บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ข้าว

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่สุดชนิดหนึ่งของประเทศไทย นอกจากเป็นอาหารหลักของคนไทยแล้วยังเป็นสินค้าออกของประเทศอีกด้วย (อรรควุฒิ , 2526) การบริโภคข้าวนั้นนิยมบริโภคในลักษณะที่หุงต้มข้าวสารทั้งเมล็ด ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงคุณภาพข้าว ผู้บริโภคจึงมักคำนึงในแง่ของคุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพหุงต้มและรับประทานข้าวสุก

1. คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพ(physical quality) หมายถึงคุณสมบัติต่างๆของเมล็ดที่เห็นได้ ได้แก่

1.1 สีของข้าวกล้อง เมื่อกระเทาะเปลือกข้าวออก อาจพบข้าวกล้องที่มีสีขาวเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้มีข้าวบางพันธุ์มีสีข้าวกล้องสีแดงน้ำตาลหรือสีม่วงจนเกือบดำ ข้าวกล้องที่มีสีนี้ถือว่าเป็นคุณภาพเฉพาะ หากมีปนในข้าวขาวจะทำให้คุณภาพด้อยลง(งามชื่น , 2532 และ เครือวัลย์ , 2534)

1.2 ขนาดของเมล็ด ขนาดของเมล็ดอาจวัดจากความยาว กว้าง และหนาของเมล็ด แต่ในการพิจารณาคุณภาพเมล็ดทั่วไปมักคำนึงถึงความยาวของเมล็ด มาตรฐานข้าวไทย (กระทรวงพาณิชย์ , 2517) ได้กำหนดระดับชั้นของเมล็ดเป็น 4 ขนาดตามตารางที่ 2.1 การกำหนดขนาดของเมล็ดข้าวของประเทศต่างๆจะแตกต่างกัน เช่น Adair และคณะ(1966) ได้แบ่งความยาวของเมล็ดเป็น 4 ขนาดเช่นกัน แต่มีขนาดแตกต่างจากมาตรฐานข้าวไทย

ตารางที่ 2.1 ระดับชั้นของเมล็ดข้าวตามมาตรฐานข้าวไทย และสหรัฐอเมริกา (งามชื่น , 2532)

ระดับชั้นของเมล็ด	ไทย	สหรัฐอเมริกา
เมล็ดยาวชั้น 1(extra long)	>7.0	>7.50
เมล็ดยาวชั้น 2(long)	6.6-7.0	6.61-7.50
เมล็ดยาวชั้น 3(medium)	6.2-6.6	5.51-6.60
เมล็ดสั้น(short)	<6.2	<5.50

หน่วยเป็น มิลลิเมตร

นอกจากความยาว มาตรฐานของสหรัฐอเมริกานิยมกำหนดรูปร่างเมล็ดโดยประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานรูปร่างเมล็ดข้าว ของสหรัฐอเมริกา (งามชื่น , 2532)

รูปร่างเมล็ด	ความยาว/ความกว้าง
เรียว(slender)	>3.0
ปานกลาง(medium)	2.1-3.0
ป้อม(bold)	<2.0

แต่มาตรฐานข้าวไทยไม่มีการกำหนดรูปร่างเมล็ดเนื่องจากข้าวส่วนใหญ่มีรูปร่างเรียว และข้าวไทยเป็นข้าวประเภท indica จึงทำให้เข้าใจกันโดยทั่วไปว่าข้าวชนิด indica มีเมล็ดยาวเรียว แต่โดยความเป็นจริงมีข้าวไทยบางพันธุ์มีเมล็ดป้อม (งามชื่น , 2532)

1.3 ข้าวท้องไข่ (chalky grain) เป็นจุดขุ่นขาวทึบแสงภายในเมล็ดข้าวเจ้า เกิดจากการจับตัวอย่างหลวมๆระหว่างผลึกแป้ง(starch granule) กลุ่มแป้ง(starch compound) และโปรตีน (protein body) ทำให้เกิดช่องอากาศเล็กๆภายในเมล็ดและเห็นเป็นลักษณะทึบแสง จุดขุ่นขาวนี้อาจมีขนาดแตกต่างกัน ดังนั้น IRRI(International Rice Research Institute) จึงแยกระดับความเป็นท้องไข่ของเมล็ดเป็น 0-5 โดยให้ระดับ 0 เป็นเมล็ดใสทั้งเมล็ด และระดับ 5 เป็นเมล็ดที่มีส่วนขุ่นขาวร้อยละ 80 ของทั้งเมล็ด ตำแหน่งของท้องไข่อาจเกิดขึ้นตรงกลางเมล็ด (white center) จากด้านท้องที่อยู่ข้างเดียวกับคัพภะ(white belly) หรือจากด้านหลัง (white back) ข้าวไทยส่วนใหญ่เป็น

ท้องไข่น้อยยกเว้นข้าวขึ้นน้ำ และมักเป็นประเภท white belly ตามมาตรฐานข้าวไทยถือว่าข้าวที่มีขนาดขุ่นขาวตั้งแต่ครึ่งหนึ่งของเมล็ดขึ้นไปเป็นข้าวท้องไข่ เนื่องจากข้าวท้องไข่เป็นลักษณะที่ไม่เป็นที่นิยมของวงการข้าวเพราะทำให้เมล็ดข้าวดูไม่งามและคุณภาพการสีไม่ดีเนื่องจากมีข้าวหักมาก ในมาตรฐานข้าวของไทยมีการกำหนดปริมาณข้าวท้องไข่ เช่น ข้าว 100% ต้องมีข้าวท้องไข่ไม่เกินร้อยละ 0.5 ข้าวท้องไข่นี้นอกจากเป็นลักษณะที่ควบคุมโดยพันธุกรรมแล้วสภาพแวดล้อมยังมีผลกระทบ เช่น แหล่งปลูก ฤดูกาล การใส่ปุ๋ย (งามชื่น , 2532)

1.4 คุณภาพการสีข้าว เนื่องจากผู้บริโภคนิยมข้าวที่ผ่านการสีเป็นข้าวสารที่มีข้าวหักน้อยมาก ดังนั้นนอกจากจะพิจารณาจากคุณลักษณะของข้าวเปลือกแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณข้าวสาร ต้นข้าว(มากกว่า 8/10 ของความยาวเมล็ด) และข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวนั้น ในการสีจะได้แกลบ 20-25 % รำประมาณ 10% ส่วนที่เหลือคือข้าวสาร ในส่วนของข้าวสารนี้ประกอบด้วย ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ข้าวคุณภาพดีควรสีได้ข้าวสารมาก โดยมีข้าวหักน้อย ปัจจัยที่ทำให้ข้าวหักในระหว่างการสี ได้แก่เมล็ดยาวมาก เมล็ดบิดเบี้ยว หรือไม่สมบูรณ์ เมล็ดมีท้องไข่มาก เมล็ดอ่อน การเกิดเมล็ดร้าวก่อนการสี ซึ่งอาจเนื่องจากการเก็บเกี่ยวข้าวที่แช่น้ำหรือแก่มากเกินไป รวมทั้งการปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว (งามชื่น , 2532)

2. <u>คุณภาพทางเคมี</u>

คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมีหมายถึง สัดส่วนและองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อคุณภาพข้าวสุก โดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้นนุ่ม เหนียว หรือร่วนขึ้นหม้อ ซึ่งคุณภาพข้าวสุกนี้จะขึ้นกับคุณภาพทางเคมี (งามชื่น , 2531) ได้แก่

2.1 ปริมาณอะมิโลส (apparent amylose content) แป้งข้าวมีอะมิโลเปคติน (amylopectin) เป็นองค์ประกอบหลัก และอะมิโลสเป็นส่วนรอง แต่นักวิจัยข้าวทั่วไป มักนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยกล่าวถึงอะมิโลสเป็นหลัก ทั้งนี้เมื่อกล่าวถึงเปอร์เซนต์อะมิโลสมักมีความหมายว่าส่วนที่เหลือของแป้งเป็นอะมิโลเปคติน อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเปคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น แป้งข้าวเหนียวมีแต่อะมิโลเปคตินหรือมีอะมิโลสปนอยู่เล็กน้อย ในขณะที่แป้งข้าวเจ้ามีอะมิโลสปนอยู่มากกว่า (งามชื่น , 2532) มีการจำแนกชนิดข้าวตามปริมาณอะมิโลสดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การจำแนกชนิดข้าวตามปริมาณอะมิโลส (IRRI ,1972 Juliano , 1985 และงามชื่น , 2532)

ประเภทข้าว	ปริมาณอะมิโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก	ตัวอย่างพันธุ์ข้าวไทย
ข้าวเหนียว	1-2	เหนียวมาก	กข 8
ข้าวอะมิโลสต่ำ	12-20	เหนียว นุ่ม	ขาวดอกมะลิ 105 กข 15 กข 21
ข้าวอะมิโลสปานกลาง	20-25	นุ่มค่อนข้างเหนียว	นางมลเอส 4
ข้าวอะมิโลสปานกลางถึงค่อนข้างสูง	25-27	ไม่นุ่ม ไม่แข็ง ค่อนข้างร่วน	ขาวตาแห้ง 17 ขาวปากหม้อ สุพรรณบุรี 60 กข 7
ข้าวอะมิโลสสูง	>27	ร่วน แข็ง	เหลืองประทิว 123 เหลืองใหญ่ 148 ปิ่นแก้ว 56 ตะเภาแก้ว 161 เล็บมือนาง 111

ในการหุงต้มข้าวที่มีอะมิโลสมากจะดูดซึมน้ำมาก และข้าวสุกที่ได้จะร่วนและแข็งกว่าข้าวที่มีอะมิโลสน้อย ดังนั้นข้าวเหนียวหรือข้าวอะมิโลสต่ำจึงหุงแฉะง่าย และเหนียวติดกันเป็นก้อน สำหรับข้าวอะมิโลสสูงนั้น เนื่องจากต้องการน้ำในการหุงต้มมาก จึงทำให้ข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มาก และร่วนฟู หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า หุงขึ้นหม้อ

ข้าวที่นิยมในแต่ละประเทศมีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกันไป เช่น ชาวญี่ปุ่น และเกาหลี ชอบข้าวอะมิโลสต่ำ ในขณะที่ไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย ชอบข้าวทั้งชนิดอะมิโลสต่ำ ปานกลาง และสูง และชาวอินเดีย ศรีลังกา ชอบข้าวอะมิโลสสูงเท่านั้น (งามชื่น , 2532)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 โปรตีน ในเมล็ดข้าวสารมีโปรตีนอยู่ประมาณ 4-14 % แต่ข้าวสารส่วนใหญ่มีโปรตีน 6-8 % (งามชื่น , 2532) ซึ่งนับว่าน้อยแต่ก็มีผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานเช่นกัน ข้าวที่มีโปรตีนสูงจะต้องการน้ำในการหุงต้ม และใช้เวลาหุงต้มมากกว่าข้าวที่มีโปรตีนต่ำ(Juliano ,1971) เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ด และโปรตีนยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซึมน้ำของเมล็ด ความนุ่ม และความเหนียว กล่าวคือทำให้เมล็ดดูดซึมน้ำได้น้อยลง ข้าวสุกมีความนุ่มและความเหนียวลดลง (Juliano และคณะ ,1965) Onate และคณะ(1964)พบว่าข้าวสุกไม่ว่าจะเป็นสายพันธุ์ใดก็ตามที่มีโปรตีนต่ำจะมีความอ่อนนุ่ม ความเหนียว และมีกลิ่นรสมากกว่าข้าวที่มีโปรตีนสูงกว่า

2.3 กลิ่นหอม (aroma) เป็นลักษณะพิเศษของข้าวที่เป็นที่นิยมของคนไทยและผู้บริโภคบางกลุ่ม ข้าวทั่วไปมีสารระเหยอยู่หลายชนิด Yajima และคณะ (1978) ได้วิเคราะห์สารระเหยที่ได้จากการหุงข้าวพันธุ์ Koshihikari ของญี่ปุ่น พบว่า มีสารระเหยอยู่ 114 ชนิด สารแต่ละชนิดจะมีกลิ่นแตกต่างกัน ในพันธุ์ข้าวหอมจะมี 2-acetyl-1-pyrroline มากกว่าข้าวทั่วไป โดยข้าวสารหอม 1 กรัมอาจมีสารนี้ 0.04-0.09 ไมโครกรัม และในข้าวกล้องหอมอาจมี 0.1-0.2 ไมโครกรัม สารหอมชนิดนี้ยังมีปริมาณสูงมากในพืชตระกูลใบเตย (Pandonus amaryllifolius Roxb. , fragant screw pine) ซึ่งอาจมีสูงถึง 1 ไมโครกรัม ต่อกรัม (Buttery และคณะ , 1983) สำหรับพันธุ์ข้าวไม่หอมนั้น Paule และ Powers (1989) พบว่าปริมาณเฮกซาแนล (hexanal) มีความสัมพันธ์ด้านลบกับกลิ่นหอมของข้าวคือ ข้าวที่มีปริมาณ hexanal มากจะมีกลิ่นหอมลดน้อยลง

2.4 ความชื้น ความชื้นในข้าวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บรักษาข้าว ถ้าเมล็ดข้าวมีความชื้นสูงทำให้เชื้อรา และจุลินทรีย์ต่างๆเจริญเติบโตได้ ข้าวจะเสื่อมคุณภาพในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นมาตรฐานข้าวของประเทศต่างๆจึงได้กำหนดระดับความชื้นของข้าวไว้ เช่นประเทศไทยกำหนดความชื้นไว้ไม่เกิน ร้อยละ 14 (เครือวัลย์ , 2534) สำหรับประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นระดับความชื้นอาจสูงถึงร้อยละ 16 (Pomeranz , 1987)

3. คุณภาพทางเคมีกายภาพ (physico-chemical properties) และคุณภาพหุงต้มและรับประทาน

3.1 ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) แม้ว่าปริมาณอะมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน แต่ในข้าวบางพันธุ์แม้จะมีอะมิโลสใกล้เคียงกัน แต่ข้าวสุกยังมีคุณภาพแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งสุกเมื่อเย็นแล้วมีความแข็งหรือความคงตัวแตกต่างกัน มีการแบ่งประเภทข้าวตามค่าความคงตัวของแป้งสุกเป็น 3 ชนิด ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทข้าวตามค่าความคงตัวของแป้งสุก (งามชื่น , 2532)

ประเภทแป้งสุก	ระยะทางแป้งไหล(มม.) (แป้ง 100 มก. ในKOH 0.2N 2 มล.)
แป้งสุกแข็ง	26-40
แป้งสุกปานกลาง	41-60
แป้งสุกอ่อน	61-100

ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสประเภทเดียวกัน หากมีแป้งสุกแข็งจะมีข้าวสุกที่แข็งกว่าข้าวที่มีแป้งสุกอ่อน (งามชื่น , 2532)

3.2 อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) หมายถึงอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองในน้ำร้อน และเปลี่ยนลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้ม ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะหุงสุกช้ากว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ (งามชื่น , 2531)

แม้ว่าระยะเวลาหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุกก็ตาม แต่ความกว้างและความหนาของเมล็ดข้าวก็มีผลต่อเวลาหุงต้มด้วย ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากันแต่มีเมล็ดหนากว่าจะใช้เวลาหุงต้มนานกว่า ข้าวเหนียวหรือข้าวอะมิโลสต่ำที่มีอุณหภูมิแป้งสุกปานกลางหรือสูงซึ่งใช้เวลาหุงต้มนานกว่า เมล็ดข้าวจึงดูดน้ำได้มากทำให้ข้าวสุกมีลักษณะแฉะ ดังนั้นข้าวเหนียวหรือข้าวอะมิโลสต่ำควรมีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำจึงจะมีคุณภาพดี ส่วนข้าวเจ้าอะมิโลสปานกลางหรือ สูงจะไม่เกิดปัญหาดังกล่าว (งามชื่น , 2531) Juliano (1972) ได้แบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุกเป็น 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุก (Juliano , 1972)

อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก
ต่ำกว่า 70	ต่ำ
70-74	ปานกลาง
สูงกว่า 75	สูง

3.3 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation ratio) ในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบโดยเฉพาะด้านยาว โดยทั่วไปผู้บริโภคนิยมข้าวพันธุ์ที่ยืดตัวได้มากกว่าข้าวพันธุ์ที่ยืดตัวได้น้อย ข้าวสุกที่ยืดตัวได้มากและไม่เหนียวติดกัน จัดเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อ นอกจากนี้การที่เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งไม่อัดแน่นและช่วยให้นุ่มมากขึ้น พันธุ์ข้าวที่มีอัตราการยืดตัวดี ได้แก่ พันธุ์บาสมาติ 370 ซึ่งสามารถยืดตัวได้มากกว่า 2 เท่าของความยาวเมล็ดข้าวสาร และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หรือรู้จักในชื่อของข้าวหอมมะลิ ซึ่งก็มีการยืดตัวดี ทำให้ข้าวสุกมีขนาดยาวน่ารับประทาน และนุ่ม แต่เนื่องจากมีอะมิโลสต่ำ ข้าวสุกจึงเหนียวและหุงไม่ขึ้นหม้อ (งามชื่น , 2532)

ข้าวไทยพันธุ์ต่างๆมีคุณภาพข้าวสุกแตกต่างกันตั้งแต่ข้าวเหนียว ข้าวเจ้าที่มีอะมิโลสต่ำถึงสูง ดังนั้นข้าวเจ้าพันธุ์ดีต่างๆจึงมีปริมาณอะมิโลสทุกประเภท(ต่ำ ปานกลาง สูง) ไม่ว่าจะเป็น พันธุ์เดิมหรือพันธุ์ลูกผสม ทั้งนี้เนื่องจากคนไทยกลุ่มต่างๆนิยมบริโภคข้าวแตกต่างกัน เช่น คนภาคเหนือนิยมข้าวนุ่มเหนียว ภาคใต้นิยมข้าวร่วนเป็นตัว ค่อนข้างแข็ง คนภาคกลางบางคนชอบข้าวนุ่มเหนียว เช่นข้าวหอมมะลิหรือขาวดอกมะลิ 105 ที่มีอะมิโลสต่ำ บางคนชอบข้าวเสาไห้หรือบางมูลนาค ซึ่งเป็นข้าวแข็ง ร่วน และหุงขึ้นหม้อ(ข้าวอะมิโลสสูง) และบางคนชอบข้าวไม่แข็งมากและไม่เหนียว เช่นข้าวขาวตาแห้ง (งามชื่น , 2532)

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการหุงข้าว

คุณภาพของข้าวสุกนอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆที่กล่าวข้างต้นแล้ว วิธีการหุงต้มยังมีส่วนทำให้คุณภาพข้าวสุกแตกต่างกันได้อีกด้วย เช่นการหุงต้มข้าวอะมิโลสสูงหากใส่น้ำน้อยข้าวจะแข็งกระด้างมาก แต่เมื่อใส่น้ำมากจะช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น และทำให้การขยายปริมาตรมากขึ้นด้วย การหุงข้าวโดยรินน้ำทิ้ง(เช็ดน้ำ) เป็นการทำให้เมล็ดข้าวมีโอกาสดูดน้ำได้มากขึ้น และทำให้ข้าวแข็งกระด้างน้อยลง (งามชื่น , 2532) สำหรับในหมู่คนไทยเป็นที่ทราบกันดีว่าหากหุงข้าวหอมต้องใส่น้ำน้อย ข้าวเสาไห้ต้องใส่น้ำมาก ซึ่งชาวบ้านทั่วๆไปมักจะใช้นิ้วมือหรือหลังมือในการประมาณปริมาณน้ำหุงต้ม

Kainuma และ Ema (1987) ศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำต่อข้าวในการหุงต้ม โดยแปรอัตราส่วนเป็น 1.0 1.1 1.2 1.2 1.4 และ 1.5 เท่าโดยน้ำหนักข้าว พบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำเพิ่มขึ้น ข้าวสุกจะมีความชื้นสูงขึ้น ความแข็งน้อยลง เนื้อสัมผัสเหนียวเกาะติดกันมากขึ้น ขนาดเมล็ดข้าวสุกใหญ่ขึ้น และสีข้าวสุกจะมีความเหลืองน้อยลง และข้าวที่หุงต้มโดยใช้น้ำ 1.3-1.4 เท่า จะได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด Juliano (1982) ศึกษาอัตราส่วนน้ำและข้าวในการหุงต้ม

ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสที่ต่างกัน พบว่าข้าวเหนียวมีอัตราส่วนน้ำและข้าวที่เหมาะสม คือ 0.8-1.3 ข้าวอะมิโลสต่ำ เท่ากับ 1.2-1.7 และข้าวอะมิโลสปานกลางและสูง เท่ากับ 1.7-2.5

วิธีการหุงข้าว

จากการสำรวจข้าวจากหลายประเทศ ทำให้ Batcher และคณะ (1963) ได้แบ่งวิธีหุงข้าวเป็นกลุ่มดังนี้

1. Oven cooking method เป็นวิธีหุงข้าวโดยใช้เตาอบ โดยเติมน้ำ 220-260 มิลลิลิตร ใส่ในข้าว 100 กรัม ที่บรรจุอยู่ใน 1-L Pyrex baking dish และปิดฝา นำเข้าหุงในเตาอบที่อุณหภูมิ 176 °C เวลา 28 นาที จากนั้นเปิดฝา และอบต่ออีกประมาณ 5 นาที

2. วิธีหุงข้าวโดยใช้ปริมาณน้ำน้อย เป็นวิธีที่ใช้ในประเทศพม่า อียิปต์ ฝรั่งเศส กรีก อินเดีย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น เกาหลี และไทย โดยต้มน้ำ 200 มิลลิลิตรให้เดือด และเติมข้าว 100 กรัม ต้มนาน 2 นาที และเคี่ยว(simmer)ต่ออีก 18 นาที ในภาชนะปิด สำหรับประเทศพม่า ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น เกาหลี และไทย จะเติมข้าวใส่ในน้ำเย็นมากกว่า น้ำเดือด แต่ในประเทศอินเดีย และญี่ปุ่น จะแช่ข้าวประมาณ 30 นาที และสะเด็ดให้แห้งก่อนจะเติมใส่ในน้ำเดือด

3. วิธีหุงข้าวโดยใช้ปริมาณน้ำปานกลาง เป็นวิธีที่ใช้ในประเทศ อาร์เจนตินา พม่า โปรตุเกส และสเปน หุงข้าวโดยใช้น้ำ 400 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด แล้วเติมข้าว 100 กรัม ต้มให้เดือด 2 นาที แล้วเคี่ยว(simmer)ต่ออีก 13-18 นาที ในภาชนะปิด น้ำส่วนเกินจะถูกแยกออกก่อนเสริฟ ในประเทศอินเดีย และญี่ปุ่น จะแช่ข้าวประมาณ 30 นาทีและสะเด็ดให้แห้งก่อนเติมใส่ในน้ำเดือด และหลังการต้มข้าวให้สุกแล้ว จะdrainน้ำออก และนำเข้าตู้อบโดยใส่ภาชนะที่ไม่มีฝาปิด อุณหภูมิ 176 °C นาน 5 นาทีเพื่อทำให้ข้าวสุกแห้ง

4. วิธีหุงข้าวโดยใช้ปริมาณน้ำมาก เป็นวิธีที่ใช้ในประเทศออสเตรเลีย เยอรมันตะวันตก อิตาลี และไทย หุงข้าวโดยใช้น้ำ 800 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด เติมข้าว 100 กรัม ต้มนาน 12-20 นาทีในภาชนะเปิด และแยกน้ำส่วนเกินออกก่อนเสริฟ สำหรับประเทศออสเตรเลียจะไม่มีการล้างข้าวก่อนต้ม ในประเทศเยอรมันตะวันตกจะต้มข้าวในภาชนะปิดฝา และสำหรับไทยจะเติมข้าวในน้ำเย็นมากกว่าในน้ำเดือด อิตาลีและไทยจะมีการไล่ความชื้นข้าวสุกหลังจากแยกน้ำออกแล้ว โดยนำเข้าเตาอบ อุณหภูมิ 176 °C เวลา 5 นาที

5. วิธีนึ่ง (steaming) เป็นวิธีที่ใช้ในประเทศอินโดนีเซีย หุงข้าวโดยใช้ข้าว 100 กรัม ใส่ในน้ำ 1.5 เท่าของน้ำหนักข้าว ต้มจนข้าวดูดน้ำเกือบแห้ง ใช้เวลาประมาณ 5 นาที และนำไปนึ่งนาน 30 นาที

6. วิธีนึ่งกับน้ำมัน (steaming with oil added) เป็นวิธีที่ใช้ในประเทศอิหร่าน หุงข้าวโดยใช้น้ำ 800 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด เติมข้าว 100 กรัม ต้มนาน 5-15 นาที ในภาชนะปิด drain น้ำทิ้ง และ นำไปนึ่งโดยใส่น้ำมัน 1 ช้อนโต๊ะ (14.9 มิลลิลิตร) และน้ำร้อน 60 มิลลิลิตร นึ่งนาน 15 นาที

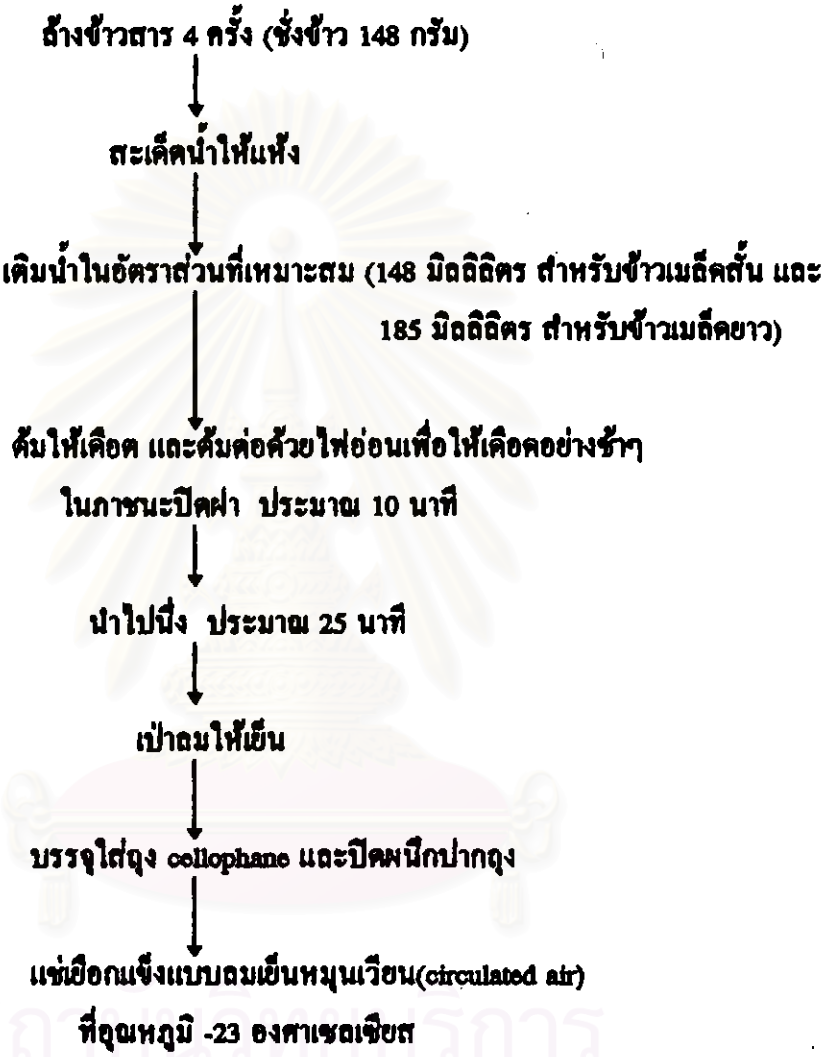
7. วิธีต้มในน้ำกับน้ำมัน (cooking in water with oil added) เป็นวิธีที่ใช้ในประเทศบราซิล ชิลี เอกวาดอร์ เยอรมันตะวันตก เม็กซิโก และเปรู หุงข้าวโดยใช้ข้าว 100 กรัม ผัดกับน้ำมันเมล็ดฝ้าย (cotton seed oil) 1 ช้อนโต๊ะ(14.9 มิลลิลิตร) นาน 2-5 นาที เติมน้ำ 200-250 มิลลิลิตร และต้มต่อ 20-28 นาที ในภาชนะปิด ในประเทศเอกวาดอร์ และเปรูจะต้มน้ำและน้ำมันให้เดือดก่อน แล้วจึงเติมข้าวและต้มต่ออีก 30 นาทีในภาชนะปิด

ปัจจุบันการหุงข้าวโดยใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้า(electric rice cooker) เป็นวิธีที่สะดวกและง่าย โดยมีการริเริ่มจากการใช้หุงข้าวในกองทัพ ซึ่งจะหุงข้าวกันในรถบรรทุกที่กำลังวิ่ง หลักการของหม้อหุงข้าวไฟฟ้าคือ การให้กระแสไฟฟ้าวิ่งระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่ติดไว้ตรงข้ามกันของหม้อ ซึ่งในระยะแรกการหุงข้าวด้วยวิธีนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับ แต่ต่อมาได้มีการปรับปรุงให้ดีขึ้นเป็นหม้อหุงข้าวไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (automatic rice cooker) โดยมีตัวควบคุมอุณหภูมิ (thermostat) ติดที่ด้านล่างของหม้อ จะทำหน้าที่ตัดไฟที่ heater เมื่อข้าวดูดน้ำอย่างสมบูรณ์แล้ว และอุณหภูมิภายในหม้อเริ่มจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ต่อมามีการพัฒนาเป็นหม้อหุงข้าวแบบใช้แกส ซึ่งใช้ทั้งหุงข้าวภายในบ้านและใช้สำหรับร้านอาหารหรือภัตตาคาร แต่โดยทั่วไปหม้อหุงข้าวไฟฟ้าจะนิยมใช้หุงข้าวภายในบ้าน ส่วนหม้อหุงข้าวแบบใช้แกสจะใช้สำหรับร้านอาหารหรือภัตตาคาร(Juliano ,1985)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การผลิตข้าวสุกแช่เยือกแข็ง</u>

Boggs และคณะ(1951) ได้ศึกษาผลของการแช่เยือกแข็งข้าวสุก และเก็บรักษาโดยใช้วิธีเตรียมข้าวสุกแช่เยือกแข็งดังนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Tressler และคณะ (1968) ได้สรุปวิธีผลิตข้าวสุกแช่เยือกแข็งในทางการค้า จากคำแนะนำของคนงานในโรงงานไว้ดังนี้

ลำเลียงข้าวสารด้วย bucket conveyor

↓

ล้างข้าวสารใน rod- reel washer

↓

ขนถ่ายไปยัง hopper และชั่งน้ำหนักข้าวใส่ใน stainless-steel jacketed kettles ที่มีตะแกรงลวดที่สามารถแยกออกได้อยู่ภายใน

↓

ใส่น้ำในอัตราส่วน 1.28 lb ต่อข้าวแห้ง 1 lb

↓

ต้มจนข้าวดูดน้ำอย่างสมบูรณ์ และสุกบางส่วน

↓

นำไปนึ่งต่อให้สุกเต็มที่

↓

เป่าลมให้เย็นจนข้าวสุกมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง

↓

บรรจุใส่กล่องกระดาษ 12 oz.

↓

เข้าห้องเย็นเพื่อแช่เยือกแข็ง และเก็บรักษาไว้จนกว่าจะส่งออกสู่ตลาด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ยังมีวิธีการผลิตข้าวสุกแช่เยือกแข็ง อีกหลายวิธีที่มีการจดสิทธิบัตรไว้ในสหรัฐอเมริกา (US patent) เช่นวิธีของ Mutoh และคณะ (1978) ซึ่งใช้ข้าวนึ่ง (parboiled rice) ในการผลิต ดังนี้

นำข้าวนึ่งไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 150 -212°F
จนมีความชื้น 55-70 % ใช้เวลาไม่เกิน 60 นาที

↓

ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 35-90°F โดยอาจจุ่มในน้ำเย็น อุณหภูมิ 40°F
หรือ สเปรย์น้ำเย็นก็ได้ เพื่อรักษา integrity ของเมล็ดข้าว , ผลผลิต
และป้องกันเมล็ดข้าวดูดน้ำมากเกินไป ควรใช้เวลาไม่เกิน 30 นาที

↓

นำไปแช่เยือกแข็งอย่างเร็ว ที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า 20°F เช่นใช้ dry ice
ในไตรเจนเหลว ฟรีออนเหลว หรือสารให้ความเย็นอื่นๆ
ในระหว่างการแช่เยือกแข็งไม่ควรให้มีการสูญเสียความชื้นมากกว่า 5%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Akesson และคณะ(1984) พัฒนาวิธีการแช่เยือกแข็งข้าวสุกไว้ดังนี้

ใช้ข้าวเมล็ดยาว(long grain rice)ในการผลิต

↓

feed ข้าวสารโดยใช้screw และปั๊มเข้าไปใน thermoscrew ที่มีน้ำบรรจุอยู่

↓

ต้มข้าว 8 นาที และนึ่งอีก 2 นาที

↓

ข้าวที่สุกแล้วจะถูกปั๊มผ่านน้ำเย็นจนอุณหภูมิลดต่ำลงถึง 15 °C

↓

ผ่านข้าวลงในตะแกรงสั่น เพื่อสะเด็ดน้ำให้แห้ง

↓

ลำเลียงไปยัง mixing screw เพื่อผสมกับ ข้าวที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว จากสายพานของ fluidised bed freezer สายอื่น ผสมกันในอัตราส่วน 50:50 นาน 1 นาที และไปแช่เยือกแข็งต่อใน fluidised bed freezer ที่อุณหภูมิ -35 ถึง-40°C การผสมข้าวที่แช่เยือกแข็งแล้วกับข้าวที่ยังไม่แช่เยือกแข็ง จะทำให้ข้าวไม่เกาะกันเป็นก้อน(chump) ข้าวจะมีลักษณะ free flow

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา</u>

การเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์จองผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งพบว่าจะเกิดในช่วงหลังการแช่เยือกแข็ง หรือช่วงการเก็บรักษามากกว่าก่อนการแช่เยือกแข็ง และการละลายน้ำแข็ง ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงผลที่จะเกิดขึ้นในช่วงการเก็บรักษาที่มีต่อโครงสร้าง และลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่จะเกิดขึ้น ดังนี้ (Reid , 1993)

1. Ostwald ripening ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ภาวะแช่เยือกแข็งจะพบว่าจำนวนผลึกน้ำแข็งจะลดลง แต่ขนาดเฉลี่ยของผลึกน้ำแข็งจะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นผลทางธรรมชาติจากการเกิดพลังงานที่ผิว (surface energy) ระหว่างผลึกน้ำแข็งกับ unfrozen matrix และความต้องการของ nucleus ที่จะขยายขนาดใหญ่ขึ้น ในภาวะอุณหภูมิไม่คงที่(fluctuating temperature) ขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ขนาดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กจะลดลงมากกว่าผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงผลึกน้ำแข็งก็จะใหญ่ขึ้นจากการจับตัวของน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ผลจากการขยายขนาดผลึกน้ำแข็งทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษา

2. Accretion or sintering of ice ในระหว่างการเก็บรักษานอกจากจะเกิดปรากฏการณ์ Ostwald ripening แล้วยังมีกลไกที่สำคัญที่ทำให้ผลึกน้ำแข็งเพิ่มขนาด และลดจำนวนลง ได้แก่การเกิด accretion หรือ sintering คือปรากฏการณ์เชื่อมติดกันระหว่างผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกลายเป็นผลึกใหญ่ขึ้น และพื้นที่ผิวลดลง

3. Moisture migration อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาในภาวะแช่เยือกแข็ง มีผลต่อการเกิด moisture migration หรือการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำภายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความดันไอ(vapor preasure) อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นในผลิตภัณฑ์จะมีการเคลื่อนย้ายจากบริเวณที่มีความดันไอสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอต่ำ ในระหว่างการเก็บรักษามักจะเกิดภาวะอุณหภูมิไม่คงที่อยู่เสมอ ทำให้อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะย้อนกลับไปมาได้ แต่ไม่ได้หมายถึงว่าการเคลื่อนย้ายความชื้นจะย้อนกลับได้ด้วย กล่าวคือเมื่อช่องว่างระหว่างเซล (void volume) มีอุณหภูมิต่ำกว่าเซลผลิตภัณฑ์ (solid volume) มีผลให้ความดันไอที่เซลผลิตภัณฑ์สูงกว่า ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายความชื้นจากที่มีความดันไอสูงไปสู่บริเวณที่มีความดันไอต่ำกว่า นั่นคือความชื้นในเซลผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนย้ายออกไปที่ช่องว่างระหว่างเซลและเคลื่อนย้ายไปที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอุณหภูมิที่ผิวหน้าจะต่ำกว่าข้างในผลิตภัณฑ์ แต่เมื่ออุณหภูมิของช่องว่างระหว่างเซลสูงกว่าเซลผลิตภัณฑ์ก็ไม่สามารถทำให้ความชื้นเคลื่อนย้ายกลับไปที่เดิมได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความชื้นจะมีแนวโน้มเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวและระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าผลิตภัณฑ์บรรจุ

อยู่ในภาชนะบรรจุ และมีช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์กับภาชนะบรรจุแล้ว ความชื้นจะเคลื่อนย้ายไปอยู่บริเวณช่องว่างนี้ และอาจมีแนวโน้มรวมตัวกันอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ และที่ผิวภายในภาชนะบรรจุ

4. Solute crystallization and pH change หลังการแช่เยือกแข็งตัวถูกละลายจำนวนมากจะอยู่ในภาวะอิ่มตัวอย่างยิ่งยวด (supersaturated) ในสถานะที่ไม่ถูกแช่เยือกแข็ง (unfrozen phase) และอาจตกผลึกหรือตกตะกอน จึงมีผลให้ปริมาณ และความเข้มข้นของตัวถูกละลายเปลี่ยนแปลง ดังนั้น ionic strength เปลี่ยนแปลง ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงเช่นกัน และเนื่องจากปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความคงตัวของโมเลกุลอื่น จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของโมเลกุลในสารละลายสามารถเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์

5. การเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ได้แก่ protein insolubilization มีผลให้โปรตีนในเนื้อสัตว์สูญเสียคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ทำให้ความนุ่มเนื้อลดลง lipid oxidation มีผลให้เกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันสูง (Fremery และ Sayre ,1968) และ pigment oxidation เช่นในผักใบเขียวสีจะคล้ำลงเนื่องจาก chlorophyll ถูกออกซิไดซ์เป็น pheophytin เปลี่ยนจากสีเขียว (olive green) ไปเป็นสีน้ำตาล (brownish) (Olson และ Dietrich , 1968)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย