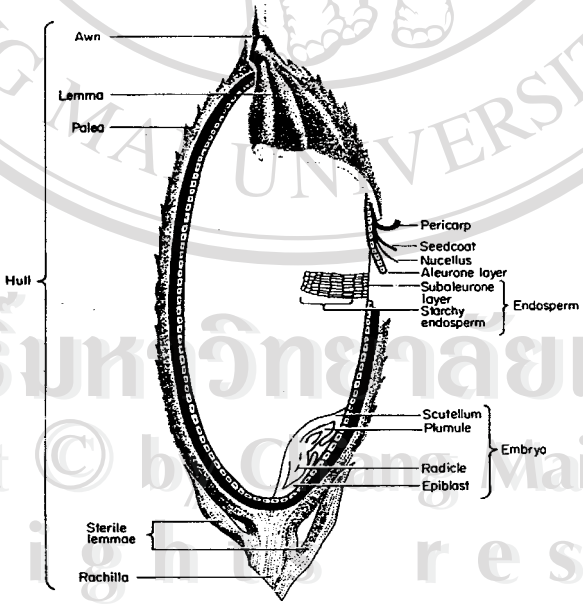
บทที่2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวเป็นพืชล้มลุกในตระกูลหญ้า (*Family:Gramineae*) สกุลออไรซ่า (*Genus: Oryza*) ข้าวมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางจึงพบข้าวชนิดต่างๆ ซึ่งปัจจุบันมีทั้งหมด 24 ชนิด เป็นข้าวปลูกเพื่อบริโภค 2 ชนิดคือข้าวปลูกเอเชีย ออไรซ่า ซาไทวา(*Oryza sativa* Linn.)และข้าวปลูกแอฟริกา (*O. glaberrima* Steud.) ส่วนที่เหลือเป็นข้าวป่าทั้งหมด ข้าวป่าหมายถึงข้าวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ กระจัดกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ มีเอกลักษณ์เฉพาะคือ มีหางข้าว (awn) ยาว ส่วนที่เรียกว่าแกลบซึ่งหุ้มเมล็ดไว้ภายในส่วนมากมีสีดำ เมล็ดเมื่อแก่หลุดร่วงง่าย ข้าวป่าที่เป็นบรรพบุรุษของข้าวปลูก ออไรซ่า ซาไทวามีชื่อว่า ออไรซ่า รูฟิโพกอน (*Oryza rufipogon*) ข้าวป่าชนิดนี้มี 2 แบบแบ่งตามอายุคืออายุปีเดียว (annual type) และอายุยืนหลายปี (parennial type) (มรกต และศิริพร , 2547)

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกันคือ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano, 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1 เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือแกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก (palea และ lemma) ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดเอาไว้ภายใน ส่วนนี้มีน้ำหนักประมาณ 20% ของน้ำหนักเมล็ดข้าว มีปริมาณเซลลูโลส (cellulose) สูงถึง 25% ลิกนิน (lignin) 30% เพนโทแซน (pentosans) 15% และปริมาณเถ้า 21% ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นซิลิกา(silica) ถึง 95% และเนื่องจากแกลบมีปริมาณลิกนินและซิลิกาสูงจึงทำให้มีสารอาหารต่ำ ทั้งยังมีมูลค่าต่ำในทางการค้า

2.1.2 เปลือกหุ้มผล (pericarp) เป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มอยู่รอบเมล็ดตามความยาวของเมล็ดมีอยู่ด้วยกัน 6 ชั้น มีผนังเซลล์บางอยู่ชั้นนอกสุด ผนังเซลล์ของเปลือกหุ้มผลมีความหนา 2 ไมโครเมตร มีองค์ประกอบเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงร่างเป็นเซลลูโลส ฮีมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ มีรายงานว่าเปลือกหุ้มผลมีปริมาณประมาณ 5% ของเมล็ด ประกอบด้วยโปรตีน 6% เถ้า 2% เซลลูโลส 20% ไขมัน 0.5% อีก 71.5% เป็นองค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (nonstarch constituents) นอกจากนี้ยังพบรงควัตถุแอนโธไซยานิน (anthocyanin pigment) ในชั้นนี้อีกด้วย

2.1.3 เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วย

2.1.3.1 เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียว สองแถวหรือมากกว่านั้น เซลล์ชั้นในมีสารให้สีอยู่ด้วยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่าง ๆ นอกจากนี้ยังเป็นชั้นที่อุดมด้วยไขมัน จึงมีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่เนื้อเมล็ด ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 5 ถึง 8 ไมโครเมตร

2.1.3.2 ชั้นเยื่อโปร่งใส (hyaline layer หรือ nucellus) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใสและยังประกอบด้วยสารให้สี เช่นเดียวกับในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

2.1.3.3 ชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง ผนังเซลล์หนา ประกอบด้วยโปรตีน ฮีมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยในข้าวประกอบด้วยเซลล์ในชั้นนี้ 1 ถึง 7 ชั้น ชั้นแอลิวโรนเป็นชั้นที่สำคัญเพราะอุดมด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด โดยภายในเซลล์แอลิวโรนจะมีเมล็ดแอลิวโรน (aleurone grain) อยู่มากมายซึ่งภายในเมล็ดเป็นกรดไฟติก (สารประกอบของธาตุฟอสฟอรัส) มีเกลือโพแทสเซียมและแมกนีเซียมรวมทั้งยังอุดมด้วยโปรตีนและไขมันสะสมอยู่โดยจะห่อหุ้มเมล็ดแอลิวโรนเอาไว้ ทั้งยังอุดมไปด้วยวิตามินต่าง ๆ เช่น วิตามินบี 1 (thiamine) วิตามินบี 2 (riboflavin) และวิตามินบี 3 (niacin) ซึ่งพบในชั้นนี้มากกว่าในส่วนอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3.4 คัพภะ (germ หรือ embryo) เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด มีชั้นแอลิวโรนล้อมรอบอยู่ภายในคัพภะ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนสกูเทลลัม (scutellum) เป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับ คัพภะ และส่วนของคัพภะ (embryonic axis) ซึ่งพร้อมจะเจริญเป็นยอดอ่อน ต้น และรากต่อไป ในส่วนนี้จะอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินเพื่อการเจริญเติบโต สารอาหารที่มีมากคือโปรตีน (อยู่ในรูป protein bodies) และไขมัน (อยู่ในรูป lipid bodies) ส่วนวิตามินที่มีมาก คือวิตามินบี และวิตามินอี (tocopheral)

2.1.2.5 เนื้อเมล็ด (endosperm) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ที่มีผนังบางมีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ ส่วนที่อยู่ถัดไปเป็นเซลล์เนื้อเมล็ด (inner endosperm) ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดกลางเมล็ด เซลล์เหล่านี้จะมีผนังเซลล์บาง ส่วนของผนังเซลล์ซึ่งถือเป็นกำแพงห่อหุ้มเนื้อเมล็ดนี้ จะประกอบด้วยฮีมิเซลลูโลส เพนโทแซน และเบต้า-กลูแคน (β-glucan) แทบจะไม่มีเซลลูโลสอยู่เลย ส่วนภายในเซลล์เนื้อเมล็ดจะประกอบด้วยสตาร์ช (starch granule) ซึ่งเม็ดแป้งของข้าวจะมีขนาดเล็กมาก (3-5 ไมครอน) เป็นรูปเหลี่ยม ลักษณะเม็ดส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่เป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่ม แต่ก็พบร่วมอยู่กับเม็ดเดี่ยวเช่นกัน โปรตีนที่พบในเนื้อเมล็ดจะอยู่ร่วมกับเม็ดสตาร์ชโดยเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบอยู่ในชั้นติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นส่วนใหญ่

