บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์ Grammineae จีนัส *Oryza* ข้าวที่มีการเพาะปลูกอย่างกว้างขวางและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ คือ *Oryza sativa* L. โดยมี 3 subspecies ได้แก่

ก. อินดิกา (indica) มีลักษณะเมล็ดเรียวยาวหรือยาวปานกลาง ปลูกมากในเขตร้อน เช่น อินเดีย ปากีสถาน บังกลาเทศ ศรีลังกา จีนตอนกลางและตอนใต้ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ เวียดนาม พม่า ไทย และสหรัฐอเมริกา

ข. จาปอนิกา (japonica) มีลักษณะเมล็ดป้อมสั้น ปลูกในเขตอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน จีนตอนเหนือและตอนกลาง ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา และอิตาลี

ค. จาวานิกา (javanica) มีลักษณะอยู่ระหว่างอินดิกาและจาปอนนิกา ปลูกในอินโดนีเซีย

2.1.1 โครงสร้างเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวเปลือก (paddy) เป็นผลประเภทผลเดี่ยว เมื่อแยกเอาส่วนเปลือกออกจะได้ข้าวกล้อง เมื่อนำไปขัดสีเอาผิวชั้นนอกและส่วนคัพภะออกซึ่งรวมเรียกว่าส่วนรำข้าว จะได้เป็นส่วนเนื้อเมล็ดที่เรียกว่า ข้าวขัดขาว (milled white rice) ซึ่งโครงสร้างเมล็ดข้าว (รูปที่ 2.1) สามารถจำแนกออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1.1 เปลือกนอกหรือแกลบ (hull) เป็นส่วนที่ปกคลุมส่วนที่บริโภคได้หรือข้าวกล้อง ทำหน้าที่ป้องกันแมลง และการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความชื้นภายในเมล็ด

2.1.1.2 ข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ก. เยื่อหุ้มผล (pericarp) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้อง ประกอบด้วยชั้นเนื้อเยื่อต่าง ๆ อีก 6 ชั้น ผนังเซลล์ของเยื่อหุ้มผลนี้มีส่วนของโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ โดยสีของข้าวกล้องที่แตกต่างเกิดจากสีของเนื้อเยื่อในชั้นเยื่อหุ้มผลนั่นเอง

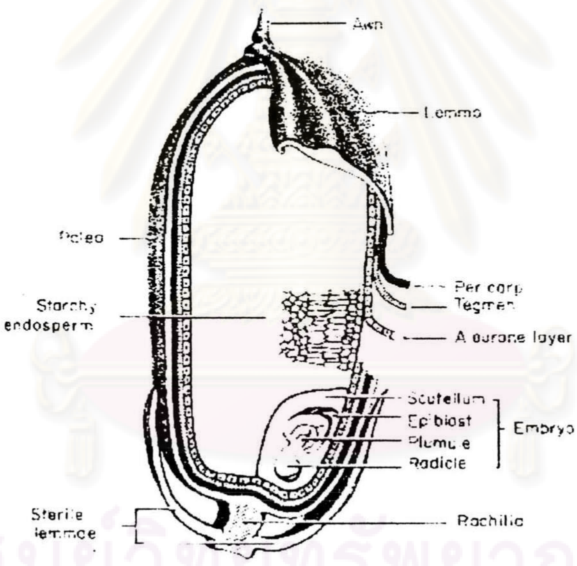
ข. เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat หรือ tagment) มีผนังเซลล์ที่บอบบางและเซลล์เรียงต่อกันเป็นแถว ในชั้นนี้จะอุดมไปด้วยไขมัน โปรตีน และสารให้สี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. ชั้นแอลิวโรน (alleurone layer) เป็นชั้นเซลล์เรียงกัน 1 – 7 ชั้น ความหนาของชั้นนี้แปรตามสายพันธุ์ (cultivar) ข้าวเมล็ดป้อมสั้นมักมีชั้นแอลิวโรนหนากว่าข้าวเมล็ดเรียวยาว เซลล์ของชั้นเหล่านี้มีรูปร่างเป็นรูปทรงสี่มุมฉากหรือรูปทรงสามเหลี่ยม ในเซลล์เหล่านี้จะมี aleurone grain ขนาดเล็กที่หุ้มด้วยส่วนที่มีไขมันและภายในมีจะโปรตีนอยู่จำนวนมาก ผนังเซลล์ของชั้นแอลิวโรนมีโปรตีน เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส

ง. คัพภะ (embryo หรือ germ) มีขนาดเล็ก ตั้งอยู่ที่ปลายด้านท้องของเมล็ด เป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ในส่วนนี้จะมีโปรตีน และเม็ดไขมัน รวมทั้งมีวิตามินต่าง ๆ เช่น ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน และไนอะซีน

เมื่อทำการขัดสีข้าว ส่วนของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ชั้นแอลิวโรน และคัพภะ จะหลุดออกไปเป็นส่วนรำ (bran) ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเนื่องจากมีโปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามินสูง ซึ่งมีน้ำหนักคิดเป็นร้อยละ 5 – 8



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา : Juliano (1972)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ. เนื้อเมล็ด (endosperm) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นในสุดของเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเม็ดสตาร์ชจำนวนมาก รวมทั้งมีโปรตีนบอดี้ที่พบมากบริเวณผิวเมล็ดด้านหลังและด้านท้องเมล็ด สตาร์ชของข้าวมีรูปทรงหลายเหลี่ยม (polygonal) มีขนาดตั้งแต่ 2 – 10 ไมครอน (Blakeney, 1996) และอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ (5 – 8 เม็ด) โดยมีโปรตีนล้อมรอบอยู่

โครงสร้างเม็ดสตาร์ชมีลักษณะเป็น semi-crystalline ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของ D-glucose 2 ชนิด ได้แก่ อมัยโลส (amylose) และอมัยโลเพคติน (amylopectin) โดยโมเลกุลของอมัยโลสและอมัยโลเพคตินในสตาร์ชจะจัดเรียงตัวในลักษณะเป็นโครงสร้างแบบผลึก (crystallite) ซึ่งโมเลกุลจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวยากและทนต่อปฏิกิริยาจากกรดและเอนไซม์มาก และแบบอสัณฐาน (amorphous) ซึ่งเป็นส่วนที่โมเลกุลจัดเรียงตัวไม่หนาแน่นและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระอยู่มาก ทำให้พองตัวง่ายและไวต่อปฏิกิริยามากกว่าส่วนผลึก จากการศึกษาโครงสร้างผลึกของสตาร์ชพบว่าผลึกมี 3แบบ ได้แก่ ผลึกแบบ A เป็นการเรียงตัวของโครงสร้างแบบหนาแน่นมาก ผลึกแบบ B มีการเรียงตัวกันแบบหลวม ๆ และผลึกแบบ C มีการเรียงตัวผสมกับระหว่างผลึก A และ B ซึ่งข้าวและธัญพืชจะมี ส่วนโครงสร้างผลึกแบบ A (Hoseney, 1994)

สัดส่วนของปริมาณอมัยโลสและอมัยโลเพคตินของสตาร์ชจะแตกต่างกันระหว่างข้าวแต่ละชนิด (งามชื่น คงเสรี, 2542) ซึ่งมีผลทำให้ข้าวมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น ความหนืด และความใสของแป้งเปียก (paste) ลักษณะของเจลและการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation หรือ set back) เป็นต้น โดยพบว่าปริมาณอมัยโลสจะแปรแบบผกผันกับความนุ่ม (tenderness) ความเหนียว (stickiness) สี และความมันเงา (gloss) ของข้าว (Julianno, Onate และDel Mundo, 1965; Julianno, 1979; Julianno, 1993) และพบว่าเนื้อเมล็ดของข้าวเหนียวซึ่งมีอมัยโลสต่ำมีสีขาวขุ่นและมีช่องอากาศระหว่างเม็ดสตาร์ช ซึ่งทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าและใสน้อยกว่าข้าวเจ้าซึ่งมีอมัยโลสสูงกว่า ส่วนลักษณะท้องไข่ (chalky region) ซึ่งเป็นสีขาวทึบด้านท้องเมล็ด ขยายตัวเข้าไปบริเวณกลางเมล็ดซึ่งพบในข้าวเจ้า (non-waxy rice) เกิดขึ้นเนื่องจากการที่เม็ดสตาร์ชและโปรตีนบอดี้จัดเรียงกันตัวอย่างหลวม ๆ (Juliano,1972)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

ข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นพวกคาร์โบไฮเดรตซึ่งประกอบด้วยสตาร์ชเป็นหลัก นอกจากนั้นเป็นพวกน้ำตาลซูโครส เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น รองลงมาเป็นพวกโปรตีน โดยข้าวมีโปรตีนที่ละลายในด่างหรือกลูเตลิน (glutelin) เป็นส่วนมาก รองลงมาเป็นโปรตีนที่ละลายในเกลือหรือโกลบูลิน (globulin) โปรตีนที่ละลายในน้ำหรืออัลบูมิน (albulmins) และโปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์หรือโพรลามิน (prolamins) ตามลำดับ (Hamaker, 1972) สำหรับไขมันและเถ้า แร่ธาตุและวิตามินในข้าวเป็นองค์ประกอบที่อยู่น้อยโดยส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณชั้นแอลิวโรนและคัพภะ ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแร่ธาตุของข้าวกล้องและข้าวขัดข้าว

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณแร่ธาตุของข้าวกล้องและข้าวขัดข้าว

องค์ประกอบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
ความชื้น (กรัม)	14.0*	14.0*
โปรตีน (กรัมไนโตรเจน x 5.95)	7.1 – 8.3*	6.3 – 7.1*
ไขมัน (กรัม)	1.6 – 2.8*	0.3 – 0.5*
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	73.0 – 87.0*	77.0 – 89.0*
เส้นใย (กรัม)	0.6 – 1.0*	0.2 – 0.5*
เถ้า (กรัม)	1.0 – 1.5*	0.3 – 0.8*
คลอรีน (Cl, มิลลิกรัม)	0.2863	0.048
ฟอสฟอรัส (P_2O_5, มิลลิกรัม)	0.393	0.380
แคลเซียม (CaO, มิลลิกรัม)	0.0927	0.014
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	0.0778	0.036
โซเดียม (Na, มิลลิกรัม)	0.0542	0.022
โพแทสเซียม (K_2O, มิลลิกรัม)	0.1421	0.074
กำมะถัน (SO_4, มิลลิกรัม)	0.0024	0.0038
เหล็ก (Fe, มิลลิกรัม)	0.003177	0.00102
ทองแดง (Cu, มิลลิกรัม)	2.3*	1.3*
แมงกานีส (Mn, มิลลิกรัม)	15.7*	13.8*
ไอโอดีน (I, มิลลิกรัม)	3.88*	2.6*

ที่มา Grist, 1975 และ Juliano, 1993

* ค่าที่แสดงคำนวณจากข้าว 100 กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 คุณภาพและสมบัติบางประการของข้าว

2.1.3.1 คุณภาพเมล็ดทางกายภาพ (Physical quality)

ได้แก่ สีของข้าวกล้อง ขนาดของเมล็ด และข้าวท้องไข่ (Chalkiness) สีของข้าวกล้องนั้นแตกต่างไปตามสายพันธุ์ข้าว อันอาจเกิดสารให้สีในชั้นเยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ด สำหรับขนาดของเมล็ดอาจวัดได้จากความยาว ความกว้าง และความหนาของเมล็ด แต่ในการพิจารณาคุณภาพเมล็ดทั่วไปจะหมายถึงความยาวเมล็ด การกำหนดขนาดของเมล็ดข้าวของประเทศต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกัน ตารางที่ 2.2 แสดงการกำหนดขนาดของเมล็ดข้าวของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 2.2 ชั้นของเมล็ดที่จำแนกตามความยาวเมล็ด

ชั้นของเมล็ด	ความยาวเมล็ด (มิลลิเมตร)	
	มาตราข้าวไทย*	มาตรฐานข้าวสหรัฐอเมริกา**
เมล็ดยาวชั้น 1 หรือเมล็ดยาวมาก	> 7.0	> 7.5
เมล็ดยาวชั้น 2 หรือ เมล็ดยาว	6.6 - 7.0	6.61-7.5
เมล็ดยาวชั้น 3 หรือเมล็ดยาวปานกลาง	6.2 – 6.6	5.51 – 6.60
เมล็ดยาวชั้น 4 หรือเมล็ดสั้น	< 6.2	<5.50

* งามชื่น คงเสรี, 2542

** Webb และ Stemmer (1972) และ Juliano (1993)

2.1.3.2 คุณภาพการหุงต้มและการผ่านกระบวนการความร้อนของข้าว (Cooking and processing quality)

องค์ประกอบของสตาร์ชโดยเฉพาะอมัยโลส หรือสัดส่วนของปริมาณอมัยโลสและอมัยโลเพคติน อุณหภูมิแป้งสุก และความคงตัวของแป้งสุก เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้มและการผ่านกระบวนการความร้อนของข้าวแตกต่างกัน คุณภาพที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อโดยปัจจัยที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพข้าวแตกต่างกันมีดังนี้

<u>ปริมาณอมัยโลส</u> แม้ว่าข้าวจะมีอมัยโลเพคตินสูงกว่าอมัยโลส แต่นิยมแบ่งประเภทข้าวออกตามปริมาณอมัยโลสเป็นหลัก (ตารางที่ 2.3) ปริมาณอมัยโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ใช้อธิบายหรือทำนายคุณภาพการหุงต้มและการผ่านกระบวนการความร้อนของข้าว โดยอมัยโลส

เป็นตัวกำหนดการดูดซึมน้ำ (water absorption) การขยายตัวของเมล็ด (grain expansion) และของแข็งที่ละลายน้ำในระหว่างการหุงต้ม และรวมทั้งสี ความมันวาว ความเหนียวและความนุ่มของเมล็ดข้าว อย่างไรก็ตามข้าวต่างสายพันธุ์ที่มีปริมาณอมัยโลสใกล้เคียงกัน อาจมีคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าวแตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยอื่น เช่น final gelatinization or birefringence end-point temperature และความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) (Perez และ Juliano, 1979)

ข้าวที่มีปริมาณอมัยโลสสูงจะสามารถดูดซึมน้ำได้มากระหว่างการหุงต้ม เมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวที่ฟู ไม่เหนียวติดกัน จึงทำให้ข้าวสุกขยายตัวสูง มีปริมาตรมากหรือที่เรียกว่าข้าวขึ้นหม้อดี ในขณะที่ข้าวอมัยโลสต่ำเป็นข้าวที่เหนียว มีลักษณะเกาะติดเป็นก้อน (งามชื่น คงเสรี, 2542)

ตารางที่ 2.3 ประเภทของข้าวตามมาตรฐานของสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute, IRRI)

ประเภทข้าว	ปริมาณอมัยโลส, ร้อยละ	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0 - 2	เหนียวมาก
ข้าวอมัยโลสต่ำ	10 - 20	เหนียว นุ่ม
ข้าวอมัยโลสปานกลาง	20 - 25	ค่อนข้างร่วน ไม่แข็ง
ข้าวอมัยโลสสูง	25 - 33	ร่วนแข็ง

ที่มา งามชื่น คงเสรี, 2542

ตัวอย่างพันธุ์ข้าวที่จำแนกตามปริมาณอมัยโลส

ข้าวเหนียว	ได้แก่ พันธุ์กข 6 กข10 เหนียวสันป่าตอง เหนียวอุบล 2 หางยี 71 เหมยนอง 62M และแพร่ 1 เป็นต้น
ข้าวอมัยโลสต่ำ	ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข 15 กข 21 เจ้าหอมคลองหลวง เจ้าหอมสุพรรณบุรี กว.ก. 1 และ กว.ก. 2 เป็นต้น
ข้าวอมัยโลสปานกลาง	ได้แก่ พันธุ์ขาวตาแห้ง 17 ขาวปากหม้อ 148 เก้ารวง 88 สุพรรณบุรี 2 สุพรรณบุรี 60 กข 7 และ กข 23 เป็นต้น
ข้าวอมัยโลสสูง	ได้แก่ พันธุ์เหลืองใหญ่ 148 เหลืองประทิว 123 สุพรรณบุรี 90 พลายงามปราจีนบุรี ชัยนาท 1 ปทุมธานี 60 และเฉี้ยงพัทลุง เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency)</u> ความแข็งของข้าวสุกมีความสัมพันธ์กับความคงตัวแป้งสุก โดยความแข็งของข้าวสุกจะวัดได้จากความคงตัวแป้งสุกในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 M ถ้าข้าวมีความคงตัวแป้งสุกสูง แสดงว่าข้าวที่หุงสุกแล้วจะแข็งร่วน และให้ค่า amylograph setback สูงด้วย (Perez และ Julianno, 1979)

<u>ระยะเวลาการหุงต้ม (cooking time)</u> เมล็ดข้าวที่สุกแล้วจะไม่มีไตสีขาวของแป้งดิบภายในเมล็ด ซึ่งระยะเวลาการหุงต้มนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) ซึ่งอาจวิเคราะห์ได้จากการหาค่าการสลายตัวในด่าง (alkali test) โดยการแช่ในโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.7 % เป็นเวลา 23 ชั่วโมง (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 การแบ่งชนิดของข้าวตามค่าอุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก	อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง (องศาเซลเซียส)	ค่าการสลายตัวในด่าง*	ระยะเวลาการหุงต้ม (นาที)
ต่ำ	< 65	6-7	12-16
ปานกลาง	70 – 74	4-5	16-24
สูง	> 75	1-3	> 24

* ดูภาคผนวกที่ ข.6

ที่มา งามชื่น คงเสรี, 2542

อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการหุงต้มยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากับเมล็ดที่หนากว่าจะต้องใช้เวลาการหุงต้มยาวนานกว่า หรือโปรตีนที่บริเวณผิวเมล็ดอาจเป็นอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำทำให้ใช้เวลาหุงต้มยาวนานขึ้น นอกจากนี้แล้ววิธีการหุงต้มยังมีส่วนที่ทำให้คุณภาพข้าวสุกที่ได้แตกต่างกัน เช่น ถ้าใช้ปริมาณน้ำหุงต้มน้อยข้าวสุกที่ได้จะแข็งกระด้าง ถ้าใช้น้ำมากขึ้นข้าวจะนุ่มขึ้นและขยายตัวออกมากจึงมีปริมาตรสูง หรือวิธีการหุงข้าวโดยรินน้ำส่วนเกินทิ้ง (เช็ดน้ำ) จะทำให้ข้าวมีโอกาสดูดซึมน้ำได้มากความแข็งกระด้างลดลง

การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation ratio during cooking) ระหว่างการหุงต้มเมล็ดจะขยายตัวออกทุกด้านโดยเฉพาะด้านยาวของ ข้าวที่มีการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกมาก (งามชื่น คงเสรี, 2542) ดังนั้นเมื่อข้าวสุกแล้วจึงมีปริมาตรรวมสูงและยังทำให้ข้าวนุ่มมากขึ้น เนื่องจากข้าวจะโปร่งขึ้น ไม่อัดตัวกันแน่น

ปริมาณโปรตีน โปรตีนโดยเฉพาะส่วนที่อยู่ที่ส่วนนอกของเมล็ดมีส่วนทำให้ระยะเวลาการหุงต้มข้าวยาวนานขึ้น เนื่องจากโปรตีนไปจะขัดขวางการดูดซึมน้ำเข้าสู่เมล็ด และยังเป็นตัวจำกัดการขยายตัวของเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลาติไนเซชัน (Little และ Dawson, 1960) นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ขัดสีออกได้ยากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความเหนียวลดลงและสีของข้าวสุกจะคล้ำลงด้วย

2.2 ข้าวหุงสุกเร็ว

ข้าวหุงสุกเร็ว (Quick-cooking rice) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภท convenience food พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองวิถีชีวิตสมัยใหม่และส่งเสริมให้มีการบริโภคข้าวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถลดเวลาการหุงต้มข้าวให้สั้นลง ซึ่งวิธีดั้งเดิมใช้เวลาตั้งแต่ 20 นาที ไปจนถึง 30 นาที โดยระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วให้ใช้เวลาหุงต้มให้สั้นลง และปรับปรุงคุณภาพด้านต่าง ๆ อันได้แก่ การลดเวลากระบวนการผลิต การรักษาคุณค่าทางโภชนาการ การลดเวลาการคืนรูป การปรับปรุงลักษณะปรากฏและคุณภาพทางประสาทสัมผัส รวมทั้งภาชนะบรรจุ เป็นต้น

แม้ผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็วจะมีความหลากหลาย อันเนื่องมาจากวัตถุประสงค์ของผลิตภัณฑ์เองหรือกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันก็ตาม แต่โดยรวมแล้วข้าวหุงสุกเร็วคือข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนและทำให้เกิดเจลาติไนเซชันในระดับหนึ่ง โดยการต้มในน้ำและ/หรือใช้ไอน้ำ และนำมาทำแห้งด้วยวิธีที่สามารถทำให้เมล็ดข้าวคงสภาพโครงสร้างภายในเมล็ดแบบมีรูพรุน และเมื่อนำมาคืนรูปโดยการเติมลงในน้ำเดือดหรือใช้เตาไมโครเวฟ น้ำควรสามารถซึมผ่านเมล็ดข้าวได้ในระยะเวลาอันสั้น ประมาณ 5 - 10 นาที ข้าวหุงสุกเร็วที่คืนรูปแล้วควรมีกลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ และลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับข้าวสารที่หุงต้มด้วยวิธีดั้งเดิมให้มากที่สุด (Roberts, 1972, Luh, Roberts และ Li, 1980)

คุณลักษณะของข้าวหุงสุกเร็วที่ดีโดยรวบรวมจากงานวิจัยของ Roberts (1972), Luh, Roberts และ Li (1980) และ Carson, Roberts และ Farkas (1976) แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะของข้าวหุงสุกเร็ว

ก่อนการคืนรูป	หลังการคืนรูป
- มีรูพรุนภายในเมล็ดข้าว - มีปริมาตร 1.5 –3.0 เท่าของข้าวสาร - แห้งและไม่จับกันตัวเป็นก้อน - ความหนาแน่น 0.40-0.42กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (U.S. Government specifications)	- มีลักษณะการพองตัวเช่นเดียวกับข้าวสาร - มีลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติและเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับข้าวที่หุงด้วยวิธีดั้งเดิมมากที่สุด

2.2.1 ขั้นตอนและกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว

การคิดค้นวิธีการผลิตข้าวหุงสุกเร็วเป็นครั้งแรกเป็นของ Ozai-Durrani (1948) และใช้ผลิตเพื่อออกจำหน่ายโดยบริษัท General Foods Corporation ในชื่อ Minute Rice ซึ่งใช้เวลาคืนรูป 10-13 นาที หลังจากนั้นมีนักวิจัยได้คิดค้นวิธีและขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ มากมาย และบางวิธีมีการจดสิทธิบัตรไว้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการให้มากที่สุด

ขั้นตอนและวิธีการผลิตข้าวหุงสุกเร็วมีมากมายที่ใช้ทั่วไปมีดังนี้ (Roberts, 1972 และ Luh, Roberts และ Li, 1980)

2.2.1.1 การแช่-ต้ม/ไอน้ำ-ทำแห้ง (Soak Boil Steam Dry Methods)

กระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วที่มีการคิดค้นเป็นแรกโดย Ozai-Durrani (1948) เริ่มด้วยการแช่ข้าวให้มีความชื้นประมาณ 30 % แล้วให้ความร้อนโดยการต้มน้ำเดือดและ/หรือเป็น เวลา 8-10 นาที จนกระทั่งมีปริมาณความชื้น 65-70 % สะเด็ดน้ำและแช่ในน้ำเย็น 1–2 นาที แล้วจึงทำแห้งข้าวสุกโดยใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วลม 61 เมตรต่อนาที เพื่อให้ความชื้นลดลงเหลือ 8 –14 % ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะโครงสร้างแบบโปร่ง มีรูพรุนภายในเมล็ด และเมื่อนำมาคืนรูปจะใช้เวลา 10-13 นาที หลังจากนั้นมีงานวิจัยและสิทธิบัตรที่พัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วโดยวิธีนี้ออกมาเป็นจำนวนมาก

เช่น การทำ pretreatment เมล็ดข้าวก่อนแช่น้ำ โดยจะให้ความร้อนแบบแห้งแก่เมล็ดข้าวสารเบื้องต้นก่อนการแช่ข้าว ที่เรียกว่า fissuring เพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดรอยแตกร้าว ซึ่งจะทำให้ดูดน้ำขึ้นสู่เมล็ดได้ดีขึ้น

2.2.1.2 การทำให้เกิดการขยายตัวของข้าว (Expanded Dry Pregelatinized Rice Methods)

เป็นวิธีที่อาศัยการเกิดการขยายหรือพองตัวของข้าวที่ผ่านการทำเจลาติไนเซชันเบื้องต้นเมื่อได้รับความร้อนสูง โดยเริ่มจากการแช่ข้าวแล้วให้ความร้อนโดยการต้ม นึ่งหรือให้ความดันแก่ข้าวจนเกิดการเจลาติไนเซชันทั่วถึงแล้วทำแห้งข้าวที่อุณหภูมิต่ำจนข้าวมีความชื้นเหลือร้อยละ 8-14 เมล็ดข้าวที่ได้จะมีลักษณะค่อนข้างแน่นและใส แล้วจึงให้ความร้อนสูงแก่ข้าวเพื่อให้เกิดการพองตัว ซึ่งอาจใช้ลมร้อนที่มีความเร็วลมสูงเป็นที่มีอุณหภูมิในช่วง150-260 องศาเซลเซียส ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จะพองตัวออกมากและใช้เวลาคืนรูป 2 –3 นาที อย่างไรก็ตามข้าวที่คืนรูปแล้วจะมีสีคล้ำลงและไม่มีกลิ่นตามธรรมชาติของข้าวสุกทั่วไป

2.2.1.3 การใช้ลูกกลิ้งหรือการรีด (Rolling or Bumping Treatment)

การรีดทับด้วยลูกกลิ้งหรือการกดทับเมล็ดข้าวหุงสุกบางส่วนแล้วทำให้เกิดรอยแตกและเพิ่มพื้นที่ผิว เมื่อนำไปหุงต้มข้าวจะสามารถดูดซึมน้ำได้รวดเร็วขึ้น กระบวนการผลิตโดยทั่วไป ทำโดยการนำข้าวที่ทำให้สุกบางส่วนมารีดให้เมล็ดลีบแบนลงร้อยละ 30 ถึง 80 ของความหนาเดิมของเมล็ดแล้วจึงทำแห้ง วิธีนี้จะนิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จำพวกซุปผสมชนิดแห้ง

2.2.1.4 การใช้ความร้อนแบบไม่มีไอน้ำ (Dry Heat Treatments)

เป็นวิธีการใช้ความร้อนแบบไม่มีไอ ใช้ในการผลิตข้าวหุงสุกเร็วเพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้ขั้นตอนอื่น ๆ ร่วมด้วย โดยนำข้าวสารและข้าวกล้องมาผ่านการให้ลมร้อนที่ 57-82 องศาเซลเซียส ที่มีความเร็วลม 30-60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ประมาณ 10-30 นาที ข้าวจะเกิดรอยร้าวในแนวขวางของเมล็ด ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการเตรียมข้าวหุงสุกเร็ว 10-15 นาที นอกจากนี้วิธีนี้ยังทำให้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในบางงานวิจัย ซึ่งใช้อุณหภูมิและความเร็วลมร้อนสูงมาก ในเวลาสั้น ๆ ข้าวที่ได้จะแตกร้าวและมีลักษณะขุ่นทึบหรือลักษณะแบบข้าวท้องไข่ และอาจเกิดการ dextrinized ด้วย

2.2.1.5 การแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง (Freeze-Thaw Process)

การใช้กระบวนการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งนั้นจะใช้ร่วมกับวิธีการผลิตแบบ Soak-Boil-Steam-Dry โดยนำข้าวมาแช่น้ำจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลแล้วให้ความร้อนข้าว จากนั้นจึงนำข้าวสุกที่ได้มาลดอุณหภูมิโดยแช่ในน้ำเย็นจัด นำไปทำเยือกแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส และคงเอาไว้ 1 - 3 ชั่วโมง การทำเยือกแข็งนั้นจะต้องทำอย่างช้า ๆ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ ผลึกน้ำแข็งนี้จะทำให้สตาร์ชสูญเสียโครงสร้าง และนำไปสู่การเกิดเป็นรอยแตกหรือช่องว่างภายในเมล็ด สำหรับการทำละลายน้ำแข็งนั้นอาจใช้ลมอุ่นหรือทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องก็ได้แล้วจึงนำไปทำแห้งต่อ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศในขั้นตอนการทำละลายน้ำแข็งอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเปราะเหมือนแก้ว โดยเฉพาะเมื่อใช้อุณหภูมิการทำแห้งสูง

นอกจากขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีขั้นตอนปลีกย่อยอื่น ๆ รวมทั้งยังอาจมีกระบวนการผลิตที่ใช้ขั้นตอนต่าง ๆ ประกอบร่วมกัน

สำหรับในงานวิจัยนี้เมื่อพิจารณาความเหมาะสมในแง่การประหยัดพลังงานและเวลา รวมทั้งต้นทุนการผลิตด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการแช่ - ต้ม/ไอน้ำ-ทำแห้ง ซึ่งมีวิธีการและความสำคัญของขั้นตอนต่าง ๆ มีดังนี้

<u>การแช่ข้าว (Soaking)</u>

การแช่ข้าวสารเป็นขั้นตอนการเตรียมเมล็ดข้าวให้มีปริมาณความชื้นสูงขึ้นจนเข้าสู่สมดุลและกระจายทั่วถึงกันภายในเมล็ด (uniformity) ก่อนการให้ความร้อน ช่วยให้ข้าวเกิดการเจลาติไนเซชันได้ดีขึ้นและลดระยะเวลาในการทำให้ข้าวสุกสั้นลง นอกจากนี้การซึมผ่านของน้ำสู่เมล็ดจะลดแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) จึงช่วยไม่ให้ข้าวเกิดการแตกปริของเมล็ด (bursting) ระหว่างการต้มข้าวในน้ำเดือด อันนำมาสู่การสูญเสียปริมาณผลผลิต

อัตราเร็วของการซึมผ่านของน้ำและปริมาณที่ข้าวดูดซับเอาไว้จะแตกต่างไปตามสายพันธุ์ข้าว ระดับของการขัดสี ระยะเวลาการเก็บข้าวเปลือกก่อนการขัดสี และอุณหภูมิของน้ำที่แช่ โดยทั่วไปแล้วข้าวที่อ่อน ข้าวที่มีระดับการขัดสีสูง หรือการใช้อุณหภูมิการแช่สูงจะช่วยทำให้ข้าวดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น Li และคณะ (1976) ศึกษาค่าการดูดซึมน้ำของข้าวในไต้หวันที่แช่ในอุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.6) พบว่าระยะการแช่ยาวนานขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณการดูดซึมน้ำได้ และที่ระดับเวลาการแช่เดียวกัน อุณหภูมิจะเป็นตัวกำหนดอัตราการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 2.6 ความชื้นของเมล็ดข้าวที่แช่ในสภาวะที่อุณหภูมิและเวลาการแช่แตกต่างกัน

เวลาการแช่ (นาที)	ร้อยละความชื้นที่เพิ่มขึ้น		
	26 องศาเซลเซียส	36 องศาเซลเซียส	52 องศาเซลเซียส
15	21.3	22.7	25.3
30	26.7	26.7	28.0
60	27.3	27.3	28.0

ที่มา Li และคณะ (1976)

<u>การให้ความร้อนข้าวโดยการต้มหรือไอน้ำ</u>

การทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชันนับเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ป็นกระบวนการสำคัญสำคัญของกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็ว การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชเป็นแบบไม่ย้อนกลับ (irreversible) ดังนั้นข้าวหุงสุกเร็วที่เจลาติไนซ์สมบูรณ์แล้วจึงต้องการเพียงการ rehydration เท่านั้นก่อนการเตรียมเพื่อเสิร์ฟหรือรับประทาน สำหรับระยะเวลาการเตรียมก่อนการรับประทานนั้น ข้าวหุงสุกเร็วที่มีการเจลาติไนเซชันสมบูรณ์แล้วจะใช้เวลาเตรียม 5 นาที ในขณะที่ข้าวที่มีกาเจลาติไนเซชันเพียงบางส่วนจะใช้เวลา 10 - 15 นาที (Luh, Roberts และ Li, 1980)

การให้ความร้อนข้าวในสภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแป้งสุกจะทำให้ข้าวเกิดการพองและขยายตัวออก ข้าวเมื่อสุกและมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น (ประมาณ 65-70%) อย่างไรก็ตามหากข้าวได้รับความร้อนมากเกิน จะส่งผลให้ข้าวแตกบานมากเกินไป ทำให้โครงสร้างเมล็ดเสียและเกิดการสูญเสียปริมาณผลผลิตที่ได้ลงลง เนื่องจากเม็ดสตาร์ชที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วบางส่วนจะหลุดออกมาระหว่างการหุงต้ม นอกจากนี้เมื่อเย็นตัวลงทำให้ข้าวเกิดการเชื่อมติดกันของเมล็ดข้าว

Smith และคณะ (1985) ศึกษาการให้ความร้อนแก่ข้าวเมล็ดยาวพันธุ์ Bluebonnet ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 15 นาที โดยใช้อุณหภูมิและเวลาการต้มที่แตกต่างกัน ได้แก่ อุณหภูมิการต้ม 85 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 10 และ 15 นาที พบว่าข้าวที่ใช้อุณหภูมิการต้ม 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะมีค่าร้อยละเจลาติไนเซชันสูงสุด (88.0-90.0)

รองลงมา ได้แก่ การต้มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (79.0-83.0) และการต้มที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (79.0-83.0)

ในปี 1988 Ghosh และ Mukherjee ได้ศึกษาการให้ความร้อนที่เหมาะสมของการผลิตข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวนึ่ง (Parboiled rice) พันธุ์ Patnai ด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน ได้แก่ การต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที การต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีตามด้วยการนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 5 นาที และสุดท้ายคือ การนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 10 นาที พบว่าข้าวที่ให้ความร้อนโดยการต้มเพียงอย่างเดียวจะมีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด คือมีค่าร้อยละความชื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 73.1 รองมาคือวิธีการใช้การต้มร่วมกับการนึ่งไอน้ำ (60.2) และวิธีการนึ่งไอน้ำเพียงอย่างเดียว (51.8) ตามลำดับ

<u>การทำแห้ง (Drying)</u>

เป็นขั้นตอนการลดปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวสุก และมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตข้าวหุงสุกเร็วเนื่องจากจะส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าวที่ได้ สภาวะการทำแห้งที่ใช้ต้องสามารถทำให้ความชื้นบริเวณผิวเมล็ดระเหยออกมาได้เร็วทันกับการแพร่ (diffuse) ของความชื้นออกมาจากส่วนภายในเมล็ด ซึ่งอัตราการถ่ายโอนความร้อนนั้นเป็นแปรตามอุณหภูมิและความเร็วของลมร้อน (Carson, Roberts, และ Farkas, 1976) สภาวะการทำแห้งที่ดีควรทำให้ข้าวมีปริมาณความชื้นลดลงน้อยกว่าร้อยละ 14 และสามารถรักษาลักษณะโครงสร้างแบบรูพรุนของข้าวไว้ได้ซึ่งพิจารณาได้จากค่าอัตราการขยายตัว เพื่อให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ได้ใช้เวลาในการคืนรูปน้อยที่สุด

Ghosh และ Mukherjee (1988) ยังได้ศึกษาเวลาการคืนรูปของข้าวหุงสุกเร็วที่ได้จากการทำแห้งข้าวสุกโดยการใช้ตู้อบลมร้อนที่มีอุณหภูมิลมร้อนแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 65 80 และ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วลมร้อน 7.1 ลูกบากศ์เมตรต่อนาที พบว่าอุณหภูมิลมร้อน 80 และ 100 องศาเซลเซียส จะทำให้ข้าวหุงสุกเร็วที่ใช้เวลาการคืนรูป (12 นาที) สั้นกว่า การใช้อุณหภูมิลมร้อน 65 องศาเซลเซียส (3 นาที) และเมื่อพิจารณาค่า swelling ratio ซึ่งทดสอบโดยการนำข้าว 10 กรัมมาคืนรูปในน้ำเดือดแล้ววัดและคำนวณสัดส่วนน้ำหนักของข้าวที่เพิ่มขึ้น พบว่า ข้าวหุงเร็วที่ทำแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีค่า swelling ratio สูงที่สุด คือ 3.4 รองลงมาได้แก่ข้าวที่ทำแห้งที่ 80 และ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเป็น 3.3 และ 3.2 ตามลำดับ

2.3 ไอโอดีน

ไอโอดีนเป็นธาตุอโลหะ มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ ไม่พบในรูปอิสระตามธรรมชาติแต่พบอยู่ในรูปสารประกอบของไอโอไดด์ (I^-) และ ไอโอเดต (IO_3^-) พบตามเปลือกโลกและในน้ำทะเล (Ensmigmer และคณะ, 1994) ไอโอดีนจัดเป็นจุลธาตุที่มีจำเป็นและมีความสำคัญต่อสุขภาพร่างกาย

2.3.1 ความสำคัญของไอโอดีนต่อร่างกาย

ในร่างกายคนมีไอโอดีนประมาณ 20 - 50 มิลลิกรัม โดยพบอยู่ในต่อมธัยรอยด์ประมาณร้อยละ 70 - 80 ปริมาณไอโอดีนในต่อมธัยรอยด์มีความสัมพันธ์กับปริมาณไอโอดีนในอาหารที่บริโภค โดยไอโอดีนจากอาหารจะถูกซึมสู่ลำไส้แล้วเข้าสู่กระแสเลือดในรูปไอโอไดด์ โดยส่งไปที่ต่อมธัยรอยด์ร้อยละ 30 ที่เหลือจะถูกกำจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว ผ่านทางปัสสาวะ (Hass, 2003)

ต่อมธัยรอยด์จะจับไอโอไดด์ไว้เพื่อใช่ผลิตธัยรอยด์ฮอร์โมน โดยภายในต่อมธัยรอยด์ไอโอไดด์จะถูดออกซิไดด์ด้วยเอนไซม์ thyroid peroxidase และ hydrogen peroxidase ได้เป็นไอโอดีนดังสมการต่อไปนี้

$$2I^- + H_2O_2 \xrightarrow{\text{thyroid peroxidase}} I_2 \text{ (active iodine)}$$

ร่างกายจะนำไอโอดีนที่ได้ไปสร้างฮอร์โมน thyroxine (T_4) และ triiodiothyronine (T_3) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน tyrosine กลไกสร้างที่ T_4 และ T_3 นั้นเริ่มด้วย ไอโอดีนจะไปจับกับ tyrosine residue ที่รวมอยู่กับ thyroglobin กลายเป็น mono- และ diiodotyrosine (MIT และ DIT) ตามลำดับ โดย MIT และ DIT จะรวมกันได้เป็น triiodothyrosine (T_3) และ และ DIT ก็จะรวมตัวกันเองได้เป็น tetraiodothyrosine หรือคือ thyroxine (T_4) (White Phillip และ Smith, 1973)

thyroxine และ triiodiothyronine มีหน้าที่ควบคุมการเผาผลาญสารอาหารเพื่อให้พลังงานแก่ร่างกาย และเป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต โดยเฉพาะโครงสร้างของร่างกาย สมองและระบบประสาท การขาดไอโอดีนจะทำให้ร่างกายลดการผลิตธัยรอยด์ฮอร์โมนลง การลด thyroxine จะไปกระตุ้นให้ต่อม pituitary เพิ่มการผลิตธัยรอยด์ เป็นผลให้ต่อมธัยรอยด์

ทำงานหนักขึ้น และมีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดเป็นลักษณะที่เรียกว่า คอพอก (goiter) ในหญิงตั้งครรภ์จะส่งผลให้แม่แท้งบุตรและโอกาสที่ทารกตายมีสูงขึ้น ทารกอาจมีการพิการแต่กำเนิด เช่น หูหนวก เป็นใบ้ เมื่อเด็กเติบโตขึ้นจะมีพัฒนาการทางสมองลดลง รูปร่างแคระแกร็น พุงยื่น หลังแอ่น หน้าผากแคบและจมูกบาน ซึ่งเรียกว่าภาวะเครติน (Cretinism) โดยความรุนแรงของอาการขึ้นกับระดับของการขาดไอโอดีน (ประณีต ผ่องแผ้ว, 2539; Juliano, 1993; Ensminger และคณะ, 1994; Hurrell, 1998)

2.3.2 การเสริมไอโอดีนในอาหาร

ในประเทศไทย โรคที่เกิดจากการขาดไอโอดีน (Iodine Deficiency Disorder, IDD) นับเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญ เนื่องจากคนไทยมักได้รับไอโอดีนจากอาหารไม่เพียงพอโดยเฉพาะชาวเขาและคนที่อยู่ในเขตชนบทห่างไกล จึงได้ทดลองการเสริมไอโอดีนในอาหารหลายประเภท โดยเกลือเสริมไอโอดีนเป็นแหล่งไอโอดีนหลักในอาหาร รองลงมาคือการเสริมไอโอดีนในน้ำดื่ม สำหรับน้ำมันเสริมไอโอดีนในแคปซูลมักใช้ในเขตพื้นที่ห่างไกลที่ซึ่งเกลือและน้ำดื่มเสริมไอโอดีนเข้าไปถึงได้ยาก โดยจะใช้กับประชากรกลุ่มเป้าหมายรวมทั้งหญิงในวัยเจริญพันธุ์ หญิงตั้งครรภ์และเด็กในวัยเรียน นอกจากนี้ยังมีการเสริมไอโอดีนในน้ำปลา บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ไข่ไก่ ข้าว (ชุติมา อัศวเสถียร, 2543; ธนานันต์ โรจนศศิธรา, 2545 และจารุภัทร ลือชา, 2545) และอื่น ๆ (Sinawat และคณะ, 1998)

หลักการพิจารณาการเลือกรูปแบบของไอโอดีนที่ใช้เสริม คือ ความบริสุทธิ์ของเกลืออัลคาไล และความเสถียรของเกลืออัลคาไล (FAO, 1996) ในปัจจุบันมีรูปแบบที่สำคัญของไอโอดีนที่นิยมใช้ในเสริมไอโอดีน ได้แก่ ในรูปไอโอไดด์ (I^-) และไอโอเดต (IO_3^-) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีของสารประกอบไอโอดีนพบว่าเกลือในรูปของไอโอเดตจะมีความเสถียรมากกว่าเกลือในรูปของไอโอไดด์ ดังตารางที่ 2.7 โดยอัลคาไลด์ไอโอเดตมักอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนและมีความสามารถละลายในน้ำได้น้อยกว่า และไม่ระเหยง่ายเหมือนอัลคาไลด์ไอโอไดด์ เมื่อนำมาใช้เสริมในอาหารในปริมาณที่เหมาะสมจะไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่ร่างกาย (George และ Gessner,1966; McDowell, 1992)

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางเคมีของสารประกอบไอโอดีน (Kutsky, 1981)

I_2 Compounds	Reactions			Solubility				Density	MW	MP	XL orm	Color	Appearance	%Element
	Heat (°C)	Air	Water	H_2O (g/100cc.)	Alc.	Eth.	Acid		hyd./anh.	(°C)		XL/Powd.	Commercial Form	hyd./anh.
NaI	BP 1304°	deliq.	alk. pH 8-9	184	S	NA	NA	3.67	-/149.9	651°	cuble	col./wh.	C, G	-/84.7
KI	BP 1330°	deliq.	alk. pH 7-9	144	S	SS	NA	3.12	-/166.0	686°	cuble hex.	col./wh.	C, G, P	-/76.5
KIO_3	d. > 1304°	NA	NA	8.5	I	NA	NA	3.89	-/214.0	560°	monocl.	col./wh.	C, P	-/18.3

อักษรย่อ : deliq. = deliquesces; Alc. = alcohol; Eth. = ether; I = insoluble; SS = slightly soluble; S = soluble; hyd. = hydrous; anh. = anhydrous; d. = decomposes; XL = crystal; Powd. = powder; col. = colored; wh. = white; C. = crystalline; G. = granule; P = powder; MW = molecular weight; MP = melting point; NA = not available; alk. = alkaline; hex. = hexagonal; monocl. = monoclinic; BP = boiling point

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับวิธีการเสริมสารอาหารให้เมล็ดข้าวมีดังนี้

1. การเสริมสารอาหารในรูปผง (Powder enrichment) โดยการผสมสารอาหารในรูปผงที่ต้องการเสริมมาผสมให้เข้ากันก่อนเป็น Preblended powder mixture จึงผสมลงในข้าว วิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่น แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเนื่องจากอาจสูญเสียสารอาหารไปหากนำข้าวไปล้าง คิดเป็น 20 – 100 % (Hoffpauer, 1992)

2. การเสริมทั้งเมล็ด (Whole grain enrichment) ซึ่งจะเสริมสารอาหารลงในเมล็ดข้าวและตามด้วยการเคลือบสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ จากนั้นจึงนำข้าวเสริมสารอาหารนี้หรือที่เรียกว่า premix grain มาผสมกับข้าวสารที่ไม่ได้เสริมในสัดส่วนข้าวที่เสริม 1 เมล็ดต่อข้าวที่ไม่ได้เสริมสารอาหาร 200 เมล็ด

ในงานวิจัยของชุติมา อัศวเสถียร (2543) ได้ทดลองเสริมไอโอดีนในโดยฉีดพ่นโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ลงในแปลงเพาะปลูก อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดของความเข้มข้นของสารฉีดพ่นจึงทำให้ปริมาณไอโอดีนในข้าวค่อนข้างต่ำ และนอกจากนี้ยังศึกษาเสริมไอโอดีนโดยการเคลือบด้วยเจลแป้งข้าวเจ้า เจลแป้งข้าวเหนียว และเจลพอลิเมอร์ผสม Hydroxypropyl methylcellulose และ methylcellulose ซึ่งทำให้ข้าวมีค่าปริมาณไอโอดีนหลังการล้างข้าวในช่วงร้อยละ 61.21-99.01 ต่อมาในปี 2545 ธนานันต์ โรจนะศศิธรา ศึกษาการเสริมไอโอดีน สังกะสีและเหล็ก โดยการเคลือบบนผิวเมล็ดข้าว โดยใช้เจลแป้งเป็นสารเคลือบ พบว่าข้าวที่ได้จะมีค่าร้อยละการคงเหลือของไอโอดีนในข้าวพันธุ์หอมคลองหลวงสูงถึง 94.16%

จารุภัทร ลือชา (2545) ศึกษาการเสริมไอโอดีนในข้าวนึ่ง โดยการแช่ข้าวเปลือกและข้าวกล้องในสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตที่มีปริมาณไอโอดีนคิดเป็น 500 และ 1000 ไมโครกรัมต่อข้าวกล้อง 100 กรัม พบว่าข้าวกล้องนึ่งที่ได้มีปริมาณไอโอดีนอยู่ในช่วง 90.79 และ 98.53 ไมโครกรัมต่อข้าว 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

เมื่อพิจารณาวิธีการเสริมไอโอดีนในข้าวหุงสุกเร็วในงายวิจัยนี้พบว่าวิธีการเคลือบด้วยเจลแป้งหรือพอลิเมอร์นั้น แม้สามารถทำให้มีการคงเหลือไอโอดีนหลังการล้างหรือหุงข้าวสูง แต่การเคลือบที่ผิวเมล็ดนั้นจะทำให้ปิดช่องว่างบนผิวข้าวหุงสุกเร็ว ทำให้ข้าวมีโครงสร้างเมล็ดแบบปิด ซึ่งอาจทำให้ต้องใช้เวลาการคืนรูปที่ยาวนานขึ้นซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ การเสริมไอโอดีนโดยการแช่จึงอาจเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเร็ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย