของเมล็ดข้าวสุก ผลการทดลองพบว่าปริมาณแอมิโลสที่ละลายออกมาระหว่างการหุงต้มมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยปริมาณแอมิโลสที่ละลายออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณแอมิโลสในข้าวดิบ อุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีในเซชันไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของข้าวสุก แต่มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของสตาร์ช ในระหว่างการหุงต้ม พบว่าโมเลกุลสายยาวของแอมิโลเพคติน (Degree of polymerization เท่ากับ 92-98) จะไม่ละลายออกมาจากเมล็ดสตาร์ช ดังนั้นในระหว่างการหุงต้ม หากมีการละลายของแอมิโลสออกมาจากเมล็ดสตาร์ชมาก ข้าวจะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น

Martin and Fitzgerald (2002) ศึกษาผลของโปรตีนในเมล็ดข้าวต่อคุณภาพในการแปรรูปตัวอย่างข้าวจำนวน 6 ชนิดคือ Tarra, Shimozi mochi, Kochihikari, Amaroo, Doongara และ Basmati โดยเตรียมตัวอย่างอยู่ในรูปของแป้งข้าว และแป้งข้าวที่มีการสกัดเอาโปรตีนออกด้วยเอนไซม์ โปรติเอส ตรวจสอบลักษณะของเจลด้วย RVA ผลการทดลองพบว่าโปรตีนมีผลต่อค่าความหนืด และการดูดซึมน้ำ เนื่องจากโปรตีนสร้างพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้แป้งไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ เมื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจน พบว่าเจลมีค่าความหนืดสูงสุดลดลง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาพบว่าโปรตีนมีการสร้างพันธะไดซัลไฟด์มากขึ้น ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลงมากกว่าเดิม

Noosuk et al. (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของสตาร์ชและสมบัติของสตาร์ชข้าวไทย 3 กลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน คือ สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ 1-3 เปอร์เซ็นต์ (สตาร์ชข้าวพันธุ์ กข 6 และสตาร์ชข้าวเหนียวทางการค้า) กลุ่มที่สองคือสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง 14-15 เปอร์เซ็นต์ (ข้าวดอกมะลิ 105 ) และสุดท้ายคือสตาร์ชที่มีแอมิโลสสูง 21-23 เปอร์เซ็นต์ (สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และสตาร์ชข้าวเจ้าทางการค้า) โดยการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ ผลการศึกษาพบว่าสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำและปานกลางมีสัดส่วนของสายแอมิโลเพคตินเท่ากับ 0.25 ส่วนสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีสัดส่วนของสายแอมิโลเพคตินเท่ากับ 0.19 ปริมาณแอมิโลสในข้าวเจ้าเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงหน้าที่

ได้แก่ กำลังในการพองตัว ดัชนีการละลายน้ำ ลักษณะการเกิดแบ่งเป็ยก intrinsic viscosity, consistency index และ storage modulus โดยพบว่าเมื่อปริมาณแอมไโลสเพิ่มขึ้นทำให้ดัชนีการละลายน้ำเพิ่มขึ้น setback viscosity เพิ่มขึ้นและ storage modulus เพิ่มขึ้น แต่กำลังในการพองตัว และ consistency index ลดลง และพบว่า breakdown viscosity และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ความหนืดเพิ่มขึ้นและการเกิดเจลาทีไนซ์ของสตาร์ชข้าวมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของสายแอมไโล เพคติน โดยสตาร์ชมีสัดส่วนของสายแอมไโลเพคตินเท่ากับ 0.19 จะให้ค่า breakdown viscosity ต่ำ แต่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ความหนืดเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิในการเกิดเจลาทีไนซ์สูงกว่าสตาร์ชแบบมีสัดส่วนของสายแอมไโลเพคตินเท่ากับ 0.25