เนื้อเมล็ดจะเป็นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสีข้าว (milling fraction) โดยในการสีข้าวจะนำเมล็ดข้าวมากระเทาะเปลือกเอาเปลือกแข็งหุ้มเมล็ดออก จากนั้นจะได้เป็นข้าวกล้อง นำข้าวกล้องที่ได้มาขัดสีเอาส่วนต่าง ๆ ที่ไม่ใช่เนื้อเมล็ดออกเพื่อให้ได้เป็นข้าวสาร ผลพลอยได้จากกระบวนการนี้คือ แกลบ (hull) และรำข้าว (bran and polish) (ชนินันท์,2542)

2.2 ลักษณะการเก็บข้าว

การเก็บข้าวไว้ในโรงเก็บ มีลักษณะการเก็บเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ การเก็บแบบเป็นกองรวมกัน (Bulk) และการเก็บในภาชนะบรรจุชนิดและขนาดต่าง ๆ เช่น กระสอบป่าน ถุงผ้า ถุงปุ๋ย ถุงพลาสติก ถังน้ำมันเป็นต้น การเก็บทั้ง 2 แบบมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การเก็บแบบเป็นกองรวมกันจะสะดวกประหยัดเวลา แรงงาน รวมทั้งพื้นที่ที่ใช้เก็บ และมีการลงทุนต่ำ แต่มีโอกาสเกิดความเสียหายขึ้นได้ง่าย โดยเฉพาะข้าวที่มีความชื้นสูง ๆ เนื่องจากการระบายถ่ายเทความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

และความชื้นภายในกองไม่ดีจึงเหมาะสำหรับการเก็บข้าวไว้ในระยะสั้น ๆ แต่ถ้าจำเป็นต้องเก็บเป็นระยะเวลานาน ๆ ต้องมีการเคลื่อนย้ายข้าวหรือพลิกกลับกองข้าวเป็นระยะ ๆ เพื่อเปิดโอกาสให้ความร้อนและความชื้นสะสมภายในกองเมล็ดมีการถ่ายเทออกไปในระหว่างการเคลื่อนย้ายหรือพลิกกลับหรือต้องลดความชื้นของข้าวให้ต่ำที่สุดก่อนเก็บแบบเป็นกองรวมกันเพื่อป้องกันให้เกิดความร้อนและความชื้นน้อยที่สุด การเก็บในภาชนะบรรจุแบบต่าง ๆ มีข้อดีคือ สามารถเก็บข้าวได้เป็นเวลานานแม้ความชื้นของข้าวจะค่อนข้างสูงเพราะการเก็บในภาชนะบรรจุความชื้นและความร้อนภายในข้าวสามารถระบายถ่ายเทให้กับบรรยากาศโดยรอบ ๆ ภาชนะบรรจุได้ แต่มีข้อเสีย คือ ต้องสิ้นเปลืองเวลา แรงงาน สถานที่ ภาชนะบรรจุและค่าใช้จ่ายสูงกว่าแบบเป็นกอง ดังนั้นจะเลือกลักษณะการเก็บข้าวแบบไหนขึ้นอยู่กับระยะเวลาเก็บและวัตถุประสงค์ของการเก็บข้าวนั้นเป็นหลัก (เอกสงวน , 2544)

เป้าหมายหลักของการเก็บรักษาข้าว คือ ต้องมีการสูญเสียของข้าวในขณะเก็บรักษาน้อยที่สุด ซึ่งมีหลักการเก็บรักษาโดยทั่วไป คือ ต้องเก็บรักษาข้าวไว้ในสภาพหรือโรงเก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศต่ำ (คือต้องเก็บไว้ในที่แห้งและเย็น)

การเก็บรักษาข้าวโดยทั่วๆ ไป แบ่งออกเป็น 4 วิธีคือ

2.2.1 การเก็บในสภาพปกติไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Unconditioned storage) หมายถึง การเก็บข้าวไว้ในโรงเก็บปกติที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นวิธีที่นิยมอยู่เป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทยเพราะมีการลงทุนน้อยและเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่โอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษามีสูง เช่น การเก็บในโรงเก็บ ยุ้งฉางของเกษตรกร โรงสีหรือโกดังส่งออกข้าวขนาดใหญ่ ๆ แต่การเก็บรักษาโดยวิธีนี้จะต้องทำการลดความชื้นของข้าวเปลือกให้ต่ำกว่าร้อยละ 14

2.2.2 การเก็บในที่มีการควบคุมอุณหภูมิแต่ไม่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เช่น การเก็บข้าวไว้ในตู้แช่ ตู้เย็น หรือในไซโลเก็บข้าวที่มีการเป่าลมเย็น เป็นต้น

2.2.3 การเก็บในที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแต่ไม่ควบคุมอุณหภูมิได้แก่ การเก็บข้าวไว้ในภาชนะเก็บที่มิดชิดสามารถ ป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ (Hermetic condition) เช่น การเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในปี๊บสังกะสี (Sealed tin) ถุงโพลีเอทธิลีนที่มีความหนามากกว่า 700 gauge เป็นต้น การเก็บข้าวในภาชนะสภาพปิดแบบนี้ ความชื้นของข้าวจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะที่เก็บ ถ้าความชื้นของข้าวต่ำความชื้นสัมพัทธ์ในภาชนะบรรจุก็จะต่ำ ข้าวที่เก็บก็จะมีความเสียหายเกิดขึ้นน้อย ถ้าความชื้นของข้าวสูงความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สัมพัทธ์ของอากาศในภาชนะบรรจุก็จะสูง ข้าวที่เก็บก็จะเกิดความเสียหายสูง ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวด้วยวิธีนี้ความชื้นของข้าวก่อนเก็บต้องต่ำ แต่จะต่ำเท่าไรขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ต้องการการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม โดยปกติทั่ว ๆ ไป ต้องมีความชื้นไม่เกิน 10% วิธีนี้เป็นวิธีได้ผลดี และมีค่าใช้จ่ายต่ำสามารถใช้เก็บรักษาข้าวที่มีปริมาณน้อย ๆ จนถึงปริมาณมาก ๆ เป็น พัน ๆ ตัน

2.2.4 การเก็บในที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ วิธีนี้ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถป้องกันและลดความเสียหายของข้าวได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คงคุณภาพดีได้เป็นเวลานานหลาย ๆ สิบปี แต่วิธีนี้จะต้องมีการลงทุนสูงและเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูงมาก ส่วนใหญ่จึงนิยมใช้สำหรับงานวิจัยเป็นหลักโดยเฉพาะเพื่อการอนุรักษ์เชื้อพันธุ์พืชต่าง ๆ เช่น การเก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวต่าง ๆ ไว้ในธนาคารเชื้อพันธุ์ (Germplasm Bank) เพื่อการอนุรักษ์เชื้อพันธุ์ข้าวไว้ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ (เอกสงวน , 2544)

2.3 คุณภาพของเมล็ดข้าว

2.3.1 คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือ ชั่ง ตวง วัด ได้ เช่น สีของข้าว ขนาด รูปร่างของเมล็ด น้ำหนักของเมล็ดและคุณภาพการขัดสี นอกจากนี้ยังรวมถึงความชื้นของเมล็ดข้าวดังนั้นคุณภาพเมล็ดทางกายภาพส่วนใหญ่จึงนำมาใช้ประเมินราคาข้าวที่ซื้อขายกันในท้องตลาดโดยเฉพาะคุณภาพการขัดสีเป็นคุณภาพทางกายภาพที่สำคัญเนื่องจากผู้บริโภคนิยมข้าวที่ผ่านการสีเป็นข้าวสารที่มีการหักน้อย ในการสีข้าวจะได้แกลบร้อยละ 20-28 รำประมาณ 10% ส่วนที่เหลือคือข้าวสาร โดยในส่วนของข้าวสารประกอบด้วยข้าวเต็มเมล็ด (ข้าวที่มีความยาวมากกว่า 8/10 ของความยาวเมล็ด) และข้าวหัก ข้าวคุณภาพดีควรสีได้ข้าวสารมาก มีข้าวหักน้อย ปัจจัยที่ทำให้ข้าวหักในระหว่างการสี ได้แก่ ความยาวของเมล็ด เมล็ดบิดเบี้ยวหรือไม่สมบูรณ์ เมล็ดอ่อน การเกิดเมล็ดร้าวก่อนการสี รวมทั้งการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม เช่น การลดความชื้นของข้าวมีผลต่ออายุการเก็บรักษา ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ ข้าวจะเสื่อมคุณภาพเร็ว ดังนั้นมาตรฐานข้าวของแต่ละประเทศจึงได้กำหนดระดับความชื้นของข้าวไว้ โดยประเทศไทยกำหนดความชื้นไม่เกิน 14 % สำหรับประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นระดับความชื้นอาจสูงถึง 16%

2.3.2 คุณภาพทางเคมีหมายถึง คุณสมบัติและส่วนประกอบต่าง ๆ ของเมล็ดที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มโดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้น นุ่มเหนียวหรือร่วนขึ้นหม้อ และมีผลต่อการนำไปแปรรูปเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งคุณภาพของเมล็ดทางเคมีได้แก่ ชนิดและปริมาณของแป้ง (starch) โปรตีน ไขมันและกลิ่นหอม เป็นต้น (เอกสงวน , 2544)

2.4 สมบัติทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบเคมีในเมล็ดข้าวสารมีการรายงานไว้เป็นจำนวนมากและพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างหลากหลาย แสดงได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งความหลากหลายขององค์ประกอบเคมีนี้ ปัจจัยหลักคือพันธุ์ข้าวและสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเพาะปลูกรวมไปถึงการดูแลรักษาต้นข้าวขณะเจริญเติบโต นอกจากนี้เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ต่างกันก็ส่งผลให้องค์ประกอบเคมีของงานวิจัยแต่ละงานแตกต่างกัน อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้องค์ประกอบมีความหลากหลาย คือ ในกระบวนการกะเทาะเปลือกและขัดสี เป็นการยากที่จะให้ข้าวสารมีคุณภาพการขัดสีที่เท่ากัน ข้าวมีความแตกต่างกันทั้งความแกร่งของเมล็ด ขนาดและรูปร่าง พบว่าบางส่วนของคัพภะก็ไม่สามารถขจัดออกอย่างสมบูรณ์โดยการขัดสี (ชนินันท์,2542)

องค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (nonstarch constituents) ซึ่งได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้าของข้าวกล้องมีปริมาณสูงกว่าข้าวสาร เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีอยู่ในชั้นเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดในปริมาณสูงกว่าในส่วนเนื้อเมล็ด พิจารณาได้จากตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของข้าวกล้องและข้าวสารที่รวบรวมจากรายงานการวิจัย

โปรตีน %(N x 5.95)	ไขมัน (%wb)	เส้นใย (%wb)	เถ้า (%wb)	NFE* (%wb)	รายงานวิจัยของ
		ข้าวกล้อง			
7.2 – 10.8	0.6 – 3.1	0.2 – 1.9	0.5 – 2.1	85.2 – 90.2	Hirohata และ Chen (1959)
7.1 – 13.1	2.4 – 3.9	0.8 – 2.6	1.5 – 2.1	79.4 – 88.0	Juliano และ คณะ (1964)
		ข้าวสาร			
6.5 – 9.6	0.3 – 1.1	0.4 – 1.0	0.5 – 1.9	86.9 – 89.8	Hirohata และ Chen (1959)
6.5 – 13.3	0.3 – 0.6	0.1 – 0.6	0.4 – 0.7	86.2 – 92.6	Juliano และ คณะ (1964)

*Nitrogen-free extract หรือปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการคำนวณโดยหักลบ

ที่มา: ชนินันท์(2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

พันธุ์	ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งแห้ง						
	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	อะมัยโลส	อะมัยโลเพคติน
ข้าวเจ้า							
ก.วก.1	7.67	1.41	0.67	0.50	89.76	18.50	81.50
ขาวดอกมะลิ105	7.85	2.21	0.56	0.28	89.10	18.70	81.30
ชัยนาท1	8.55	2.63	0.33	0.36	88.13	29.64	70.36
ข้าวเหนียว							
กำดอยสะเก็ด	10.17	1.07	0.44	0.59	87.73	5.25	94.75
เหนียวสันป่าตอง	8.29	0.89	0.59	0.32	89.91	3.70	96.30

ที่มา : ชนินันท์(2542)

2.4.1 แป้ง

เม็ดแป้งในเมล็ดข้าวประกอบด้วยอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินโดยอะมัยโลสมีหน่วยของน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α- 1,4 glycosidic ในขณะที่อะมัยโลเพคตินมีน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันเป็นโซ่แขนงด้วยพันธะ α- 1,4 และ 1,6 glycosidic จึงทำให้อะมัยโลเพคตินมีโครงสร้างของโมเลกุลที่แยกออกเป็นกิ่ง ข้าวที่มีอะมัยโลสสูงจะดูดน้ำและขยายปริมาตรในการหุงต้มได้ดีกว่าข้าวอะมัยโลสต่ำมีผลทำให้ข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มากหรือเรียกว่าหุงขึ้นหม้อ ดังนั้นสัดส่วนระหว่างอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินมีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม (ละมุล ,2541) กล่าวคือ อะมัยโลเปคตินทำให้ข้าวสุกเหนียวในขณะที่อะมัยโลสทำให้ความเหนียวของข้าวสุกลดลง เช่น ข้าวเหนียวมีอะมัยโลเปคตินสูงหรือมีอะมัยโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อยข้าวสุกจึงเหนียว ส่วนข้าวสารที่มีอะมัยโลสสูงข้าวสุกมักร่วนและแข็งกว่าอะมัยโลสปานกลางและต่ำตามลำดับ (พัสกร, 2546)

ในการที่ผู้บริโภคตัดสินใจเลือกซื้อซึ่งแตกต่างกันในแต่ละประเทศ เช่น ประชาชนในประเทศญี่ปุ่นและเกาหลีนิยมรับประทานข้าวเหนียวนิ่มหรือพันธุ์ที่มีอะมัยโลเพคตินต่ำ ประชาชนในประเทศไทย ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย และอินโดนีเซียนิยมรับประทานข้าวที่มีความแข็งปานกลางหรือมีอะมัยโลสประมาณ 20% และในประเทศศรีลังกาและอินเดียนิยมรับประทานข้าวที่ค่อนข้างแข็งหรือปริมาณอะมัยโลสสูงเป็นต้น ปริมาณอะมัยโลสมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการขยายปริมาตรและการดูดน้ำในระหว่างการหุงต้มและมีความสัมพันธ์ทางลบกับความนุ่มและความเหนียวของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวสุก โดยที่ข้าวที่มีปริมาณอะมัยโลสเท่ากันหรือใกล้เคียงกันคุณภาพในด้านความนุ่มแตกต่างกัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าความคงตัวของข้าวสุก (gel consistency) ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อนจะนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกแข็ง (ละมุล, 2541)

การจัดแบ่งชนิดข้าวตามปริมาณอะมัยโลส สามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งข้าวตามปริมาณอะมัยโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะมัยโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก	ชนิดข้าวที่รู้จักกันทั่วไป
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก	ข้าวเหนียว
ข้าวอะมัยโลสต่ำ	10-20	เหนียวนุ่ม	ข้าวหอมมะลิ
ข้าวอะมัยโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง	ข้าวขาวตาแห้ง
ข้าวอะมัยโลสสูง	25-34	ร่วนแข็ง	ข้าวเสาไห้

ที่มา: งามชื่น (2547)

งานวิจัยหลายงานพบว่าปริมาณอะมัยโลสขึ้นกับสายพันธุ์ของพืชรวมทั้งภูมิอากาศและสภาพดินระหว่างที่พืชเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังพบว่าการปลูกข้าวในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงจะเพิ่มปริมาณอะมัยโลสในข้าว ขณะที่อุณหภูมิต่ำจะให้ผลตรงข้าม (ชนินันท์, 2542)

2.4.2 โปรตีน (protein)

โปรตีนพบอยู่บริเวณของเม็ดแป้งหรือฝังอยู่ภายในเม็ดแป้ง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งกับโปรตีนเกี่ยวข้องกับอะมัยโลสและโปรตีน waxy gene (60 kDa) โดยมีรายงานไว้ว่า แป้งข้าวเจ้าอินดิก้ามีปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งกับโปรตีนสูงกว่าข้าวเจ้าจาปอนิก้าที่มีปริมาณอะมัยโลสเท่ากัน ในข้าวสารมีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 6.3-7.1 (ตารางที่ 2.4) โดยมีผลต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานคือ ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลง ความนุ่ม ความเหนียวและความเลื่อมมันลดลง (ละมุล , 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มีการทดลองสกัดโปรตีนออกจากข้าวโดยใช้สารละลายถึง 18 ชนิด พบว่าไม่มีวิธีการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดใดดีเท่ากับการสกัดโดยใช้ด่าง (alkali extraction) เนื่องจากโปรตีนหลักในแป้งคือ โปรตีนกลูเตลินซึ่งละลายได้ดีในด่างและมีอยู่มากถึง 80%ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด แต่เนื่องจากโปรตีนเกาะเกี่ยวกับแป้งอย่างแน่นหนา ดังนั้นการสกัดโปรตีนออกให้เหลือน้อยกว่า 0.5% จึงเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก นอกจากนี้มีการศึกษาสมบัติของโปรตีนภายในข้าวพบว่าโปรตีนมีลักษณะคล้ายโปรตีนถั่วเหลืองโดยข้าวมีโปรตีนประมาณ 8% ขององค์ประกอบทั้งหมดในเนื้อเมล็ด ทั้งยังพบว่าโปรตีนข้าวเป็นโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ (hypoallergenicity protein) จึงสามารถนำข้าวมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ได้ เช่น ในสูตรอาหารเด็กอ่อน หรือในแป้งที่ใช้สำหรับทาผิว (ชนินันท์,2542)

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวเปลือกและส่วนต่าง ๆ ของข้าวที่ความชื้นร้อยละ 14

ส่วนต่าง ๆ ของข้าว	โปรตีน (Nx5.95 กรัม)	ไขมัน (กรัม)	เถ้า (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)
ข้าวเปลือก	5.8 – 7.7	1.5 – 2.3	2.9 – 5.2	64 – 73	378
ข้าวกล้อง	7.1 – 8.3	1.6 – 2.8	1.0 – 1.5	73 – 87	363 – 385
ข้าวสาร	6.3 – 7.1	0.3 – 0.5	0.3 – 0.8	77 – 89	349 – 373
รำข้าว	11.3 – 14.9	15.0 – 19.7	6.6 – 9.9	34 – 62	399 – 476
เปลือกข้าว	2.0 – 2.8	0.3 – 0.8	13.2 – 21.0	22 - 34	265 - 332

ที่มา : Juliano (1985)

6.3 ไขมัน (lipid)

ไขมันภายในเมล็ดจะเป็นหยดกลม (lipid droplets) พบอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ อยู่ร่วมกับโปรตีนโดยแทรกอยู่ในชั้นแอลิวโรนหรืออยู่บริเวณผิวเม็ดแป้งหรือขอบของเม็ดแป้ง ซึ่งเรียกไขมันพวกนี้ว่า “non-starch lipid หรือ surface lipid” นอกจากนี้ยังพบไขมันภายในเม็ดสตาร์ชโดยจะเชื่อมพันธะอยู่กับโมเลกุลของอะมัยโลสและพบไขมันอยู่อย่างอิสระภายในโมเลกุลแป้งซึ่งไขมันพวกนี้ถูกเรียกว่า “starch lipid หรือ internal lipid” (Chrastil, 1994) ไขมันเป็นองค์ประกอบที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อยู่เล็กน้อยคือ มีประมาณร้อยละ 1.6-2.8 และ 0.3-0.5 ในข้าวกล้องและข้าวสารตามลำดับ (ละมุล , 2541) ดังตารางที่ 2.4

สำหรับในส่วนเนื้อเมล็ดจะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีนและในเม็ดแป้งจะมีไขมันที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น (bound lipid) เมื่อนำไขมันที่สกัดจากส่วนต่าง ๆ มาวิเคราะห์องค์ประกอบและชนิดของไขมันพบว่าเป็นพวก neutral lipid 82-91% (ไตรกลีเซอร์ไรด์ 73-82% กรดไขมันอิสระ 13-17% และ acyl sterol glycoside 2-4%) ฟอสโฟไลปิดร้อยละ 7-10 และ glycolipids ร้อยละ 2-8 มีรายงานว่าการสกัดไขมันในเมล็ดข้าวมีผลต่อความนุ่มของแป้งข้าว คือแป้งที่สกัดไขมันออกจะมีความนุ่มกว่าแป้งข้าวที่ไม่ได้สกัดไขมัน สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมัน มีกรดปาลมิติก กรดโอเลอิกและกรดไลโนเลอิกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (ละมุล, 2541)

2.5 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

การเก็บรักษาข้าวเป็นขั้นตอนปกติในระหว่างการเก็บเกี่ยวจนถึงการบริโภค ในสหรัฐอเมริกาการเก็บรักษาข้าวนั้นทำเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าว เช่น stickiness โดยหลังจากการหุงต้มแล้วเปลี่ยนจากเหนียวไปเป็นค่อนข้างร่วน ซึ่งในการเก็บรักษานั้นจะมีอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและระยะเวลาการเก็บรักษา ตั้งแต่ 10 – 35 ^{o}C , 10 – 15 % และ 2 – 24 เดือน ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงนั้นอาจเกิดขึ้นตั้งแต่หลังจากการเก็บเกี่ยวแต่โดยส่วนใหญ่แล้ว การเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพจะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (Chrastil, 1994)

ข้าวเก่าและข้าวใหม่มีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกันซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยวอย่างน้อย 3-4 เดือน เมื่อเก็บรักษาในที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงเป็นข้าวเก่าเกิดเนื่องจาก 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมันและโปรตีน ดังรูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงแป้งและโปรตีนในเมล็ดข้าวส่งผลให้มีการปรับสภาพการละลายและการเกิดเจลให้มีความคงตัวและละลายในน้ำได้น้อยลง มีผลให้ข้าวเก่าต้องการน้ำในการหุงต้มมากกว่าข้าวใหม่ ลักษณะข้าวสุกจะแข็งและร่วนมากกว่าข้าวใหม่ แต่ปริมาณน้ำตาลที่สามารถถูกรีดิวซ์และกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (ละมุล , 2541) ข้าวที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยเมล็ดแป้งจะเกิดการจับกันแข็งแรงขึ้นและกรดไขมันอิสระที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของไขมันจะจับกับอะมัยโลสมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนไปและไฮโดร-เปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนออกซิเดชันของไขมันไปมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารระเหยพวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

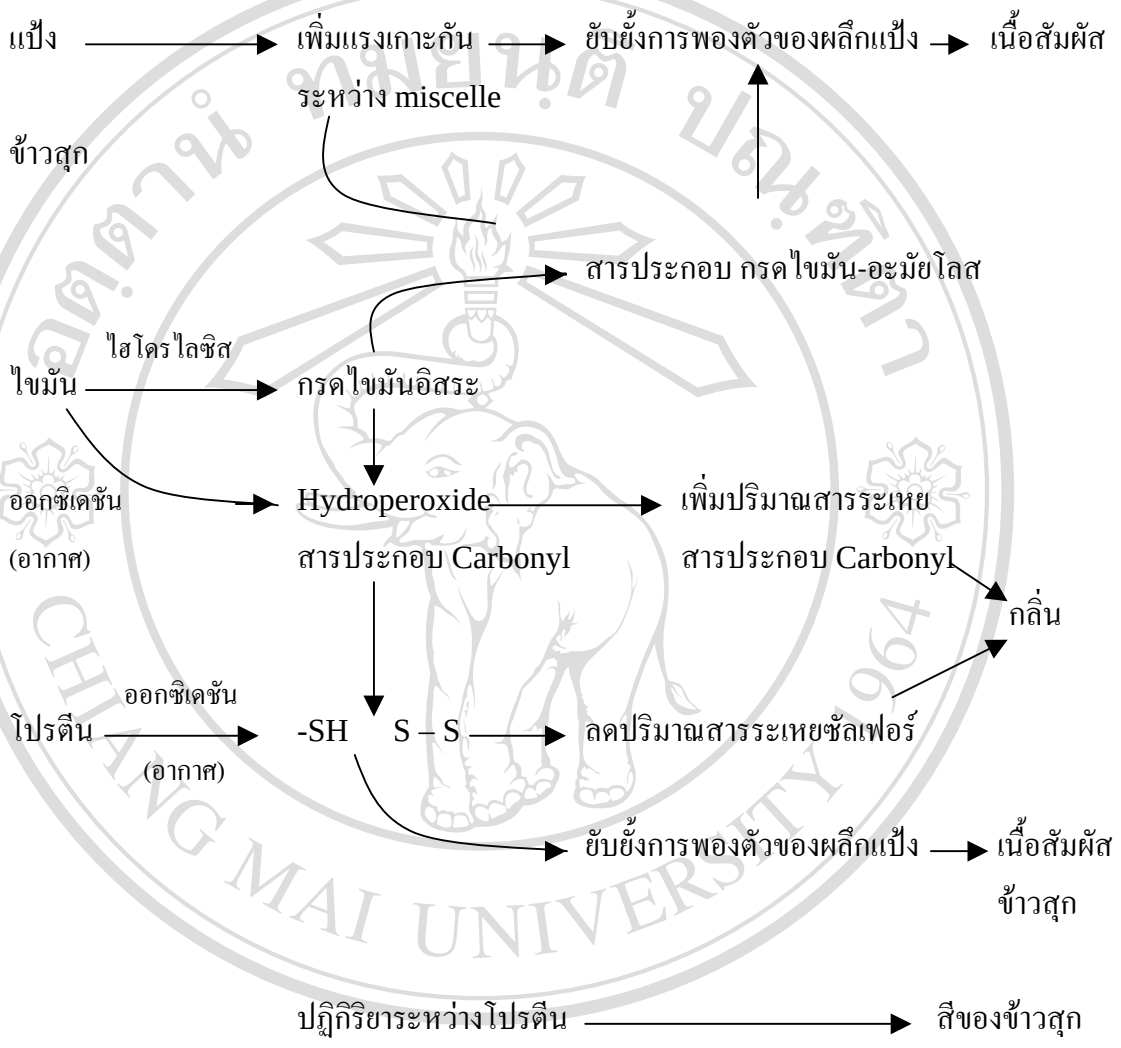
สารประกอบคาร์บอนิลและสามารถเร่งการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนได้ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นของข้าวที่อยู่ในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้กระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนยังมีผลทำให้โครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งลดลง ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน (พัสกร , 2546)

Juliano(1985) รายงานว่าหลังจากเก็บรักษาเมล็ดข้าวเป็นเวลา 1 ปี พบว่าการเก็บรักษาข้าวในสภาพบรรยากาศ ปกติที่อุณหภูมิ 2 และ 20 องศาเซลเซียส สีของเมล็ดข้าวสารเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เมล็ดข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะเกิดสีเหลืองและนอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดข้าวสารสามารถเร่งให้เป็นข้าวเก่าได้ โดยเพิ่มความร้อนข้าวสารให้สูงถึง 110 องศาเซลเซียสในภาชนะปิดสนิทโดยไม่ให้ความชื้นสูญหายไปด้วยการเป่าลมร้อน 150 – 250 องศาเซลเซียสชั่วครู่ หรือแช่เมล็ดข้าวสาร 2 วันในน้ำมันดอกทานตะวันที่ 60 องศาเซลเซียสจะช่วยให้ความเหนียวของข้าวลดลง

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวจะเปลี่ยนแปลงในระหว่าง 3 – 4 เดือนแรกของการเก็บรักษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิมากกว่า 15°C ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น กลิ่นหอมของข้าวจะหายไป ข้าวจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของต้นข้าวและการลดลงของโปรตีนและเม็ดแป้งที่ละลายน้ำ รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Mutters , 2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบ	การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา	ผลต่อการหุงต้ม	ผลทางด้านประสาทสัมผัส



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวในระหว่างการเก็บรักษา (Pomeranz ,1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)

ในระหว่างการเก็บรักษา น้ำตาลรีดิวซ์(มอลโตส)มีปริมาณเพิ่มขึ้นและน้ำตาลนอนรีดิวซ์ (ซูโครส) มีปริมาณน้อยลง ดังพิจารณาได้จากตารางที่ 2.5 การลดลงของคาร์โบไฮเดรตไปเป็น CO_2 นั้นโดยปกติมีปริมาณน้อยมาก แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นมากกว่า 14% และอุณหภูมิในการเก็บรักษามีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรตอิสระ การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Mailard's browning)ระหว่าง คาร์โบไฮเดรตและกรดอะมิโนอิสระนั้นมีบทบาทสำคัญในการเกิด CO_2 (Chrastil, 1994)

ตารางที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของข้าวสาร ระหว่างการเก็บรักษาแบบ Airtight

การสี (%)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (^oC)	น้ำตาลรีดิวซ์ (g maltose/100 g rice d.b)	
			ก่อนเก็บรักษา	หลังจาก 5 เดือน
7.7	15.6	-20	0.15	0.16
7.7	15.6	+5	0.15	0.19
7.7	15.6	+25	0.15	0.42
7.7	15.6	+35	0.15	0.47
7.7	13.7	+35	0.14	0.36
7.7	12.9	+35	0.14	0.22
12.0	15.5	-20	0.08	0.10
12.0	15.5	+5	0.08	0.11
12.0	15.5	+25	0.08	0.20
12.0	15.5	+35	0.08	0.17

ที่มา : Chrastil, 1994

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Ohtsubo (2000) ได้รายงานว่าแป้งซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของข้าวจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเดกซ์ทรินและมอลโตสโดยเอนไซม์อะมัยเลสซึ่งเป็นผลให้เพิ่มปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ แต่การ

เปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์นี้จะไม่เด่นชัดถ้าความชื้นของข้าวมีประมาณ 14 – 15 % และที่อุณหภูมิต่ำ การเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกกระตุ้นเมื่อความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในข้าวที่ถูกเก็บรักษา

เวลาการเก็บรักษา (วัน)	70°F (21 °C) ความชื้นโดยเฉลี่ย (%)		90°F (32 °C) ความชื้นโดยเฉลี่ย (%)	
	13.8	15.5	13.7	15.7
0	0.10	0.11	0.10	0.11
33	0.07	0.08	0.08	0.08
69	0.08	0.10	0.09	0.09
90	0.07	0.11	0.10	0.12
125	0.10	0.12	0.11	0.14
153	0.10	0.10	0.09	0.17
185	0.08	0.11	0.10	0.18
215	0.08	0.11	0.11	0.19

ที่มา : Chrastil, 1994

2.5.2 แป้ง (starch)

แป้งในเมล็ดข้าวนั้นโดยส่วนใหญ่มีมากในเนื้อเมล็ด (endosperm) ปริมาณแป้งทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าคุณสมบัติของแป้งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลและส่วนประกอบของแป้ง(อะมัยโลสและอะมัยโลเปคติน) ถึงแม้ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ก็เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างการเก็บรักษาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของแป้งนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่อุณหภูมิสูง (25 – 40 °C) จากการที่น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของแป้งเพิ่มขึ้นนั้นมีสาเหตุหลักมาจากน้ำหนักโมเลกุลของอะมัยโลเปคตินเพิ่มขึ้นส่วนน้ำหนักโมเลกุลของอะมัยโลสลดลงเล็กน้อย ดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำหนักโมเลกุลแป้งนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าวและสภาวะในการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยนี้อาจจะเป็นผลมาจากการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สังเคราะห์หรือการลดลงของแป้งภายในเมล็ดจากเอนไซม์ amylase , Q-enzyme , R-enzyme และอื่น ๆ (Chrastil, 1994)

Zhou *et al*. (2002) ได้รายงานว่า ปริมาณอะมัยโลสนั้นมีความสำคัญมากในการบ่งบอกถึงคุณภาพของข้าวที่หุงแล้วซึ่งปริมาณอะมัยโลสนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงกับการดูดซึมน้ำ (water absorption) การขยายตัว ความนุ่ม และความร่วนของข้าวที่หุงแล้ว โดยเป็นส่วนกลับกับ cohesiveness โดยปริมาณของอะมัยโลสส่วนที่ไม่ละลายน้ำนั้นสามารถคำนวณได้จากปริมาณอะมัยโลสทั้งหมดและ ปริมาณอะมัยโลสที่ละลายน้ำที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C เพื่อใช้ในการพิจารณาคุณภาพของข้าว และปริมาณอะมัยโลสที่ละลายในน้ำที่ใช้หุงข้าวก็สามารถใช้ประเมินคุณภาพของข้าวที่หุงแล้วซึ่งวิธีที่หาปริมาณอะมัยโลสที่ละลายน้ำนั้นมีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากกว่าในการบ่งบอกถึงความแตกต่างในคุณภาพของข้าวโดยปริมาณที่สกัดออกมาได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณอะมัยโลสทั้งหมดถ้าอยู่ในช่วง 18.4 – 25.5 % นั้นจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี

2.5.3 โปรตีน (protein)

ถึงแม้ว่าโปรตีนจะมีอยู่มากในชั้นนอกสุดของเมล็ดข้าว (ชั้น aleurone และรำข้าว) แต่โปรตีนก็มีในเนื้อเมล็ดข้าวสาร (endosperm) ปริมาณมากอย่างมีนัยสำคัญด้วยเช่นกัน (พิจารณาจากตารางที่ 2.7) ในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณโปรตีนทั้งหมดนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่อย่างไรก็ตามสมบัติทางเคมีและเคมีกายภาพของโปรตีน (โดยเฉพาะโปรตีนกลูเตลินที่มีมากถึง 80-90 % ของโปรตีนทั้งหมด) นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ในระหว่างการเก็บรักษาสัดส่วนของอัลบูมินต่อโกลบูลินต่อโปรลามินต่อกลูเตลิน นั้นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยเฉพาะอุณหภูมิการเก็บที่สูงขึ้นและมีการลดลงของกรดอะมิโนอีกด้วย กรดอะมิโนอิสระและคาร์โบไฮเดรตนั้นเกี่ยวข้องกับการเกิด Maillard's nonenzymic browning โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวในระหว่างการเก็บรักษา ดังรูปที่ 2.3 (Chrastil, 1994)

Ohtsubo (2000) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงโปรตีนค่อนข้างคงที่ โดยโปรตีนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นโพลีเปบไทด์ (polypeptide) แล้วสุดท้ายจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนโดยเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) นอกเหนือจากนี้ก็จะเกิดการเสียสภาพของโปรตีนในระหว่างการเก็บรักษาด้วย

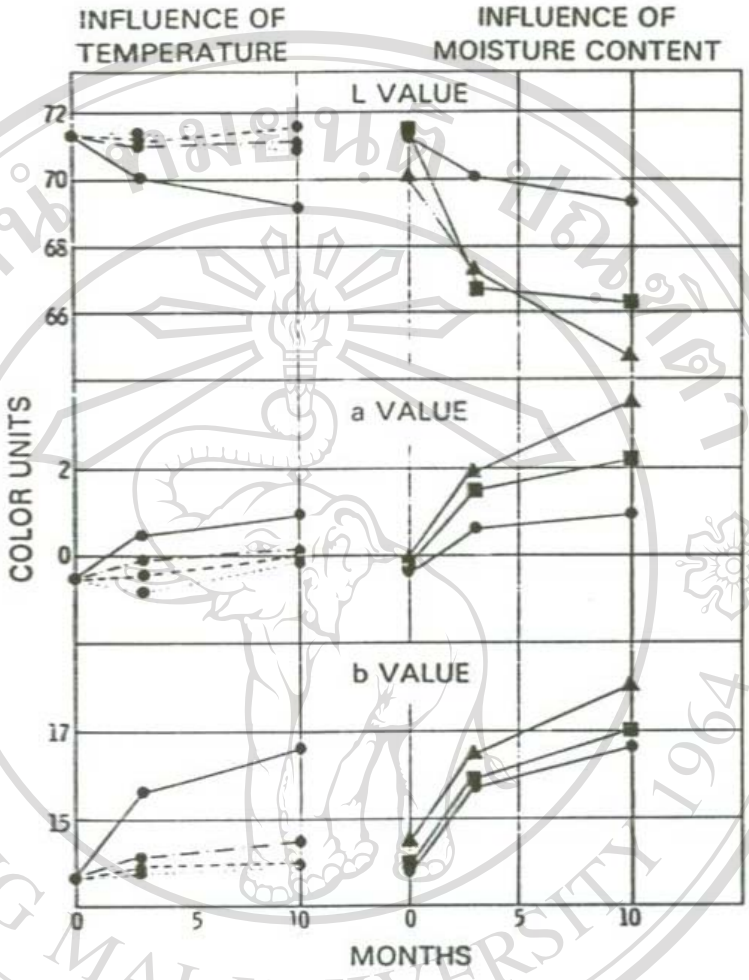
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบทางเคมีของข้าวสารในชั้น Outer layer , Nucleus , Entire kernel

องค์ประกอบ	หน่วย	Outer layer	Nucleus	Entire kernel
Starch	%	61.86	92.00	90.68
Amylose	%	16.12	29.85	29.46
Reducing sugars	g maltose/100 g rice	0.50	0.07	0.12
Nonreducing sugars	%	2.42	0.11	0.26
Total sugars	%	2.92	0.18	0.38
Protein N	g N/100 g rice	2.49	1.25	1.37
Albumin	g (Nx5.95) /100 g rice	1.75	0.29	0.30
Globulin	g (Nx5.95) /100 g rice	1.12	0.60	0.67
Prolamin	g (Nx5.95) /100 g rice	0.72	0.22	0.25
Glutelin	g (Nx5.95) /100 g rice	7.93	5.05	5.25
Free amino N	mg/100g	25.11	2.55	3.40
Protease	hemoglobin units/grice	6.0	0.6	0.9
Total lipids	%	4.44	0.45	0.66
Free fatty acids	mg/100g	1.34	0.15	0.21
Ash	%	6.10	0.45	0.72

ที่มา : Chrastil (1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงสีในข้าวสารในระหว่างการเก็บรักษา. เก็บรักษาที (…..) –20°C , (----) +5 °C and (—) +35°C ตามลำดับ ; (●) 12.9 , (■) 13.7 และ (▲) 15.6 % ความชื้น . L,a,b = color parameter (Chrastil, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4 ไขมัน (lipid)

ไขมันส่วนใหญ่ในเมล็ดข้าวมีอยู่มากในชั้นนอกสุดของเมล็ด (ชั้น aleurone หรือ รำข้าว) ในระหว่างขั้นตอน aging ไขมันและ/หรือ ฟอสโฟไลปิด(phospholipid) จะถูกไฮโดรไลซ์และ/หรือออกซิไดซ์เป็นกรดไขมันอิสระ และ/หรือ เปอร์ออกซิไดซ์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และทำให้ความเป็นหืนเพิ่มขึ้นโดยมีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเช่น ไลเปส (lipase) ไลโปซิเดส (lipoxidase) เอสเทอเรส(esterase) ฟอสโฟไลเปส (phospholipase) และ/หรือ ฟอสฟาเทส (phosphatase)

ตัวกลางในกระบวนการออกซิเดชันไขมันคือ organic peroxides โดยได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นแอลดีไฮด์ คีโตน กรดคีโต หรือกรดคาร์บอกซิลิกโดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นมากในชั้นนอกสุด (ชั้น aleurone หรือ รำข้าว) เพราะในชั้นนี้มีไขมันมากที่สุด ในเมล็ดข้าวที่ถูกขัดสีอย่างดีนั้นมีไขมันในปริมาณน้อย ปฏิกิริยานี้จึงมีความสำคัญน้อยมาก ในระหว่างการเก็บรักษากรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นพิจารณาจากตารางที่ 2.8 เนื่องจากฟอสโฟไลปิด(phospholipid) จะถูกแยกส่วนไปเป็น กรดฟอสฟาทิดิก (phosphatidic acid) เกือบทั้งหมด (Chrastil, 1994)

ตารางที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันและสัดส่วนไขมัน ของข้าวสารในระหว่างการเก็บรักษาแบบ Airtight โดยเปรียบเทียบในชั้น Outer layer , Nucleus และ Entire Kernel

สภาวะการเก็บรักษา		กรดไขมันอิสระ (% d.b.)		
ความชื้น (% d.b.)	อุณหภูมิ (^oC)	Outer layer	Residual nucleus	Entire Kernel
13.0	+5	1.32	0.16	0.20
13.0	+25	1.61	0.22	0.29
13.0	+35	2.14	0.28	0.38
14.3	+25	2.30	0.25	0.36
15.7	+25	-	-	0.45
Original sample		1.34	0.15	0.21

ที่มา : Chrastil (1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากข้าวกล้องมีปริมาณไขมันและเอนไซม์ lipolytic ค่อนข้างมาก ไขมันในรำข้าวจึงลดลงในระหว่างการเก็บรักษาอย่างรวดเร็ว โดยปกติแล้วรำข้าวนำมาใช้ประโยชน์สำหรับเป็นอาหารสัตว์หรือนำมาสกัดน้ำมันจึงมีวิธีที่จะเพื่อชะลอการลดลงของไขมันหลายวิธีโดยวิธีส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ความร้อนหรือสารเคมีที่ทำให้โปรตีนเสียสภาพ (จากตารางที่ 2.9) การลดปริมาณความชื้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

ตารางที่ 2.9 คุณลักษณะของข้าวกล้องถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C หลังจากการให้ความร้อน

Treatment time (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	กรดไขมันอิสระ (%)	
		หลังจาก 25 วัน	หลังจาก 50 วัน
None	-	54	85
1	70	18	25
3	70	6	8
1	85	25	36
3	85	4	5
1	100	5	8
3	100	4	4
1	110	4	7
3	110	4	4

ที่มา : Chrastil, 1994

การเสื่อมสภาพของไขมันเกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ โดยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) จากเอนไซม์ไลเปสซึ่งมีอยู่ในเมล็ดและกระบวนการออกซิเดชันจากเอนไซม์ไลโปซิเดส (lipoxidase) หรือจากการที่มีออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยาด้วยตนเอง ในสภาพปกติไขมันกับเอนไซม์ที่มีอยู่ในเมล็ดจะอยู่คนละส่วนซึ่งจะไม่เข้าทำปฏิกิริยากันได้ง่าย ในข้าวจะมีเอนไซม์ไลเปสในเปลือกหุ้มเมล็ดแต่ไขมันจะสะสมในชั้นอะลูโรน เอมบริโอ และเนื้อเมล็ด ดังนั้นถ้าเก็บเมล็ดในสภาพที่ดีจะเกิดการเสื่อมเสียยาก แต่ถ้ามีเหตุให้เมล็ดเสียหายเกิดรอยแผล เช่น การขัดสีหรือการบดให้เป็นแป้งจะมีผลให้เอนไซม์ทำปฏิกิริยากับไขมันเกิดเป็นสารกลีเซอรอลและกรดไข

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มันอิสระซึ่งต่อไปจะก่อให้เกิดสารที่ให้กลิ่นหืนได้ มีรายงานว่าการย่อยสลายไขมันภายในเมล็ดข้าวทำให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนในเมล็ดข้าวได้ (Chrastil, 1994)

Piggott *et al.*(1991) ทำการเก็บรักษาข้าวไว้ที่อุณหภูมิ –20 และ 30 ^{o}C เป็นระยะเวลา 9 เดือน พบว่าข้าวที่ผ่านการขัดสีไม่ดีและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 ^{o}C มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าข้าวที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ –20 ^{o}C นอกจากนี้ข้าวกล้องที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีน และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 35 ^{o}C เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 1.30% เป็น 4.08% และ 9.04% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิสของไขมันในข้าวกล้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเก็บรักษา

Ramarathnam (1983) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดของกรดไขมันในข้าว 10 พันธุ์ ระหว่างการเก็บรักษาข้าวกล้องที่อุณหภูมิห้องของ พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 120 วัน กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในข้าวได้แก่กรดไลโนเลอิกมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่กรดโอเลอิก ไลโนเลอิก และปาลมิติกกลับมีปริมาณลดลง ในขณะที่ปริมาณไขมันในข้าวกล้องทั้ง 10 พันธุ์ไม่เปลี่ยนแปลง ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (เมษายน – กันยายน) พบว่ากรดโอเลอิกมีปริมาณสูงกว่ากรดไลโน-เลอิก เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาข้าวที่ความชื้นสูงทำให้การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นมีผลให้กรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น (อ้างโดยละมุล, 2541)

Ohtsubo (2000) รายงานว่าในระหว่างการเก็บรักษาข้าวจะเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันและการหายใจ มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าว โดยเอนไซม์จะทำให้ปริมาณแป้ง โปรตีนและไขมันลดลง ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะถูกกระตุ้นจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมากที่สุดในระหว่างการเก็บรักษาข้าวนั้นเกิดจากเอนไซม์ไลเปสที่เปลี่ยนไขมันไปเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล กรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นและอุณหภูมิของข้าวเพิ่มขึ้น ยิ่งเก็บนานปริมาณกรดไขมันอิสระจะยิ่งเพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวมีกลิ่นและรสชาติต่างจากข้าวใหม่ ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความเก่า – ใหม่ของข้าวได้

ละมุล (2541) ได้รายงานว่าปริมาณไขมันทั้งหมดของข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาไว้ในถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีนหนา 70 ไมโครเมตร เป็นเวลา 7 เดือน ที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C และ 37 ^{o}C นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่ปริมาณกรดไขมันอิสระทั้งหมดในข้าวกล้องมีค่าลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C มีค่าสูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 ^{o}C

Zhou *et al*. (2002) รายงานว่าโดยปกติแล้วไขมันในข้าวอยู่ในสเฟียโรโซม (spherosome) อย่างมีเสถียรภาพภายในเซลล์แต่เมื่อเนื้อเยื่อไขมันถูกทำลายโดยฟอสโฟไลเปส ความเสียหายทางกายภาพหรืออุณหภูมิสูง ยกตัวอย่างเช่นปริมาณไขมันในข้าวกล้องจะคงที่ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือนที่อุณหภูมิ 5 ^{o}C แต่จะลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่ 35 ^{o}C และมีการศึกษาอื่น ๆ อีกว่า อุณหภูมิและแสงนั้นมีความสำคัญต่อการลดลงของไตรกลีเซอร์ไรด์ในระหว่างการเก็บรักษาข้าวสาร

2.6 คุณภาพของข้าวหุง

ถึงแม้จะเชื่อกันว่าคุณภาพการหุงและคุณภาพรับประทานของข้าวจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของแป้งในเมล็ดข้าวแต่โปรตีนในข้าวก็มีบทบาทไม่น้อยต่อคุณภาพของข้าวเช่นเดียวกัน การศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณโปรตีนทั้งหมดนั้นมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความอ่อนนุ่ม (tenderness) และ การยึดเกาะติดกัน (cohesiveness) ของข้าวหุง (Chrastil, 1994)

องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อสัมผัสของข้าวหุงนั้นยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างแน่ชัดแต่โดยทั่วไปคาดว่าส่วนประกอบของอะมัยโลสจะถูกชะออกจากเม็ดแป้งในระหว่างการเกิดเจลลาติไนซ์ (gelatinization) ซึ่งเป็นผลกระทบหลักต่อลักษณะสัมผัสของข้าวหุง เนื่องจากความอ่อนนุ่มของข้าวนั้นสัมพันธ์กับพันธะไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังมีรายงานในปี 1960 ว่ามีส่วนประกอบในเมล็ดข้าวอื่น ๆ อีกนอกเหนือจากแป้ง (starch) ที่มีผลกระทบต่อ ค่า cohesiveness ของข้าวหุง แป้งนั้นมีความสามารถพองตัวได้ถึง 64 เท่าของปริมาตรแต่ข้าวหุงจะไม่สามารถพองตัวได้ถึงขนาดนี้เนื่องจากมีโปรตีนที่ห่อหุ้มเม็ดแป้งและผนังเซลล์ (Chrastil, 1994)

นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าปริมาณโปรตีนโดยเฉพาะในส่วนรอบนอกของเมล็ดมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของข้าวหุงโดยเนื้อสัมผัสของข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงนั้นมีแนวโน้มที่เหนียวกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ มีการศึกษาโดยทดสอบข้าว 3 พันธุ์ซึ่งแต่ละพันธุ์มีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันแล้วสังเกตจากคะแนนการชิมของรสชาติ (flavor) ความอ่อนนุ่ม (terderness)และการยึดเกาะติดกัน (cohesiveness) ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำจะมีคะแนนของรสชาติ (flavor) ความอ่อนนุ่ม (terderness) และการยึดเกาะติดกัน (cohesiveness) มากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่อย่างไรก็ตามปริมาณโปรตีนก็ไม่สามารถนำมาใช้แยกความแตกต่างลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างพันธุ์ได้ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยปริมาณอะมัยโลส (Chrastil, 1994)

เวลาในการหุงนั้นมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณโปรตีน ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงนั้นยังมีการดูดซึมน้ำ (water adsorption) ที่น้อยกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำเนื่องจากว่าข้าวที่มีโปรตีนมากจะสร้างผนังหนารอบเม็ดแป้ง จึงทำให้เม็ดแป้งดูดน้ำได้ช้าลง (Chrastil, 1994)

งามชื่น (2540) ได้รายงานว่าจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเมล็ดข้าวขาวดอกมะลิ 105 กข 23 และ ชัยนาท 1 มีปริมาณอะมัยโลส 15.0% , 22.8 %และ 26.7% ตามลำดับ เมื่อหุงต้มข้าวโดยใส่น้ำอัตราส่วนต่าง ๆ และประเมินคุณภาพข้าวสุกโดยวิธีประสาทสัมผัสและให้คะแนนตามความชอบโดยบุคคลทั่วไปจำนวน 35 – 40 คน พบว่า อัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่เหมาะสมสำหรับหุงต้มข้าวทั้ง 3 พันธุ์ คือ 1.7-1.9 , 1.9 และ 2.7 โดยน้ำหนักตามลำดับ เมื่อทำการผสมข้าวของพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 กับพันธุ์ กข 23 หรือ ชัยนาท ในอัตราส่วน 10 , 20 , 30 , 40 , 50 , 60 , 70 , 80 และ 90 % พบว่าปริมาณการผสมทำให้อัตราส่วนน้ำต่อข้าวที่เหมาะสมในการหุงต้มข้าวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวที่นำมาผสม การหุงต้มข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะได้ข้าวสุกที่มีกลิ่นหอมระหว่างระดับหอมปานกลางถึงค่อนข้างมาก การเพิ่มอัตราส่วนการผสมข้าว กข 23 และชัยนาท 1 ทำให้กลิ่นหอมลดลง และหากอัตราการผสมมากกว่า 50 % กลิ่นหอมของข้าวสุกจะอยู่ในระดับกลิ่นหอมอ่อนมากหรือไม่หอม นอกจากนี้อัตราการผสมข้าวชัยนาท 1 ยังทำให้ความนุ่มของข้าวสุกลดลงอย่างเด่นชัดกว่าการผสมข้าว กข 23 เพื่อให้ได้ปริมาณอะมัยโลสอยู่ในระดับไม่เกิน 19 % อาจผสมข้าวกข 23 ได้ 50% ในขณะที่ผสมข้าวชัยนาท 1 ได้ 30 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved