หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

<u>ลักษณะทั่วไปของข้าว</u>

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าจัดอยู่ใน genus *Oryza* สามารถเจริญเติบโตได้ดี ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่นโดยแบ่งออกเป็น 23 species ได้แก่ข้าวป่า (wide rice) 21 species ส่วนอีก 2 species คือ *Oryza sativa* และ *Oryza glaberrima* เป็นข้าวที่ใช้ปลูกเป็นอาหาร ข้าวที่ผลิตและขายกันในปัจจุบันเป็น *O.sativa* เกือบทั้งหมด ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 subspecies (Matz, 1959) คือ

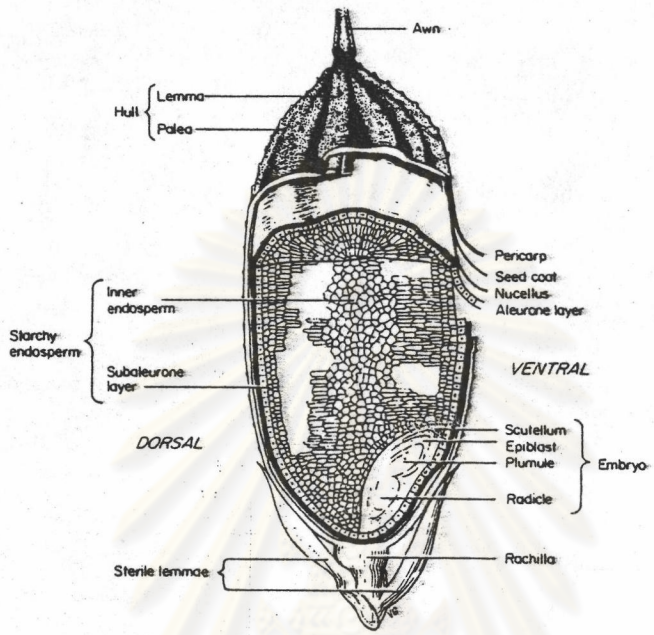
1. ข้าว indica มีเมล็ดยาวเรียวให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำแต่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ง่าย พบปลูกในประเทศเขตร้อน เช่น อินเดีย จีนตอนใต้และบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นต้น

2. ข้าว japonica มีเมล็ดป้อมสั้น ให้ผลผลิตสูง พบปลูกในเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี และจีนตอนเหนือ

3. ข้าว javanica มีลักษณะอยู่ระหว่างข้าว indica กับ japonica แต่ไม่นิยมปลูกเนื่องจากให้ผลผลิตต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงสร้างของเมล็ดข้าว



รูปที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano, 1972.)

จากรูปที่ 1 เมล็ดข้าวประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือ แกลบ (husk) มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งแกลบนี้จะเป็นส่วนของกลีบดอกคือ palea และ lemma

2. เปลือกหุ้มผล (pericarp) มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก ชั้นนอกเป็นเซลรูปแท่งตามความยาวของเมล็ด ชั้นถัดมาเป็นเซลรูปหลายเหลี่ยม นอกจากนี้ยังมีไข (wax) และสารให้สีอยู่ในชั้นนี้ด้วย

3. เมล็ด (seed) ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 เปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat)ประกอบด้วยเซลที่มีผนังบางรูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียวหรือสองแถว เซลในชั้นนี้จะมีสารให้สีทำให้เมล็ดมีสีต่าง ๆ ตั้งแต่สีเหลืองจนกระทั่งถึงสีน้ำตาล

3.2 เนื้อเมล็ด (endosperm) มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 73 โดยน้ำหนัก เป็นส่วนที่นำมาบริโภค แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดอยู่กับเยื่ออลูโรน (subaleurone layer) เซลในชั้นนี้จะมีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ และชั้นของเนื้อเมล็ดภายใน (inner endosperm) เซลมีรูปร่างยาวในแนวรัศมีเข้าสู่ส่วนกลางของเมล็ดภายในเซลประกอบด้วยเม็ดแป้งและโปรตีนเป็นส่วนใหญ่

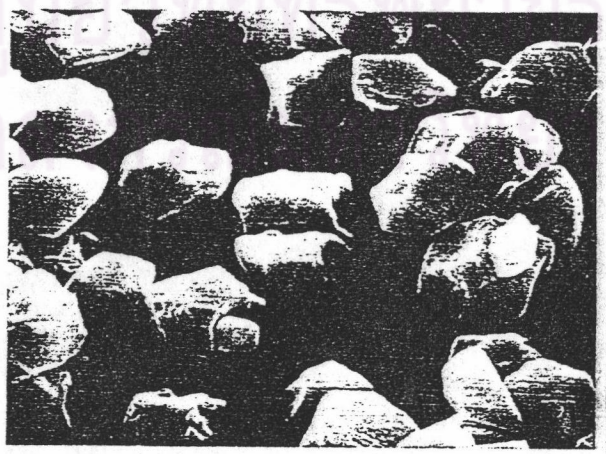
3.3 คัพภะ (embryo) มีปริมาณประมาณร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนัก เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ sculellum เป็นชั้นป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และส่วนของคัพภะ องค์ประกอบสำคัญในส่วนนี้ได้แก่ ไขมันและโปรตีน

<u>องค์ประกอบทางชีวเคมีของเมล็ดข้าว</u>

องค์ประกอบหลักที่พบในเมล็ดข้าว ได้แก่

1. คาร์โบไฮเดรต เป็นสารประกอบที่พบมากที่สุดในเมล็ดข้าว มี ร้อยละ 70-80 โดยน้ำหนัก แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ส่วนที่เป็นเส้นใย ได้แก่ เซลลูโลส และลิกนิน พบมากในส่วนแกลบ และอีกส่วนหนึ่งคือ แป้ง (starch)

เมล็ดข้าวประกอบด้วยแป้งประมาณร้อยละ 64 โดยน้ำหนัก แป้งจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง (starch granule) มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม (polyhedral) มีขนาด 3-9 ไมครอน



รูปที่ 2 เม็ดแป้งของข้าว (Fitt and Snyder, 1984.)

เม็ดแป้งประกอบด้วยโมเลกุลโซ่ตรงของอมัยโลส (amylose) เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลที่มีโซ่สาขาของอมัยโลเพคติน (amylopectin) มีพันธะไฮโดรเจนช่วยเกาะเกี่ยวให้เข้ามาจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ โดยส่วนหนึ่งจะจัดเรียงตัวเป็นลักษณะคล้ายผลึกเรียกว่า crystalline region ประกอบด้วยโซ่ตรงของอมัยโลสซึ่งมีพันธะ 1,4 glucosidic เป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีลักษณะแข็งแรงและทนต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ ในส่วนนี้จะมีอมัยโลสอยู่ร่วมกับสายตรงของอมัยโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ และอีกส่วนหนึ่งมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบเรียกว่า amorphous region เพราะประกอบด้วยโซ่สาขาของอมัยโลเพคติน ซึ่งประกอบด้วยพันธะ 1,6 glucosidic ทำให้มีลักษณะว่องไวต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ เนื่องจากมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระอยู่มาก (Kerr, 1950)

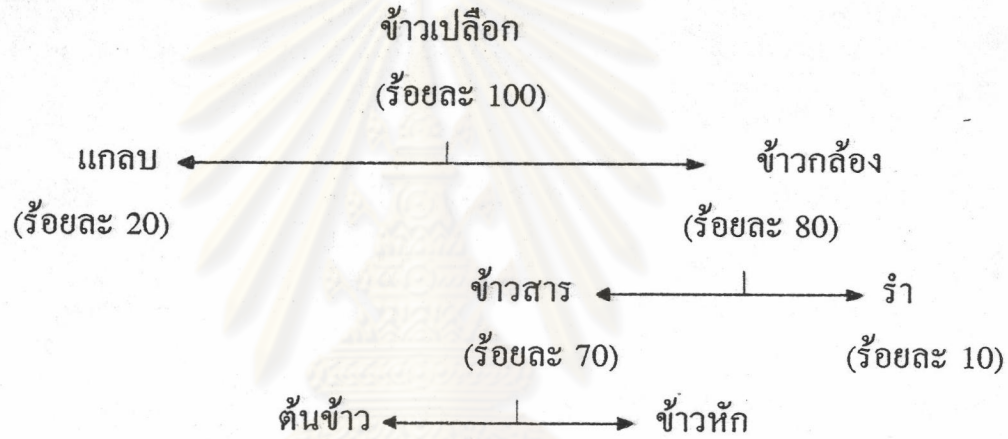
2. โปรตีน เป็นสารประกอบที่มีมากเป็นอันดับสอง โดยเฉลี่ยจะมีร้อยละ 6.5-12 โดยน้ำหนัก ซึ่ง Houston (1972) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวคือ พันธุ์ข้าวและสิ่งแวดล้อม โปรตีนในเมล็ดข้าวจะอยู่เป็นกลุ่ม (protein body) แทรกอยู่ระหว่างเม็ดแป้ง (Juliano, 1972) ซึ่ง Stenvert และ Kingwood (1977) พบว่า โปรตีนดังกล่าวจะเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เมล็ดข้าวโดยการยึดเหนี่ยวองค์ประกอบภายในไว้

3. ไขมัน เป็นสารประกอบที่มีอยู่เล็กน้อย คือประมาณร้อยละ 0.3-0.8 โดยน้ำหนัก ไขมันเหล่านี้จะอยู่ในลักษณะเป็นหยดลิปิด (lipid droplet) ขนาด 0.7-1.5 ไมครอน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ นอกนั้นจะเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก และ กรดลิโนเลอิก

4. แร่ธาตุ เมล็ดข้าวมีแร่ธาตุอยู่ประมาณร้อยละ 0.51 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่ได้แก่ ซิลิคอน ซึ่งพบมากในส่วนแกลบ ส่วน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และแคลเซียม จะพบมากบริเวณเยื่ออลูโลน

<u>คุณภาพการสีและปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสี</u>

โดยทั่วไปกระบวนการสีข้าวจะเริ่มต้นจากการนำข้าวเปลือกซึ่งผ่านการทำความสะอาดมาสีเอาเปลือกออกได้เป็นข้าวกล้อง (brown rice) จากนั้นนำข้าวกล้องมาขัดขาวจนกระทั่งได้ข้าวสาร (milled rice) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสีข้าว (Khush et. al. , 1974)

คุณภาพการสี หมายถึง ปริมาณต้นข้าว (head rice) หรือข้าวเต็มเมล็ดที่ได้จากกระบวนการสี โดยแสดงผลในรูปของร้อยละ (Khush et al. , 1974) โดยปกติปริมาณต้นข้าวจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 25-26 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม (Spadaro , 1980) แต่เนื่องจากข้าวแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะทางพันธุกรรมที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นสภาพแวดล้อมจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพการสี ซึ่งได้แก่

1. ความชื้น โดยปกติเมล็ดข้าวมีสมบัติ hygroscopic กล่าวคือ สามารถดูดและคายความชื้นได้ ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว จากการศึกษาของ Normand และ Marshall (1989) พบว่าโครงสร้างของเมล็ดข้าวมีสมบัติในการดูดซึมน้ำแตกต่าง

กันล่าวคือ บริเวณกลางเมล็ดจะมีสมบัติ inelastic ที่ดูดซึมน้ำได้น้อย ในขณะที่บริเวณขอบด้านนอกของเมล็ดจะมีสมบัติ elastic ซึ่งสามารถดูดและคายความชื้นได้ดี การดูดและคายความชื้นของเมล็ดข้าวดังกล่าวจะก่อให้เกิดรอยแตกขึ้นในเมล็ดข้าวได้ กล่าวคือ Yoshida (1981) พบว่าเมล็ดข้าวที่เก็บเกี่ยวจากต้นข้าวซึ่งแช่อยู่ในน้ำนานเกินไปจะมีความชื้นสูงและพบรอยแตกในเมล็ดมากกว่าเมล็ดข้าวจากต้นข้าวที่ปลูกแบบปกติ ส่วน Kunze และ Hall (1965) พบว่า ถ้านำเมล็ดข้าวไปเก็บไว้ในบริเวณที่มีความชื้นสูง เมล็ดข้าวดังกล่าวจะมีรอยแตกภายในเมล็ดเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ Kunze และ Prasad (1970) พบว่าถ้านำเมล็ดข้าวไปเก็บไว้ในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (ร้อยละ 4-5) จะทำให้เมล็ดข้าวเกิดรอยแตกขึ้นเช่นกัน ปราฏการณ์ดังกล่าว Kunze และ Choudhury (1972) อธิบายว่า การนำเมล็ดข้าวไปเก็บไว้ในบริเวณที่มีความชื้นสูง เมล็ดข้าวดังกล่าวจะดูดซึมความชื้นทำให้เซลด้านนอกขยายตัวอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เซลที่อยู่ด้านในจะขยายตัวช้ากว่า ลักษณะนี้จะทำให้เกิดความเค้น (stress) ระหว่างชั้นทั้งสอง ทำให้เกิดรอยแตกขึ้น ในทางกลับกัน ถ้านำเมล็ดข้าวไปเก็บไว้ในบริเวณที่มีความชื้นต่ำจะพบว่าเซลที่บริเวณด้านนอกจะหดตัวอย่างรวดเร็วทำให้ความยืดหยุ่นของเซลบริเวณดังกล่าวลดลง ในขณะเดียวกันก็จะมีแรงดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากภายในเมล็ด ทำให้เกิดรอยแตกขึ้นที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าว การเกิดรอยแตกทั้งสองกรณีดังกล่าวจะทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งแรงลดลง และหักได้ง่ายในระหว่างการสี (Kunze , 1985.)

2. ธาตุอาหาร การที่ต้นข้าวจะเจริญเติบโตได้ดี จำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารมากกว่า 10 ชนิด แต่ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญของส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว คือ ธาตุไนโตรเจน (อัมมาร สยามวาลา และ วิโรจน์ ณ ระนอง, 2533.) หน้าที่หลักของไนโตรเจนคือจะช่วยเร่งให้ต้นข้าวตั้งตัวได้เร็วในระหว่างการเจริญเติบโต นอกจากนี้ไนโตรเจนยังมีผลต่อคุณภาพการสีของเมล็ดข้าวอีกด้วย (Nanju and De Datta, 1970.)

เมื่อต้นข้าวดูดซึมธาตุไนโตรเจนจากดิน ต้นข้าวจะนำธาตุไนโตรเจนดังกล่าวร้อยละ 1.27-2.0 ไปใช้ในการสร้างโปรตีนเก็บสะสมไว้ในใบและลำต้น หลังจากนั้นจะเคลื่อนย้ายโปรตีนดังกล่าวไปยังเมล็ดในขณะที่ข้าวออกรวง (Mosse et al, 1988.) ซึ่ง Jongkaewwattana และ Geng (1991) พบว่า นอกจากต้นข้าว

จะนำธาตุไนโตรเจนไปใช้ในการเจริญเติบโตแล้ว ไนโตรเจนยังมีผลต่อคุณภาพการสี กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณธาตุไนโตรเจนแก่ต้นข้าวจะทำให้คุณภาพการสีของเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น

<u>คุณภาพการหุงและปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการหุง</u>

คุณภาพการหุงหมายถึงลักษณะปรากฏของเมล็ดข้าวภายหลังจากผ่านการหุง เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพการหุงของข้าว จะแตกต่างกันไปตามบริโภคนิสัยในการรับประทานข้าวของผู้บริโภคแต่ละท้องถิ่น เช่น ชาวญี่ปุ่นและเกาหลีนิยมข้าวนุ่มเหนียวและจับกันเป็นก้อน ชาวอินเดียนิยมข้าวแข็งและร่วน ส่วนชาวไทยนิยมข้าวนุ่ม เมล็ดไม่เกาะกันและเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็ไม่แข็ง (งามชื่น คงเสรี, 2522.) ซึ่งคุณภาพการหุงเหล่านี้จะแตกต่างกันไปในข้าวแต่ละพันธุ์ สาเหตุสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงแตกต่างกันดังกล่าวคือ สมบัติทางชีวเคมีของเมล็ดข้าว (Bhattacharya et al,1978.) ซึ่ง ได้แก่

1. อมัยโลส อมัยโลสในเมล็ดข้าวจะสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกได้แก่ ลักษณะความนุ่มหรือแข็ง และลักษณะความเหนียวหรือร่วน (Perez and Juliano, 1979) ซึ่ง Juliano (1979) ได้ใช้ปริมาณอมัยโลสเป็นเกณฑ์ในการแบ่งประเภทของข้าวและคุณภาพการหุงของข้าว ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจำแนกประเภทของข้าวตามปริมาณอมัยโลส (Juliano, 1979.)

ประเภทของข้าว	ปริมาณอมัยโลส (ร้อยละ)	ลักษณะเม็ดข้าวสุก
ข้าวเหนียว	1 - 10	เหนียวและจับตัวเป็นก้อน
ข้าวอมัยโลสต่ำ	11 - 20	นุ่มและจับตัวเป็นก้อน
ข้าวอมัยโลสปานกลาง	21 - 25	นุ่มและร่วน
ข้าวอมัยโลสสูง	มากกว่า 25	แข็งและร่วน

โดยปกติเม็ดแป้งสามารถดูดน้ำเย็นได้ปริมาณจำกัด เนื่องจากการจับตัวกันอย่างแข็งแรงระหว่างอมัยโลสและอมัยโลเพคตินด้วยพันธะไฮโดรเจนใน crystalline region (Collison, 1968.) แต่เมื่อได้รับความร้อนจนมีพลังงานมากพอที่ทำให้พันธะไฮโดรเจนแตกออกจากกัน การจับตัวระหว่างอมัยโลสและอมัยโลเพคตินจะคลายตัวลง ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปในเม็ดแป้งได้มากขึ้น เม็ดแป้งจึงเกิดการพองตัว Tester และ Morrison (1990) พบว่า เมล็ดข้าวที่มีอมัยโลสสูงจะพองตัวได้ยากเนื่องจากมีการจับตัวกันในส่วนของ crystalline region อย่างแข็งแรง ดังนั้นเมล็ดข้าวเหล่านี้จึงหุงสุกยากเนื่องจากต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว

ในขณะที่เม็ดแป้งพองตัว อมัยโลสจะมีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ การดูดซึมน้ำของเม็ดแป้งจะดีขึ้นเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าหากลดอุณหภูมิลง โมเลกุลของอมัยโลสที่อยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้าหากัน และเกิดการจับตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การคืนตัวของแป้ง (retrogradation) Juliano (1965) พบว่า ข้าวที่มีอมัยโลสสูงโอกาสที่จะเกิดการคืนตัวของแป้งก็มีมาก และการที่แป้งเกิดการคืนตัวจะทำให้เม็ดข้าวสุกที่ได้แข็ง เนื่องจากน้ำที่ถูกอมัยโลสดูดซึมไว้จะถูกปลดปล่อยออกมา

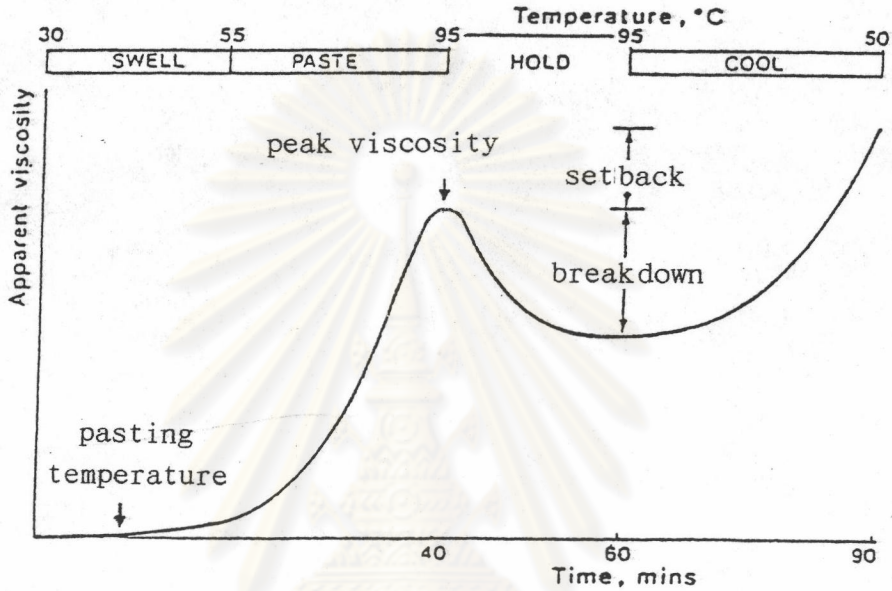
2. โปรตีน มีรายงานเกี่ยวกับผลของโปรตีนกับคุณภาพการหุงอาทิเช่น Perez และ Juliano (1979) พบว่า ข้าวที่มีอมัยโลสเท่ากันอาจมีคุณภาพการหุงแตกต่างกันเนื่องจากมีปริมาณโปรตีนไม่เท่ากัน และ Bechtel และ Pomerang (1978) พบว่าโปรตีนมีผลต่อคุณภาพการหุงของเมล็ดข้าวกล่าวคือ โปรตีนจะขัดขวางการดูดซึมน้ำของเม็ดแป้ง ทำให้ข้าวสุกมีความนุ่มลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การศึกษาคุณภาพการหุงของเม็ดข้าว</u>

การศึกษาคุณภาพการหุงของเม็ดข้าวมีหลายวิธีเช่น การหาความคงตัวของแป้งสุก การกระจายตัวของเม็ดข้าวในสารละลายด่าง อัตราส่วนการดูดน้ำของเม็ดข้าวหรือแม้กระทั่งการหาปริมาณอมัยโลสที่ละลายในน้ำเดือด แต่วิธีการดังกล่าว

ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากใช้เวลานาน และให้ข้อมูลค่อนข้างแคบ ในทางปฏิบัติวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 ด้วยเครื่อง viscoamylograph (Deffenbaug and Walker, 1989.) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 ซึ่งวัดด้วยเครื่อง viscoamylograph

จากรูปที่ 4 ในช่วงแรกของการให้ความร้อน กราฟจะยังไม่ปรากฏความหนืดเนื่องจากเม็ดแป้งยังคงพองตัวได้น้อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่เรียกว่า pasting temperature เส้นกราฟจะเริ่มขยับตัวสูงขึ้น เนื่องจากเม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้น้ำแป้งมีความข้นหนืดเพิ่มมากขึ้นจนเครื่องสามารถบันทึกไว้ได้ หลังจากนั้นเส้นกราฟจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่ง เส้นกราฟจะลดลง ปรากฏเป็น peak viscosity แสดงว่าเม็ดแป้งพองตัวจนกระทั่งแตก เมื่อการแตกมากกว่าการพองตัว เส้นกราฟจะแสดงความหนืดลดลงจนสิ้นสุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95° C ส่วนในช่วงการทำให้เย็นจากอุณหภูมิ 95° C ไปยัง 50° C เส้นกราฟจะสูงขึ้นอีกครั้ง เนื่องจากมีการคืนตัวของแป้งสุกโดยโมเลกุลอิสระที่ละลายออกมาในน้ำแป้งขณะที่เม็ดแป้งแตกโดยเฉพาะอมัยโลสจะจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้น้ำแป้งมีความหนืด

เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง (Mazurs et al. 1957, Dengate, 1984.)

ค่าที่ได้จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งได้แก่

1. pasting temperature คืออุณหภูมิที่น้ำแป้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด แป้งที่มีค่า pasting temperature สูงแสดงว่าจะต้องใช้เวลาในการทำให้แป้งสุกนานกว่าแป้งที่มีค่านี้ต่ำ

2. peak viscosity คือความหนืดสูงสุดที่ปรากฏในกราฟ ค่า peak viscosity จะบ่งบอกถึงความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง

3. breakdown คือผลต่างระหว่าง peak viscosity กับความหนืดที่อุณหภูมิ 95 ° C นาน 20 นาที จะแสดงถึงเสถียรภาพของเม็ดแป้งขณะพองตัว ถ้าผลต่างมีค่ามากแสดงว่า เสถียรภาพของเม็ดแป้งขณะพองตัวจะต่ำทำให้เม็ดแป้งแตกตัวได้ง่ายขณะให้ความร้อน

4. setback คือผลต่างระหว่างความหนืดที่ 50° C กับ peak viscosity จะแสดงถึงการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้ง ถ้า setback มีค่ามากแสดงว่าน้ำแป้งนั้นเกิดการคืนตัวสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย