บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ข้าว (Rice)

ข้าวเป็น พืชเกษตรที่สำคัญในประเทศกำลังพัฒนา ทั้งยังเป็นอาหารหลักของประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลก ข้าวมีประมาณ 20 สกุล แต่ข้าวที่มีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลาย คือ ข้าว ที่จัดอยู่ใน สกุลออไรซ่า (genus: Oryza) และเป็นพืชตระกูลหญ้าอยู่ในแฟมมีลี่กรามีนิอี้ (family: Gramineae) (มรกต และศิริพร , 2547) สามารถปลูกและขยายพันธุ์ได้ง่าย และสามารถขึ้นได้ดีในสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ตั้งแต่เขตร้อน พื้นที่ลุ่มน้ำท่วมขัง และพื้นที่ดอน ทำให้พันธุ์ข้าวมีความหลากหลาย จึงต้องพิจารณาแบ่งชนิดของข้าวตามลักษณะต่างๆ ดังนี้

2.1 การจำแนกข้าว

การจำแนกข้าวออกเป็นหลายรูปแบบด้วยกัน โดยจัดแบ่งได้ 3 แบบดังนี้

2.1.1 จำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีของข้าว (งามชื่น, 2546) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1.1 ข้าวเจ้า (Non-glutinous rice) ประกอบด้วยสตาร์ช (starch) ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแป้งมีส่วนประกอบใหญ่ๆ 2 ส่วนด้วยกัน คือ อะไมโลเพคติน (เป็นโพลีเมอร์ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็นกิ่งก้าน) ประมาณ 60-90 เปอร์เซ็นต์ และอะไมโลส (เป็นโพลีเมอร์ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็นเส้นตรง) ประมาณ 10-30 เปอร์เซ็นต์

2.1.1.2 ข้าวเหนียว (Glutinous rice) ประกอบด้วย อะไมโลเพคติน 95 เปอร์เซ็นต์ มีอะไมโลสน้อยมาก บางครั้งพบว่าไม่มีเลย

ดังนั้นการจำแนกตามคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ด พบว่าข้าวมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ชนิด คือ อะไมโลสและอะไมโลแพกติน ทำให้คุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ต่างๆ แตกต่างกัน การจัดแบ่งชนิดข้าวตามปริมาณ อะไมโลส สามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท ดัง**ตารางที่ 2.1**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 การแบ่งข้าวตามปริมาณอะไมโลส (งามชื่น, 2546)

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)	ลักษณะข้าวสุก	ชนิดข้าวที่รู้จักกันทั่วไป
ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก	ข้าวเหนียว
ข้าวอะไมโลสต่ำ	10-20	เหนียวนุ่ม	ข้าวหอมมะลิ
ข้าวอะไมโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง	ข้าวขาวตาแห้ง
ข้าวอะไมโลสสูง	25-30	ร่วนแข็ง	ข้าวเสาไห้

2.1.2 จำแนกตามลักษณะที่กำหนดเพื่อการซื้อขายในตลาดโลก (Dela Cruz and Khush, 2000)

เกณฑ์การจำแนกเมล็ดข้าวสารตามความยาวและตามรูปร่าง **ดังภาพที่ 2.1 และ 2.2** และได้จำแนกเมล็ดข้าวตามลักษณะที่กำหนดเพื่อการซื้อขายในตลาดโลกจะแบ่งได้ 4 ชนิด ดังนี้

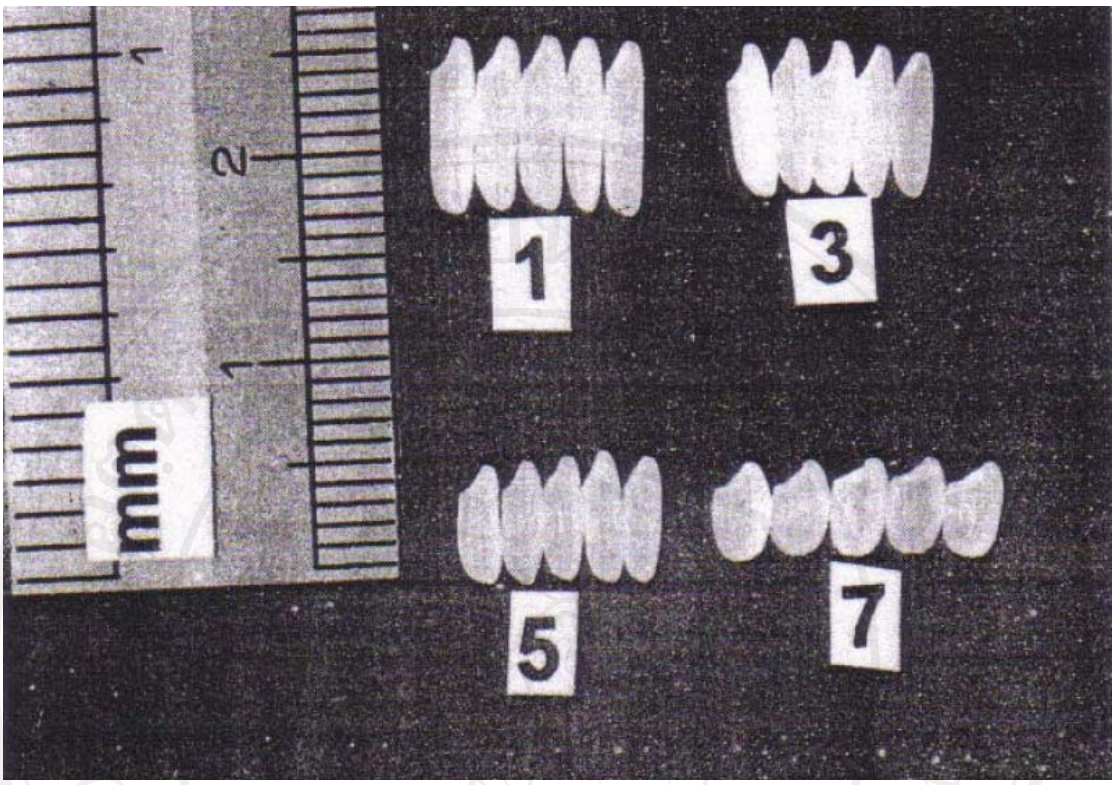
2.1.2.1 ข้าวเมล็ดยาว หมายถึง ข้าวเต็มเมล็ดที่มีความยาวตั้งแต่ 6.61-7.00 มิลลิเมตร หรือยาวเกิน 7.00 มิลลิเมตร

2.1.2.2 ข้าวเมล็ดปานกลาง หมายถึง ข้าวเต็มเมล็ดที่มีความยาวตั้งแต่ 5.51-6.60 มิลลิเมตร

2.1.2.3 ข้าวเมล็ดสั้น หมายถึง ข้าวเต็มเมล็ดที่มีความยาวตั้งแต่ 5.50 มิลลิเมตร ลงไป

2.1.2.4 ข้าวชนิดพิเศษ หมายถึง ข้าวที่ผู้ซื้อสั่งตามจุดประสงค์เฉพาะ เช่น ข้าวหอม ข้าวเหนียว และข้าวนึ่ง เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.1 เกณฑ์การจำแนกเมล็ดข้าวสารตามขนาด (ความยาว) (Dela Cruz and Khush, 2000)

โดยให้แทนค่าคะแนน ดังนี้

คะแนน ขนาด ความยาว (มม.)

1 ยาวมาก มากกว่า 7.50

2 ยาว 6.61 ถึง 7.50

3 ปานกลาง 5.51 ถึง 6.60

4 สั้น น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5.50

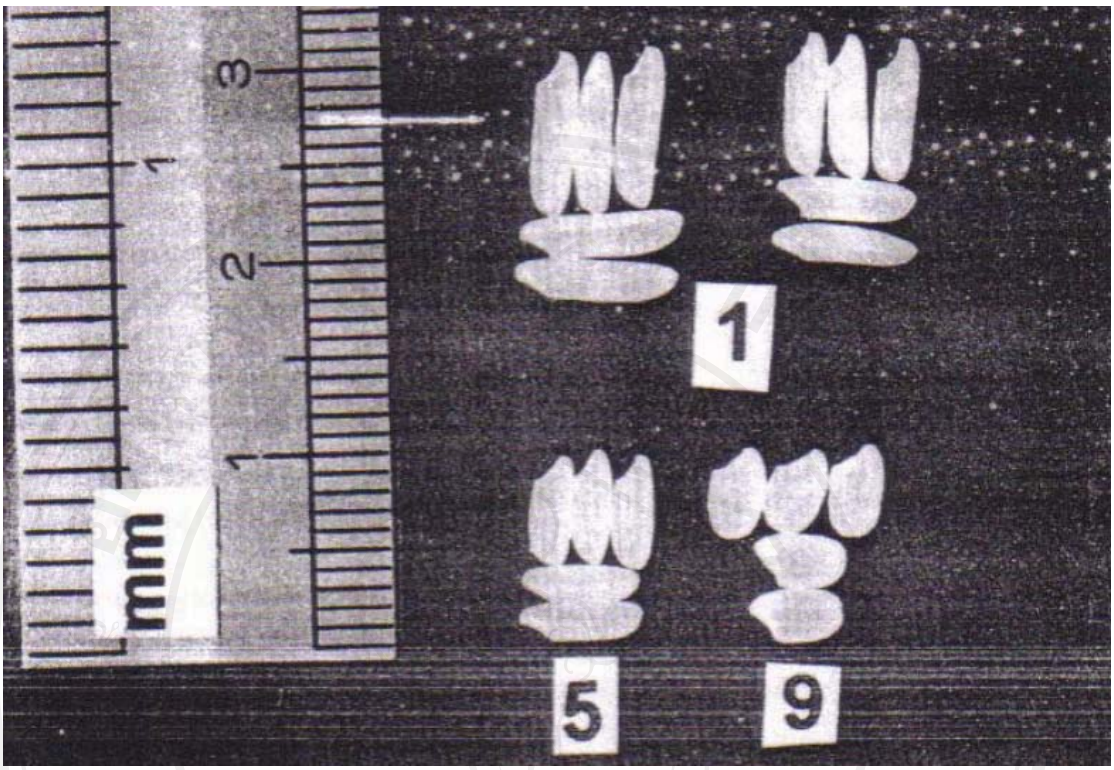
งามชื่น (2531) กล่าวว่า ความยาวของเมล็ดข้าวมีผลต่อคุณภาพข้าวสุก ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ของขนาดเมล็ดกับลักษณะของข้าวสุกดังนี้

ข้าวเมล็ดยาว เมื่อสุกจะเป็นเมล็ดที่อ่อนนุ่ม แต่ละเมล็ดแยกจากกัน

ข้าวเมล็ดปานกลาง มีแนวโน้มจะมีการติดกัน แฉะเล็กน้อย

ข้าวเมล็ดสั้น ค่อนข้างเหนียว ติดกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.2 เกณฑ์การจำแนกเมล็ดข้าวสารตามรูปร่าง (Dela Cruz and Khush, 2000)

โดยให้แทนค่าคะแนน ดังนี้

คะแนน	รูปร่าง	อัตราส่วนความยาว :กว้าง
1	ยาว (Slender)	มากกว่า 3.0
2	ปานกลาง (Medium)	2.1 ถึง 3.0
3	สั้น/อวบ (Bold)	2.0 หรือน้อยกว่า 2.0

2.1.3 จำแนกตามลักษณะพันธุกรรม (จิรารัตน์, 2544) แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

2.1.3.1 ข้าวสายพันธุ์อินดิคา (*O. sativa,* indica) เป็นสายพันธุ์ที่ขึ้นได้ดีในสภาพร้อนชื้นและพื้นที่ลุ่มมีน้ำขังเป็นส่วนใหญ่ เช่น พื้นที่ในทวีปเอเชียตอนใต้ ได้แก่ ประเทศอินเดีย ปากีสถาน และไทย มีลักษณะเมล็ดมักจะเรียว ยาว มีลักษณะข้าวสุกที่ร่วน เมล็ดไม่เกาะติดกัน และมีเนื้อสัมผัสที่แข็งเมื่อเคี้ยว

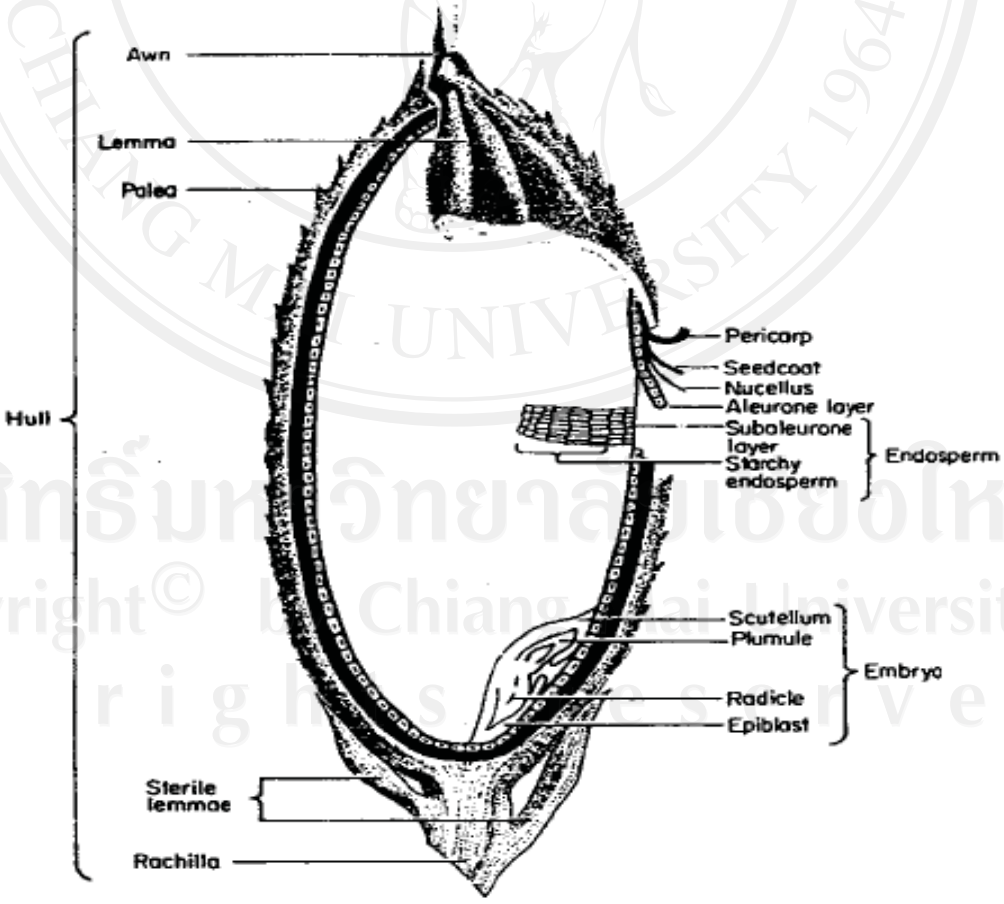
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3.2 ข้าวสายพันธุ์จาปอนิคา (*O. sativa,* japonica) ขึ้นได้ดีในสภาพอากาศในเขตอบอุ่น ค่อนข้างเย็น แต่ไม่หนาวเย็น และพื้นที่ลุ่มแต่น้ำขังไม่มากนัก เช่น เกาหลี ญี่ปุ่น และจีนตอนเหนือ ลักษณะเมล็ดข้าวอ้วน กลม ป้อม มีลักษณะข้าวสุกที่ค่อนข้างเหนียวเมล็ดเกาะติดกันและมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม

2.1.3.3 ข้าวสายพันธุ์จาวานิคา (*O. sativa,* javanica) เป็นสายพันธุ์ที่มีลักษณะพันธุกรรมผสมกันระหว่าง ข้าว Indica กับ Japonica พื้นที่ปลูกมักมีสภาพเป็นเกาะ เช่น ประเทศอินโดนิเซีย มีลักษณะเมล็ดขนาดปานกลาง ลักษณะข้าวสุกไม่ร่วนและไม่เหนียวมาก เนื้อสัมผัสไม่แข็งและไม่นุ่มมากเท่าสายพันธุ์ Indica กับ Japonica

2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกนอกที่ทำหน้าที่ปกป้องเมล็ดจากภายนอกและส่วนที่เป็นเมล็ดข้าว **(ภาพที่ 2.3)**



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano, 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนประกอบของเมล็ด (อรอนงค์, 2538; งามชื่น, 2531)

2.2.1 เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด หรือแกลบ (Hull)

เป็นส่วนของกลีบดอก (palea และ lemma) ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดเอาไว้ภายใน ส่วนนี้มีน้ำหนักประมาณ 18-28 เปอร์เซ็นต์ ของเมล็ดข้าวเปลือก หุ้มรอบเมล็ดข้าวกล้อง ประกอบด้วยเปลือก 2 ฝา ประกอบด้านข้างของเมล็ดตามแนวยาว มีปริมาณเซลลูโลส (cellulose) สูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน (lignin) 30 เปอร์เซ็นต์ เพนโทแซน (pentosans) 15 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเถ้า 21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นซิลิกา (silica) ถึง 95 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 ส่วนที่รับประทาน ประกอบด้วย

2.2.2.1 เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มอยู่รอบเมล็ดตามความยาวของเมล็ดมีอยู่ด้วยกัน 6 ชั้น มีผนังบางอยู่ ชั้นนอกสุด ผนังเซลล์ของเปลือกหุ้มผลมีความหนา 2 ไมโครเมตร มีองค์ประกอบเคมีเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงร่างเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน รวมทั้งแร่ธาตุต่างๆ มีรายงานว่าเปลือกหุ้มผลมีปริมาณประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของเมล็ด ประกอบด้วย โปรตีน 6 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 2 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส 20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.5 เปอร์เซ็นต์ อีก 71.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (non-starch constituents) นอกจากนี้ยังคงพบรงควัตถุแอนโธไซยานิน (anthocyanin pigment) ในชั้นนี้อีกด้วย

2.2.2.2 เปลือกหุ้มเมล็ด (Tegmen หรือ Seed coat) เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียว สองแถว หรือมากกว่านั้น เซลล์ชั้นในมีสารให้สีอยู่ด้วยทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่างๆ นอกจากนี้ยังเป็นชั้นที่อุดมไปด้วยไขมัน จึงมีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่เนื้อเมล็ด ชั้นนี้มีความหนาประมาณ 5 ถึง 8 ไมโครเมตร

2.2.2.3 ชั้นเยื่อโปร่งใส (Hyaline layer หรือ Nucellus) อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใสและยังประกอบด้วยสารให้สี เช่นเดียวกับในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

2.2.2.4 ชั้นแอลิวโรน หรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (Aleurone layer) มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง ผนังเซลล์หนา ประกอบด้วยโปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยในข้าวประกอบด้วยเซลล์ในชั้นนี้ 1 ถึง 7 ชั้น ชั้นแอลิวโรนเป็นชั้นที่สำคัญเพราะอุดมด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด โดยภายในเซลล์แอลิวโรนจะมีเมล็ดแอลิวโรน (aleurone grain) อยู่มากมายซึ่งภายในเมล็ดเป็นกรดไฟติก (สารประกอบของธาตุฟอสฟอรัส) มีเกลือโพแทสเซียม และแมกนีเซียมรวมทั้งยังอุดมด้วยโปรตีนและไขมันสะสมอยู่โดยจะห่อหุ้มเมล็ดแอลิวโรนเอาไว้ ทั้งยังอุดมไปด้วยวิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบี 1 (thiamine) วิตามินบี 2 (riboflavin) และวิตามินบี 3 (Niacin) ซึ่งพบในชั้นนี้มากกว่าในส่วนอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2.5 คัพภะ (Germ หรือ Embryo) เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ดหรือจุดกำเนิดของต้น จึงอยู่ด้านฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด มีชั้นแอลิวโรนล้อมรอบอยู่ภายในคัพภะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนสกูเทลลัม (scutellum) เป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และส่วนของคัพภะ (embryonic axis) ซึ่งพร้อมจะเจริญเป็นยอดอ่อน ต้นและรากต่อไป ในส่วนนี้จะอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินเพื่อการเจริญเติบโต สารอาหารที่มีมากคือ โปรตีน (อยู่ในรูป protein bodies) และไขมัน (อยู่ในรูป lipid bodies) ส่วนวิตามินที่มีมากคือ วิตามินบี และวิตามินอี (tocopheral)

2.2.3 ส่วนของข้าวสารหรือเอนโดสเปิร์ม (Starchy endosperm) แบ่งเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ที่มีผนังบางมีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ ส่วนที่อยู่ถัดไปเป็นเซลล์เนื้อเมล็ด (inner endosperm) ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดศูนย์กลางเมล็ด เซลล์เหล่านี้จะมีผนังเซลล์บาง ส่วนของผนังเซลล์ซึ่งถือเป็นกำแพงห่อหุ้มเนื้อเมล็ดนี้ จะประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เพนโทแซน และเบต้า-กลูแคน (β-glucan) แทบจะไม่มีเซลลูโลสอยู่เลย ส่วนภายในเซลล์เนื้อเมล็ดจะประกอบด้วยสตาร์ช (starch granule) ซึ่งเม็ดแป้งของข้าวจะมีขนาดเล็กมาก (3-5 ไมครอน) เป็นรูปเหลี่ยม ลักษณะเม็ดส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่เป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่ม แต่ก็พบร่วมอยู่กับเมล็ดเดี่ยวเช่นกัน โปรตีนที่พบในเนื้อเมล็ดจะอยู่ร่วมกับเม็ดสตาร์ชโดยเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบอยู่ในชั้นติดกับชั้นแอลิวโรนเป็นส่วนใหญ่

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก คือ คาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปของสตาร์ช (starch) นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ (ในรูปของเถ้า) ดังแสดงใน **ตารางที่ 2.2** นอกจากนี้ยังวิตามินในข้าวด้วย เช่น วิตามินบี 1 ส่วนประกอบเหล่านี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “แป้ง” ซึ่งมีองค์ประกอบ เป็นอะไมโลสและอะไมโลเปคตินในสัดส่วนต่างๆ กัน มีผลทำให้ข้าวมีลักษณะในการหุงต้มและคุณภาพการขัดสีแตกต่างกัน (อรอนงค์, 2538)

2.3.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

2. 3.1.1 สตาร์ช (Starch) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 :10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชเป็นโพลีเมอร์ของกลูโคส ประกอบด้วยโมเลกุลของ anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายโพลีเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยโพลีเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลสซึ่งเป็นโพลีเมอร์เชิงเส้น และอะไมโลแพคตินซึ่งเป็นโพลีเมอร์เชิงกิ่งภายในแนวรัศมี สตาร์ชที่มีอัตราส่วนของปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ (ต่อ 100 กรัม) (Juliano, 1985)

ผลผลิต	โปรตีน (กรัมไนโตรเจน x 5.95)	ไขมัน (กรัม)	เยื่อใย (กรัม)	เถ้า (กรัม)	พลังงาน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)
ข้าวเปลือก	5.8 – 7.7	1.5 – 2.3	7.2 – 10.4	2.9 – 5.2	378	64 – 73
ข้าวกล้อง	7.1 – 8.3	1.6 – 2.8	0.6 – 1.0	1.0 – 1.5	363 – 385	73 – 87
ข้าวขาว	6.3 – 7.1	0.3 – 0.5	0.2 – 0.5	0.3 – 0.8	349 – 373	77 – 89
รำข้าว	11.3 – 14.9	15.0 – 19.7	7.0 – 11.4	6.6 – 9.9	399 – 476	34 – 62
เปลือกข้าว	2.0 –2.8	0.3 – 0.8	34.5 – 45.9	13.2 – 21.0	265 – 332	22 – 34

1). อะไมโลแพคติน (Amylopectin)

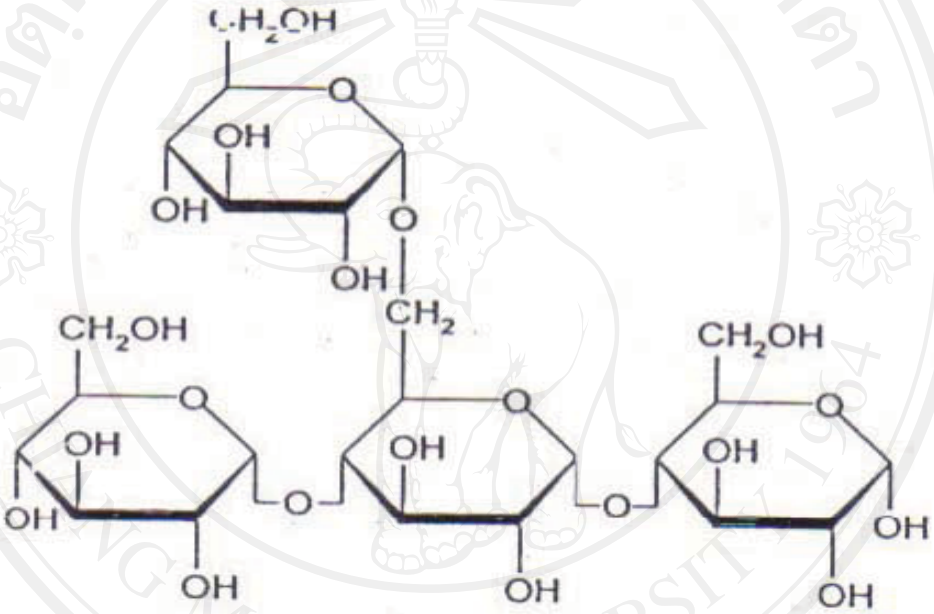
อะไมโลแพคตินเป็นพอลิเมอร์ ที่เกิดจากการรวมตัวกันของกลูโคสเป็นโมเลกุล มีการจัดเรียงพิเศษโครงสร้างเป็นลักษณะที่แยกเป็นกิ่งก้าน (branched fraction) เชื่อมกันด้วยพันธะ α - 1,6-glucosidic linkage **(ภาพที่ 2.3)** ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1,6-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี degree of polymerization (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย

2). อะไมโลส (Amylose)

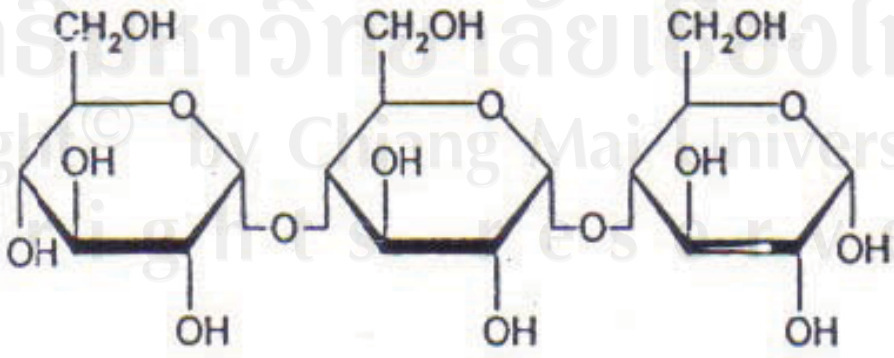
อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย กลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย มีการจัดโครงสร้างเป็นลักษณะเส้นแนวยาว (linear fraction) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1,4- glucosidic linkage **(ภาพที่ 2.4)** ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเมล็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง โดยส่วนของอะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลแพคติน บางส่วนกระจายอยู่ในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (cryatalline)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะดูดน้ำ และขยายปริมาตรในการหุงต้มได้ดีกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ มีผลทำให้ข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มากหรือเรียกว่าหุงขึ้นหม้อ ดังนั้นสัดส่วนระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม กล่าวคือ อะไมโลเพคตินทำให้ข้าวสุกเหนียว ในขณะที่อะไมโลสทำให้ความเหนียวของข้าวสุกลดลง เช่น ข้าวเหนียวมีอะไมโลเพคตินสูงหรืออะไมโลส ปนอยู่เพียงเล็กน้อยข้าวสุกจึงเหนียว ส่วนข้าวสารที่มีอะไมโลสสูงข้าวสุกมักร่วนและแข็งกว่าอะไมโลสปานกลาง และต่ำตามลำดับ (หยาดฝน, 2548)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลแพคติน (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของอะไมโลส (กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2543)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.1.2 พอลิเมอร์คาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช พบมากในเปลือกหุ้มเมล็ดมากกว่าในเนื้อและคัพภะของเมล็ด เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่วิเคราะห์ได้ในรูปเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารประกอบพวกเพกติน ลิกนิน และโปรตีนที่ติดยึดเป็นองค์ประกอบ (อรอนงค์, 2538)

2.3.1.3 น้ำตาลอิสระ น้ำตาลอิสระที่พบมากในคัพภะและเนื้อเมล็ดของข้าว คือ ซูโครส นอกนั้นเป็น แรฟฟีโนส กลูโคส และฟรุคโตส โดยพบว่าน้ำตาลทั้งหมดในคัพภะมีประมาณ 8-25 เปอร์เซ็นต์ ในรำมีประมาณ 6.5 เปอร์เซ็นต์ และในข้าวสารมีประมาณ 0.52 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลที่ไม่ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ (non raducing suger) ที่สำคัญ คือ ซูโครส ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบมากคือ กลูโคสและฟรุคโตส (จิรารัตน์, 2544)

2.3.2 โปรตีน (Protein)

ในเมล็ดข้าวมีโปรตีนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 8 ซึ่งมากเป็นอันดับสอง รองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนส่วนใหญ่เป็นกลูเตลิน (glutelin) มีมากกว่าร้อยละ 80 เป็นโปรตีนที่ละลายในด่าง เมื่อวิเคราะห์หากรดอะมิโน ระหว่างข้าวจ้าวและข้าวเหนียวพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่า ลักษณะยีนข้าวจ้าวหรือข้าวเหนียวไม่มีผลต่อโครงสร้างของโปรตีน (พิชยา, 2541) โปรตีนพบอยู่บริเวณของเม็ดแป้งหรือฝังอยู่ภายในเม็ดแป้ง การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งกับโปรตีนเกี่ยวข้องกับอะไมโลสและโปรตีน waxy gene (60 kDa) โดยมีรายงานไว้ว่า แป้งข้าวเจ้าอินดิก้ามีปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนของแป้งกับโปรตีนสูงกว่าข้าวจ้าวจาปอนิคาที่มีปริมาณอะไมโลสเท่ากัน ในข้าวสารมีปริมาณโปรตีนอยู่ร้อยละ 6.3-7.1 (ตารางที่ 2.4) โดยมีผลต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานคือ ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลงความนุ่ม ความเหนียว และความเลื่อมมันลดลง (ละมุล, 2541) มีการทดลองสกัดโปรตีนออกจากข้าวโดยใช้สารละลายถึง 18 ชนิด พบว่าไม่มีวิธีการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดใดดีเท่ากับการสกัดโดยใช้ด่าง (alkali extraction) เนื่องจากโปรตีนหลักในแป้ง คือโปรตีนกลูเตลินซึ่งละลายได้ดีในด่างและมีอยู่มากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด แต่เนื่องจากโปรตีนเกาะเกี่ยวกับแป้งอย่างแน่นหนา ดังนั้นการสกัดโปรตีนออกให้เหลือน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก นอกจากนี้มีการศึกษาสมบัติของโปรตีนภายในข้าวพบว่าโปรตีนมีลักษณะคล้ายโปรตีนถั่วเหลือง โดยข้าวมีโปรตีนประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ขององค์ประกอบทั้งหมดในเนื้อเมล็ด ทั้งยังพบว่าโปรตีนข้าวเป็นโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ (hypoallergenicity protein) จึงสามารถนำข้าวมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ได้ เช่น ในสูตรอาหารเด็กอ่อน หรือในแป้งที่ใช้สำหรับทาผิว (ชนินันท์, 2542)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.3 ไขมัน (Lipid)

ไขมันภายในเมล็ดจะเป็นหยดกลม (lipid droplets) พบอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ อยู่รวมกับโปรตีนโดยแทรกอยู่ในชั้นแอลิวโรนหรืออยู่บริเวณผิวเม็ดแป้งหรืออยู่ขอบของเม็ดแป้ง ซึ่งเรียกไขมันชนิดนี้ว่า “nonstarch lipid หรือ surface lipid” นอกจากนี้ยังพบไขมันภายในเม็ดสตาร์ชโดยจะเชื่อมพันธะอยู่กับโมเลกุลของอะไมโลส และพบไขมันอยู่อย่างอิสระภายในโมเลกุลแป้งซึ่งไขมันพวกนี้ถูกเรียกว่า “starch lipid หรือ internal lipid” (Chrastil, 1994) ไขมันเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่เล็กน้อยคือ มีประมาณร้อยละ 0.3-0.5 ในข้าวสาร (ละมุล, 2541) ดังตาราง 2.4

สำหรับในส่วนของเนื้อเมล็ดจะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีน และในเม็ดแป้งจะมีไขมันที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น (bound lipid) เมื่อนำไขมันที่สกัดจากส่วนต่างๆ มาวิเคราะห์องค์ประกอบและชนิดของไขมันพบว่าเป็นพวก neutral lipid 82-91 เปอร์เซ็นต์ (ไตรกลีเซอร์ไรด์ 73-82 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิสระ13-17 เปอร์เซ็นต์ และ acyl sterol glycoside 2-4 เปอร์เซ็นต์) ฟอสโฟไลปิด 7-10 เปอร์เซ็นต์ และ glycolipid 2-8 เปอร์เซ็นต์ มีรายงานว่าการสกัดไขมันในเมล็ดข้าวมีผลต่อความนุ่มของแป้งข้าว คือแป้งที่สกัดไขมันออกจะมีความนุ่มกว่าแป้งข้าวที่ไม่ได้สกัดไขมันออก สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมัน มีกรดป ลามิติก กรดโอเลอิกและกรดไลโนเลอิกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว และการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (ละมุล, 2541)

2.4 พันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 (Pathumthani 1)

ข้าวปทุมธานี 1 เป็นข้าวอะไมโลสต่ำ (ปริมาณอะไมโลส 15-19 เปอร์เซ็นต์) เมื่อหุงต้มเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวคุณภาพข้าวสุก นุ่มเหนียว มีกลิ่นหอมอ่อน คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (งามชื่น, 2547)

ลักษณะที่สำคัญของข้าวปทุมธานี คือ เมล็ดข้าวเปลือกเรียวได้มาตรฐานข้าวชั้นหนึ่ง เมื่อขัดสีเป็นข้าวสารจะได้เมล็ดที่เรียวยาว ขาว ใส เป็นเงาแกร่ง และมีท้องไข่น้อย เมื่อหุงสุกก็จะได้ข้าวที่มีความเลื่อมมัน และอ่อนนุ่ม ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวพันธุ์ที่มีความไม่ไวต่อช่วงแสง คือข้าวพันธุ์นี้จะออกดอกได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงทำให้สามารถปลูกข้าวพันธุ์นี้ได้ตลอดทั้งปี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เก็บรวบรวมในปี 2547-2548 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552)

แหล่งปลูก	ขนาดข้าวเปลือก			ขนาดข้าวกล้อง			รูปร่างเมล็ด	ท้องไข่	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)	สีเปลือก
	ยาว (มม.)	กว้าง (มม.)	หนา (มม.)	ยาว (มม.)	กว้าง (มม.)	หนา (มม.)				
สุพรรณบุรี	10.89	2.64	2.02	7.76	2.13	1.77	3.64	0.14	27.67	ฟาง
ปทุมธานี	10.82	2.64	2.01	7.51	2.14	1.76	3.51	0.01	28.55	ฟาง
พัทลุง	10.84	2.57	2.07	7.49	2.17	1.84	3.45	0.17	29.15	ฟาง

ตารางที่ 2.4 คุณภาพทางเคมีของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เก็บรวบรวมในปี 2547-2548 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552)

แหล่งปลูก	Amylose (%)	Gel consistency (mm)	Alkali	Elongation ratio	Swelling power (%)
สุพรรณบุรี	17.45	80	7.0	1.73	14.41
ปทุมธานี	17.32	80	7.0	1.72	15.71
พัทลุง	16.43	77	7.0	1.66	20.33

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เก็บรวบรวมในปี 2547-2548 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552)

แหล่งปลูก	ข้าวกล้อง (กรัม/100 กรัม)										
	Energy (Kcal)	Moisture (%)	Protein	Fat	Carbo hydrate	Starch	Total Dietary fiber	Crude fiber	Ash	Vitamin B1 (mg)	Niacin (mg)
สุพรรณบุรี	352.98	13.04	8.58	2.06	75.03	67.54	4.88	0.71	1.29	0.28	6.65
ปทุมธานี	365.06	10.19	8.30	2.30	77.79	64.47	3.00	0.75	1.42	0.26	6.77
พัทลุง	-	11.56	-	2.51	-	66.53	-	0.86	1.18	0.25	6.42

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 เก็บรวบรวมในปี 2547-2548 (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, 2552)

แหล่งปลูก	ข้าวสาร (กรัม/100 กรัม)									
	Energy (Kcal)	Moisture (%)	Protein	Fat	Carbo hydrate	Starch	Total Dietary fiber	Crude fiber	Ash	Vitamin B1 (mg)
สุพรรณบุรี	347.08	13.09	7.40	0.24	78.83	72.76	1.71	0.18	0.44	0.05
ปทุมธานี	351.01	12.07	7.85	0.17	79.52	70.25	2.31	0.12	0.39	0.08
พัทลุง	357.43	10.62	5.98	0.23	82.86	74.05	-	0.14	0.31	0.02

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 คุณภาพข้าว (Quality of rice)

"คุณภาพข้าว" เป็นคำกำหนดขึ้นเป็นเกณฑ์หรือมาตรฐาน เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันของกลุ่มคนร่วมกันตามสถานภาพที่เกี่ยวข้องกับข้าวตั้งแต่นักวิชาการ เกษตรกรผู้ปลูกข้าว เจ้าของโรงสีผู้ซื้อข้าวเปลือกมาแปรรูปเป็นข้าวสาร ผู้ค้าข้าวซึ่งจะมีทั้งผู้ค้าข้าวเปลือก ผู้ค้าข้าวสารขายข้าวให้ผู้ขายส่งและผู้ขายปลีกที่ขายต่อให้ผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องกำหนดคุณภาพข้าวเพื่อการซื้อขายต่อกัน โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าว คุณภาพการสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร คุณภาพเมล็ดในการหุงต้ม เป็นต้น (อรอนงค์, 2547)

2.5.1 สมบัติการขัดสีของข้าว (Milling properties)

คุณภาพการสีของข้าวประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (whole grain) และต้นข้าว (head rice) ซึ่งหมายถึง เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใดหักและให้รวมถึงเมล็ดข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 9 ส่วน 10 ส่วนขึ้นไป ซึ่งข้าวที่มีคุณภาพการขัดสีดี เป็นข้าวที่เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีแล้วได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวหัก (broken rice) น้อย ซึ่งข้าวหักหมายถึง เมล็ดข้าวที่มีความยาวมากกว่าข้าวหักเล็กแต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ดและให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ร้อยละ 80 ของเมล็ด (กระทรวงพาณิชย์, 2541) ซึ่งคุณภาพการสี เป็นคุณภาพที่อ้างอิงกับกระบวนการสีข้าว (rice milling) คือเป็นกรรมวิธีแยกข้าวสารออกจากข้าวเปลือก โดยเริ่มแยกส่วนของข้าวกล้อง (brown rice) ออกจากเปลือกหุ้มหรือแกลบ (hull) และขัดสีเยื่อหุ้มส่วนผิวข้าวกล้อง จนได้เป็นข้าวสาร (milled rice) (จิรวัฒน์, 2539) กระบวนการสีประกอบด้วยขั้นตอนขั้นพื้นฐาน 4 ขั้นตอน (กัญญา, 2545) ได้แก่

1) **การทำความสะอาด (Cleaning)** เพื่อกำจัดกระแง้ ใบข้าว เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืชและสิ่งเจือปนอื่น ออกจากข้าวเปลือก

2) **การกะเทาะ (Shelling หรือ Hulling)** เป็นการทำให้เปลือกหุ้มข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ แกลบและข้าวกล้อง

3) **การขัดขาว (Whitening)** เพื่อทำให้รำหลุดจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ รำและข้าวสาร

4) **การคัดแยก (Grading)** เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวและข้าวหัก ขนาดต่างๆ ออกจากกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความขาวของข้าวสาร (Milled rice whiteness)

ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่น ระดับการขัดสี องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นต้น ความขาวของข้าวสารซึ่งจำแนกโดยระดับการสีจะเป็นตัวกำหนดชั้นของข้าวเช่น ข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ จะต้องมีระดับการขัดสีเป็นสีดีพิเศษหมายถึงการสีเอาสิ่งต่างๆ ออกหมด ไม่มีรำอยู่เลยจนข้าวมีลักษณะใสงามพิเศษหรือข้าว 45 เปอร์เซ็นต์ มีชั้นของการสีเป็นสีธรรมดา หมายถึงการสีที่ไม่เต็มที่สีขาวปานกลาง

เพื่อประเมินผลข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักขนาดต่างๆ และปลายข้าว ซึ่งผลที่ได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อจะเป็นค่าที่โรงสีใช้ประเมินผลได้จากการแปรสภาพในโรงสีจริง โดยทั่วไปโรงสีจะตั้งเกณฑ์ขั้นต่ำของผลที่ได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อหากข้าวมีผลที่ได้จากการขัดสีต่ำกว่าเกณฑ์จะถูกตัดราคา ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการขัดสีได้แก่พันธุ์ การปฏิบัติดูแลก่อนเก็บเกี่ยว ระยะเวลาและวิธีเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การตากข้าว การนวดข้าว การเก็บรักษาและกระบวนการขัดสี

2.5.2 สมบัติการหุงต้มของข้าว (Cooking properties)

2.5.2.1 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

สามารถใช้คาดคะเนสมบัติของข้าวสุกได้ โดยการทดสอบความ คงตัว ของแป้งสุก (Cagampang *et al*., 1973) ซึ่งสามารถทดสอบจากการอ่านระยะทางแป้งไหลของแป้งสุก เมื่อวางในแนวราบมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร จึงมีการแบ่งข้าวตามลักษณะนี้เป็น 3 ประเภท ดัง**ตารางที่ 2.7** โดยข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุก มาก (25-40 มิลลิเมตร) เมื่อหุงเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่แข็งกระด้าง มากกว่าข้าวที่มีความคงตัว ของแป้งสุกน้อย (61-100 มิลลิเมตร) การพิจารณาคุณภาพข้าวโดยใช้ความคงตัวของแป้งสุก ต้องพิจารณาบนพื้นฐานของข้าวที่มีอะไมโลสอยู่ในประเภทเดียวกัน เนื่องจากข้าวมีอะไมโลสใกล้เคียงกัน โดยข้าวที่มีอะไมโลสสูงมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการคืนตัวของแป้งสุก เมื่อทำให้เย็นจะทำให้แป้งสุกแข็งตัวและมีผลต่อความนุ่มของข้าวสุก ทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน (Buttery *et al*, 1983) และยังพบว่าผู้บริโภคนิยมบริโภคข้าวที่มีอะไมโลสสูงและค่าความคงตัวของแป้งสุกมาก ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และความแข็งกระด้าง มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำและค่าความคงตัวแป้งสุกน้อย ดังนั้นค่าความคงตัวแป้งสุกสามารถใช้คาดคะเนคุณสมบัติของข้าวสุกควบคู่ไปกับปริมาณอะไมโลสได้ (Juliano, 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 การแบ่งประเภทข้าวจ้าวตามความคงตัวแป้งสุก (Cagampang *et al*., 1973)

ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)	ความคงตัวของแป้งสุก
25 - 40	มาก
41 - 60	ปานกลาง
61 - 100	น้อย

2.5.2.2 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation ratio)

ในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวมีการขยายตัวทุกด้านโดยเฉพาะด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณสมบัติพิเศษของข้าวช่วยเสริมให้ข้าวสุกขยาย ปริมาตร การที่เมล็ดข้าวขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปรงขึ้น ไม่อัดแน่นและมีความแข็งกระด้างน้อยลง หากข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายตัวของเมล็ดช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อมากขึ้น เช่น ข้าวพันธุ์ Basmati 370 ซึ่งเป็นที่นิยมในตลาดตะวันออกกลาง ส่วนข้าวหอมมะลิมีการยืดตัวดีทำให้ข้าวสุกน่ารับประทาน แต่เนื่องจากเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ข้าวสุกจะเหนียวติดกัน จึงทำให้ไม่ขึ้นหม้อ (ละม้ายมาศ, 2540)

การทดสอบอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวทำโดยแช่เมล็ดข้าวสารในน้ำเย็นนาน 20 นาที และต้มในน้ำเดือด 10 นาที แล้วจึงวัดความยาวของข้าวสุกโดยใช้ vernier หรือวัดเงาของเมล็ดที่ขยายใหญ่ขึ้น เปรียบเทียบกับความยาวของข้าวสาร ดังนี้

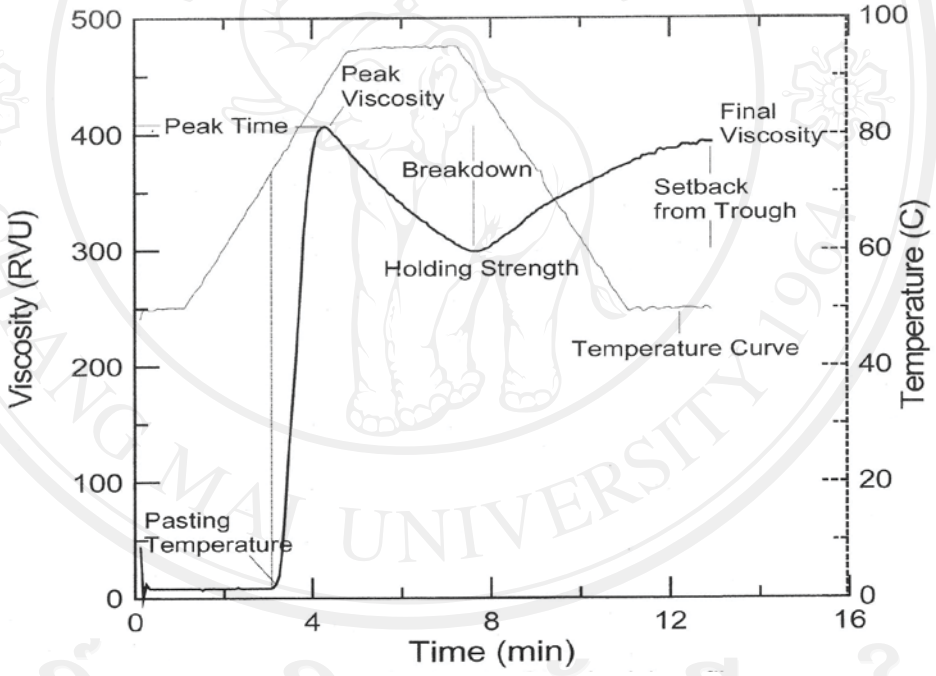
$$\text{อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสาร}}$$

2.5.2.3 ความหนืดของแป้ง (Viscosity)

คุณสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งสุกเป็นคุณสมบัติสำคัญของแป้ง เมื่อได้รับความร้อน และมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอจากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไปถึง 95 องศาเซลเซียส และคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที จึงจะลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียสอีกครั้ง โดยทั่วไปโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ในขณะอยู่ในน้ำเย็นแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach *et al*., 1959) แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลงทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดซึมน้ำและพองตัวได้มากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด ซึ่งเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจลาติไนเซชั่น (gelatinization) และอุณหภูมิที่ทำให้สารเริ่มเกิดเจลาติไนเซชั่น เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าความหนืด (pasting temperature) จากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น เมล็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ ซึ่งจะเป็นจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ณ จุดนี้อัตราการพองตัวจะสมดุลกับอัตราการแตกตัว และเมื่อเพิ่มความร้อนต่อไปและมีการกวนอย่างต่อเนื่องเม็ดแป้งจะยิ่งพองมากขึ้นจนทำให้โครงสร้างภายในแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง และเมื่ออุณหภูมิลดลงโมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลซึ่งโครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำ แต่จะไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีกทำให้มีความหนืดคงตัวมากขึ้น ซึ่งเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชั่น (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Smith, 1979) โดยการวัดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (rapid visco analyzer, RVA) ดัง**ภาพที่ 2.6**



ภาพที่ 2.6 กราฟจากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

(Newport Scientific Pty, Ltd., 1998)

ค่าต่างๆ ที่สามารถอธิบายได้จากกราฟโดยมีหน่วยเป็น Ripid Visco Unit (RVU) มีดังนี้

Peak viscosity : ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งสุกเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

Breakdown : ความแตกต่างระหว่างค่า Peak viscosity กับค่า Holding strength

Final viscosity : ค่าความหนืดสุดท้ายของการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Setback : ความแตกต่างระหว่างค่า Final viscosity กับค่า Peak viscosity

Pasting temperature : อุณหภูมิที่ค่าความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น 2 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

ทั้งนี้ค่า breakdown จะอธิบายถึงความทนทานของเม็ดแป้งต่อการกวน และค่า setback จะอธิบายการคืนตัวของแป้งสุกที่เย็นลงและทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนืดสูงสุด ได้แก่ ปริมาณโปรตีน และอะไมโลส ซึ่งปริมาณอะไมโลสมีส่วนสำคัญต่อความหนืด กล่าวคือ ขนาดเม็ดแป้งที่ใหญ่มีกำลังพองตัวสูงและให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูง ปริมาณอะไมโลสจะมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชั่น (retrogradation) ถ้าแป้งชนิดใดมีปริมาณ อะไมโลสสูงย่อมแสดงค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) สูงด้วยเช่นกัน เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณอะไมโลสจึงมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้งสุก (setback) โดยแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำซึ่งหากเปรียบเทียบระหว่างแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงด้วยกัน แป้งข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกเป็นชนิดอ่อนจะมีค่า peak viscosity และค่า setback ต่ำกว่าแป้งที่มีความคงตัวของแป้งสุกเป็นชนิดแข็ง

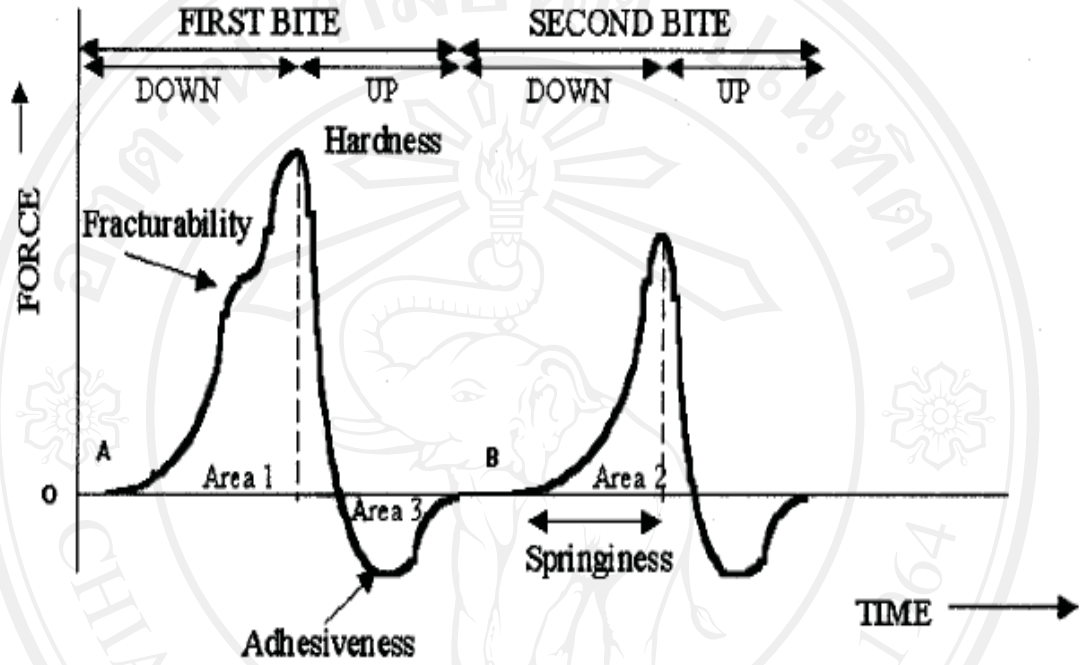
2.5.2.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (Texture of cooked rice)

การวัดเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส และโดยการวัดด้วยเครื่องมือวัดมีบทบาทมาก เพราะข้าวแต่ละชนิดเมื่อหุงสุกจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความแตกต่างกัน นอกจากปัจจัยเรื่องของพันธุ์ของข้าวแล้ว ยังมีปัจจัยอีกหลากหลายที่ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวนั้นมีความแตกต่างกัน เช่น คุณสมบัติทางเคมี และเชิงฟิสิกส์ การ ปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและวิธีการหุงต้ม

ในปัจจุบันมีเครื่องที่สามารถใช้วิเคราะห์เนื้อสัมผัสเพื่อให้ประเมินและเปรียบเทียบกับผลทางประสาทสัมผัสหลายชนิด เช่น เครื่องเทกซ์โรมิเตอร์ (texturometer) เครื่องยูนิเวอร์แซลเทสติง (Universal Testing Machine) เครื่องยูนิเวอร์แซล เทกซ์เจอร์ แอนาไลเซอร์ (Universal Texture Analyzer) เครื่องเชียร์ เพรส (Shear Press) เครื่องแพบต์ เทกเจอร์ เทสเตอร์ (Pabst Texture Tester) เป็นต้น (อรอนงค์ , 2547) โดยลักษณะของเนื้อสัมผัสที่วัดได้จากเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการวัดเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก มีดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกสามารถวัดโดยเครื่อง Texture analyzer ทำการวัดแบบ Texture Profile Analysis (TPA) จะได้ข้อมูลที่เป็นค่าตัวแปรทางเนื้อสัมผัสโดยจะแสดงผลออกมาดัง **ภาพที่ 2.7**



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟจากการวัด Texture Profile Analysis (TPA)

(Sitakalin and Meullenet , 2000)

จากภาพมีนิยามเกี่ยวกับ Texture Profile Analysis (TPA) ต่างๆ ดังต่อไปนี้ (Lyon *et al*. 2000)

Hardness (ความแข็งหรือความกระด้าง) คือ ความสูงของจุดสูงสุดของโค้งแรกของกราฟ

Adhesiveness (ความเหนียวติดกัน) คือ แรงที่มีค่าลบที่เกิดจากแรงดึงขึ้นของหัวกดขึ้นจากตัวอย่าง (area 3)

Springiness (ความยืดหยุ่น) คือ อัตราส่วนของเส้นทางระหว่างเส้นทางการกดของหัวกดเส้นโค้งที่สอง และเส้นโค้งแรก

Cohesiveness (ความเกาะติดกัน) คือ อัตราส่วนของพื้นที่ระหว่างเส้นโค้งที่สองกับเส้นโค้งแรก (area2/area1)

Chewiness (การเคี้ยว) คือ ผลคูณระหว่างค่าความเหนียวยึดติด กับความยืดหยุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การประยุกต์ใช้วิธีตรวจสอบทางกายภาพเพื่อแยกความแตกต่างของข้าวแต่ละพันธุ์ เป็นวิธีการที่สะดวกและเชื่อถือได้ โดยการนำเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกโดยวิเคราะห์เค้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส (texture profile analysis, TPA) เพื่อวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับสภาวะจริงที่คนใช้ฟันกัดข้างลงแล้วดึงขึ้น พบว่าข้าวอะไมโลสต่ำมีความนุ่มเหนียวกว่าข้าวอะไมโลสปานกลาง และสูง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวอะไมโลสต่ำด้วยกัน ได้แก่ หอมคลองหลวง ปทุมธานี 1 และขาวดอกมะลิ 105 พบว่าสามารถแยกข้าวแต่ละพันธุ์ออกจากกันได้ คือ ข้าวหอมมะลิ 105 มีความนุ่มและเหนียวกว่าข้าวหอมคลองหลวงและปทุมธานี 1 และข้าว 2 ชนิดมีความเหนียวติดกันใกล้เคียงกันแต่ข้าวปทุมธานี 1 มีค่าความแข็งต่ำกว่า จึงสามารถระบุว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อสุกจะมีความนุ่มและเหนียวมากที่สุด ส่วนข้าวหอมคลองหลวงมีความแข็งกว่าข้าวขาวดอกมะลิ และปทุมธานี 1 (สิริรัตน์, 2547)

2.6 การเปลี่ยนแปลงของข้าวระหว่างการเก็บรักษาปกติ

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์และสภาพแวดล้อม การเพาะปลูก องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าว คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน น้ำหรือความชื้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวทั้งในลักษณะข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีสตาร์ชเป็นหลัก ที่ประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกทินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ทำให้ข้าวมีลักษณะการหุงต้ม และคุณภาพการรับประทานต่างกันไป สำหรับปริมาณโปรตีนในข้าวที่แตกต่างกันจะมีผลต่อระยะเวลาการหุงต้ม และการขัดสีข้าวส่วนไขมันในข้าวมีผลต่อการเสื่อมของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา รวมทั้งเมล็ดที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ขณะที่น้ำหรือความชื้นมีผลต่อคุณภาพข้าวในด้านการเก็บรักษา (อรอนงค์, 2547) สำหรับข้าวสารที่มีการซื้อขายภายในประเทศ และส่งออกต่างประเทศจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพและเคมีก่อนที่จะมีการซื้อขาย เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก (cooked rice texture) (Juliano, 1985) ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อคุณภาพในการหุงต้ม คุณภาพในการรับประทานอาหาร และคุณภาพในการแปรรูปของข้าว

เมื่อเก็บเกี่ยวเมล็ดได้แล้วจำเป็นต้องเก็บรักษาไว้ เช่นเดียวกับเมื่อแปรรูปข้าวเปลือกเป็น ข้าวกล้องและข้าวสารนั้นก็ต้องมีการเก็บเพื่อรอจำหน่ายเช่นกัน ในขณะเก็บรักษานี้จะมีการ เปลี่ยนแปลงภายในองค์ประกอบของเมล็ดข้าว ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพการขัดสี คุณภาพข้าวกล้อง และข้าวสารในการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หุงต้มและการบริโภค การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของเมล็ดข้าวขณะการเก็บรักษา อาจมีผลจากการปรับสภาพจากการละลายและการเกิดเจลของสตาร์ชและโปรตีนในเมล็ดที่สุกแล้วที่ให้กลายเป็นสารที่คงตัวขึ้น และไม่ละลายในน้ำมากขึ้น (อรอนงค์, 2532)

การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นภายในเมล็ดข้าวโดยเฉพาะในระยะ 4-6 เดือน ภายหลังการเก็บเกี่ยว เอนโดรสเปิร์มของข้าวจะแกร่งขึ้นทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษาส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้น (Araullo *et al.,* 1976) ขณะที่งามชื่น (2547) รายงานว่า เมล็ดข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นโดยเฉพาะในระยะเวลา 3-4 เดือน หลังจากเก็บเกี่ยว โดยการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเนื่องมาจาก 3 องค์ประกอบ คือ แป้ง ไขมัน และโปรตีน ซึ่งในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยเม็ดแป้ง (starch granule) มีการจับตัวกันแข็งแรงขึ้น และกรดไขมันอิสระที่เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของไขมันจับตัวกันกับอะไมโลสมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนไป นอกจากนี้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชันของโปรตีน ซึ่งมีผลต่อกลิ่นของข้าวในระหว่างที่เก็บรักษา กระบวนการออกซิเดชันของโปรตีนมีผลทำให้โครงสร้างภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งลดลงทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกเปลี่ยนแปลงไป (Juliano, 1985) กรดไขมันอิสระที่ได้จากการย่อยของเอ็นไซม์ เมื่อทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้ง โดยเฉพาะโมเลกุลของอะไมโลสมีผลยับยั้งการขยายตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสวย นอกจากนี้ไขมันเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจะได้สารประกอบประเภท hydroperoxide carbonyl สารประกอบพวกนี้ ทำให้กลิ่นหืนเช่นเดียวกับการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมัน ในส่วนของโปรตีนเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะได้สารที่มีส่วนประกอบที่มีธาตุกำมะถัน (-S-S-) ที่คงตัวมากขึ้น ทำให้สารระเหยที่มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ลดลงและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นของข้าว ในขณะเดียวกันสารประกอบของ -S-S- นี้ยังมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม จากการเปลี่ยนแปลงของข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลทำให้ข้าวสวยมีความนุ่มลดลง ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนทำให้ข้าวเก่ามีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ (งามชื่น, 2547) ทำให้คุณสมบัติการหุงต้มข้าวสุกแข็งและร่วนมากขึ้น ข้าวสุกขยายปริมาตรรวมได้มากขึ้น แต่มีผลกระทบต่อการลดลงของกลิ่นหอมของเมล็ดข้าว (Araullo *et al.,* 1976)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว โดยระยะเวลาการเก็บมีผลต่อความสามารถในการดูดน้ำของข้าวกล้องและข้าวสาร ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการหุงข้าวกล้องและข้าวสารและปริมาณอะไมโลสของข้าวเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกนั้น ในช่วง 3 เดือนแรกของการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงสูงมากโดยเดือนที่เริ่มทำการเก็บรักษา ข้าวมีความแข็ง (hardness) น้อยและนุ่ม หลังจากนั้นความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา (พัสกร, 2546) และ ระยะการเก็บรักษายังทำให้มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น ความเลื่อมมันและความเหนียวลดลง เวลาหุงต้มน้ำใสขึ้น มีผลให้ข้าว สุกแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อนำข้าวสารมาหุงต้ม (งามชื่นและคณะ, 2535) โดยข้าวเก่าจะดูดซึมน้ำที่ใช้หุงต้มได้มากทำให้ปริมาตรของข้าวที่หุงสุกสูงกว่าการหุงข้าวใหม่ ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวสุกจะแข็งและ ร่วนเพิ่มขึ้น และความ เหนียวลดลงเช่นกัน (อรอนงค์,2532) และจากการรายงานของวิมลรัตน์ (255 0) พบว่าคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวประเภทต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปตามอายุการเก็บอีกด้วย โดยข้าวที่เก็บไว้นานมักจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น (final viscosity ต่ำลง) และมีความเหนียวน้อยลง (breakdown ต่ำลง) เมื่อเก็บรักษาข้าวเปลือกและข้าวกล้อง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นของข้าวเปลือกลดลงตามอายุการเก็บรักษาทำให้ได้ปริมาณเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้นด้วย (ละมุล, 2541)

ข้าวเปลือกเก็บเกี่ยวที่ความชื้นสูง (มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์) นำมาให้ความร้อนมากกว่า 65 องศาเซลเซียส ทำให้สีของเมล็ดข้าวเปลี่ยนเป็น สีเหลือง และการเกิดสีเหลืองนี้สามารถเพิ่มขึ้นได้แม้เก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้นน้อยกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกข้าวและส่วนของเอนโดเสปิร์ม รวมทั้งสีของข้าวกล้องมีค่าเพิ่มมากขึ้น (ละมุล , 2541) เมื่อศึกษา สภาวะการเก็บข้าวที่อุณหภูมิสูงและเวลายาวนานมีผลร่วมกัน ทำให้เกิดกระบวนการเกิดสีเหลืองซึ่งอาจกระทบต่อคุณสมบัติการนำไปใช้งานของข้าวสาร และข้าวสวย (Dillahunty *et al*., 2000) สอดคล้องการทดลองของ Juliano (1985) พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษายังส่งผลการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวภายหลังจากเก็บรักษา 12 เดือน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดสีเหลือง เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสีของเอนโดสเปร์มเป็นสีเหลืองหรือปนน้ำตาลซึ่งจะทำให้เกิดข้าวเหลือง (Indudhara *et al.,* 1971)

อายุการเก็บรักษายังมีผลต่อความหอมหรือปริมาตรสาร 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) ข้าวกล้องมีมากกว่าข้าวสารและมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บรักษา (พัสกร, 2546) ขณะที่งามชื่นและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คณะ (2535) ระบุว่า ข้าวเปลือกและข้าวสารเมื่อหุงต้มคะแนนกลิ่นหอมของข้าวลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อเก็บไว้ 6-8 เดือน พร้อมกับการเพิ่มของคะแนนกลิ่นเหม็น ซึ่งการเก็บข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวสาร 6-8 เดือน ขณะที่ Wongpornchai *et al*. (2004) กล่าวว่า ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 เดือน เมื่อนำมาวิเคราะห์ประเมินความหอมโดยวิธีการดมและวิธีการสกัดสารหอมจากเมล็ดข้าวด้วยเทคนิคgas chromatography จากผลการทดสอบทั้งสองวิธีปรากฏว่ามีกลิ่นของ 2 AP ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยกลิ่นของข้าวจะเสื่อมไปในระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสภาพการเก็บไม่เหมาะสม

2.8 การเปลี่ยนแปลงของข้าวที่เป็นผลมาจากการเร่งความเก่า

วิธีการเร่งความเก่าของข้าวด้วยวิธีการต่างๆ ในอดีตมีการพยายามทำการเร่งความ เก่าของข้าวโดยการเร่งความเก่าของข้าวเปลือก โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบเป็นปัจจัยเร่ง สามารถเร่งการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวจากข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า โดย การใช้อุณหภูมิสูงหรือการใช้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะใช้เวลาในการอบน้อยลง (วินิตและภูมิสิทธิ์ , 2545)

2.8.1 กระบวนการกำเนิดความร้อนด้วยลมร้อน

การให้ความร้อนโดยใช้ขดลวดไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดความร้อน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะอาศัยการพาของอากาศหรือการแผ่รังสีจากแหล่งความร้อนเป็นหลัก โดยความร้อนที่เกิดขึ้นถ่ายเทไปที่ผิวของวัสดุก่อน จากนั้นจึงจะเกิดการนำความร้อนจากผิวนอกของวัสดุเข้าสู่ภายใน

หลักการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวนอก และผิวภายในวัสดุด้วยการให้ความร้อนจากผิวด้านนอกถ่ายเทเข้าสู่เนื้อชั้นใน ความชื้นจะถูกไล่ออกมาที่ผิวทำให้ที่ผิววัสดุมีอุณหภูมิสูงและแห้ง ในขณะที่ภายในยังคงมีความชื้นเหลืออยู่และมีอุณหภูมิต่ำกว่าซึ่งผิวภายนอกที่แห้งจะเกิดการหดตัวทำให้ความชื้นถ่ายเทออกมาที่ผิววัสดุลดลงตามลำดับ และอาจส่งผลให้วัสดุเกิดรอยร้าว เนื่องมาจากอิทธิพลความดันก๊าซภายในวัสดุหรือการหดตัวของโครงสร้างวัสดุ นอกจากนั้นแล้วสีของวัสดุจะเปลี่ยนแปลงง่ายและอาจเกิดรอยไหม้ได้

การเร่งความเก่าข้าวส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น โดย Jaisut *et al*. (2007) พบว่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีค่าเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญ และการอบที่ระยะเวลานานขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมีค่าเพิ่มมากขึ้นมาก เช่นเดียวกับวินิตและภูมิสิทธิ์ (2545) ระบุว่า การเร่ง ความเก่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและเปอร์เซ็นต์ข้าวสารรวมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออบข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง และ Wiset *et al*. (2005) รายงานว่า นำข้าวเปลือก 3 พันธุ์ โดยเทคนิคฟลูอิ-ไดซ์เบด ด้วยวิธี two stages ตามด้วยการผึ่งในที่รม ทำให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่รายงานของใจทิพย์และคณะ (2545); ใจทิพย์และผดุงศักดิ์ (2547ก); ใจทิพย์และผดุงศักดิ์ (2547ข) พบว่า การเร่งความเก่าข้าวไม่กระทบต่อคุณภาพการสีของข้าวทำให้คุณภาพการสีข้าวเปลือกไม่เปลี่ยนแปลง ขณะที่การเปลี่ยนแปลงสีของข้าวสารหลังจากการเร่งความเก่าของข้าว มีรายงานว่า ในการทดลองที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 และ 3 ชั่วโมง มีค่าสีเหลืองต่ำสุด (1 เปอร์เซ็นต์) แต่ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 9 ชั่วโมง มีค่าสีเหลืองสูงสุดหรือสีเหลืองเข้ม (15 เปอร์เซ็นต์) (Faruq *et al.,* 2003) เช่นเดียวกับ รายงานของ Wiset *et al*. (2005); Inprasit and Noomhorm, (2001) พบว่า ค่า yellowness แสดงโดยค่า b value ซึ่งให้ค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน การเร่งให้ข้าวเก่าโดยการอบข้าวเปลือกความชื้นสูงด้วยอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง สามารถทำให้ข้าวสารมีค่าสีและค่าความขาว เปลี่ยนแปลงทำให้สีของ ข้าวสารเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ใจทิพย์และผดุงศักดิ์, 2547ข) อาจเกิดจากปฏิกิริยา maillard reaction ที่ทำให้เมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวสารจากสีของเปลือกข้าวและรำข้าวเข้าสู่ภายในเมล็ดข้าวสาร (Yap *et al.,* 1988; Inprasit and Noomhorm, 2001) ขณะที่ความขาวของเมล็ดข้าวสารยังคงมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทางการค้า หลังจากการเร่งความเก่าของข้าว (วินิตและภูมิสิทธิ์, 2545)

การเร่งความเก่าของข้าวสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวสุก จากรายงานของ Inprasit and Noomhorm (2001) กล่าวว่า การใช้อุณหภูมิสูงอบข้าวเปลือกส่งผลให้ค่าอัตราส่วนระหว่างความแข็งและความนุ่มเหนียวของข้าวสุกมีค่าลดลง และความแข็งของข้าวสุกเพิ่มขึ้น ขณะที่ Gujral and Kumar (2003) การวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ค่า hardness, cohesiveness และ springiness ของข้าวสุกเพิ่มขึ้น และค่า adhesiveness ลดลง เมื่อเพิ่มความร้อนและระยะเวลาการอบแก่ข้าวสาร ค่าความแข็ง การคงสภาพของเมล็ด การยืดหยุ่นสู่สภาพเดิม และค่าของแรงที่ใช้บดเคี้ยวเพิ่มขึ้น ขณะที่ลักษณะความเหนียวติดของข้าวสุกลดลง (งามชื่น, 2547; ไกรสีห์และคณะ, 2549)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกราฟความหนืดข้นของแป้งข้าว ไกรสีห์และคณะ (2549) กล่าวว่า การเร่งความเก่าของข้าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวใหม่ซึ่งพบตามปกติในข้าวเก่า เช่นเดียวกับใจทิพย์และผดุงศักดิ์ (2547ข) พบว่า การเร่งความเก่า ของข้าวทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้คุณสมบัติของน้ำแป้งเปลี่ยนแปลง โดยค่า final viscosity และค่า pasting temperature มีค่าใกล้เคียงกับข้าวเก่าที่ขายในท้องตลาด และรายงานของ Inprasit and Noomhorm (2001) พบว่าการเร่งความเก่าของข้าวทำให้เม็ดแป้งที่อยู่ภายในบางส่วนเกิดการสุก (gelatinized) เป็นผลให้คุณภาพข้าวสุกที่ได้ มีคุณสมบัติคล้ายข้าวเก่า หรือคล้ายคลึงกับข้าวนึ่ง ทำให้ระยะเวลาการหุงต้มเพิ่มขึ้นและการสูญเสียน้ำของข้าวสุกลดลง ส่งผลให้ผลิตผลข้าวและคุณสมบัติการหุงต้มมีคุณภาพดีขึ้น (Gujral and Kumar, 2003) ขณะที่ Jaisut *et al*. (2007) การอบข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 โดยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดด้วยอากาศร้อน เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นทำให้ค่า breakdown ลดลง ตรงข้ามกับ final viscosity, setback และ pasting temperature ที่มีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Wiset *et al*. (2005) การศึกษาลักษณะโครงสร้างของแป้ง พบว่า คุณสมบัติ pasting มีผลกับอุณหภูมิการอบ คือ ค่า breakdown ลดลง ขณะที่ค่า setback เพิ่มขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิการอบสูงขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและค่าความเหนียวลดลง

การเปลี่ยนข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าโดยการเร่งความเก่าของข้าวนั้น ส่งผลทำให้อัตราการยืดตัวของเมล็ดและความคงตัวของแป้งสุก Faruq *et al.* (2003) พบว่า การเร่งความเก่าของข้าวเปลือก 4 พันธุ์ ในภาชนะปิดสนิท จะทำให้ข้าวมีอัตราการยืดตัวของข้าวสุกเพิ่มขึ้น และมีระยะการยืดตัวของข้าวสุกสูงขึ้นทำให้คุณภาพการหุงต้มดีที่สุด สอดคล้องกับ ใจทิพย์และคณะ (2545) พบว่า มีค่าการขยายปริมาตรเพิ่มขึ้น ค่าความคงตัวของแป้งสุกลดลงเมื่อทำการเร่งความเก่าของข้าว ขณะที่ Inprasit and Noomhorm (2001) กล่าวว่า การใช้อุณหภูมิที่มากกว่า 60 องศาเซลเซียส อบลดความชื้นข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 มีผลทำให้ ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับใจทิพย์และผดุงศักดิ์ (2547ก); ใจทิพย์และผดุงศักดิ์ (2547ข) กล่าวว่า การเร่งความเก่าของข้าว ทำให้การดูดซึมน้ำและการขยายปริมาตรเพิ่มขึ้น และ Gujral and Kumar (2003) การเร่งความเก่าของข้าว 3 พันธุ์ การอบ ด้วยความดันไอน้ำที่ความชื้นสูง สามารถทำให้ข้าวใหม่เปลี่ยนเป็นข้าวเก่าโดยมีการดูดซึม น้ำและอัตราการขยายตัวเช่นเดียวกัน

การเร่งความเก่าของข้าวยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของข้าวโดย ทำให้ปริมาณ โปรตีนเพิ่มขึ้น (ใจทิพย์และคณะ, 2545) และปริมาณอะไมโลสมีปริมาณลดลงเมื่อลดความชื้นโดยใช้อุณหภูมิสูง (Wiset *et al*., 2001) และยังส่งผลต่อ การสูญเสียกลิ่นหอม โดยไกร สีห์และคณะ (2549) พบว่า ปริมาณสารให้ความหอม 2AP ลดลงในข้าวสารที่อบด้วยอุณหภูมิ 120 องศา

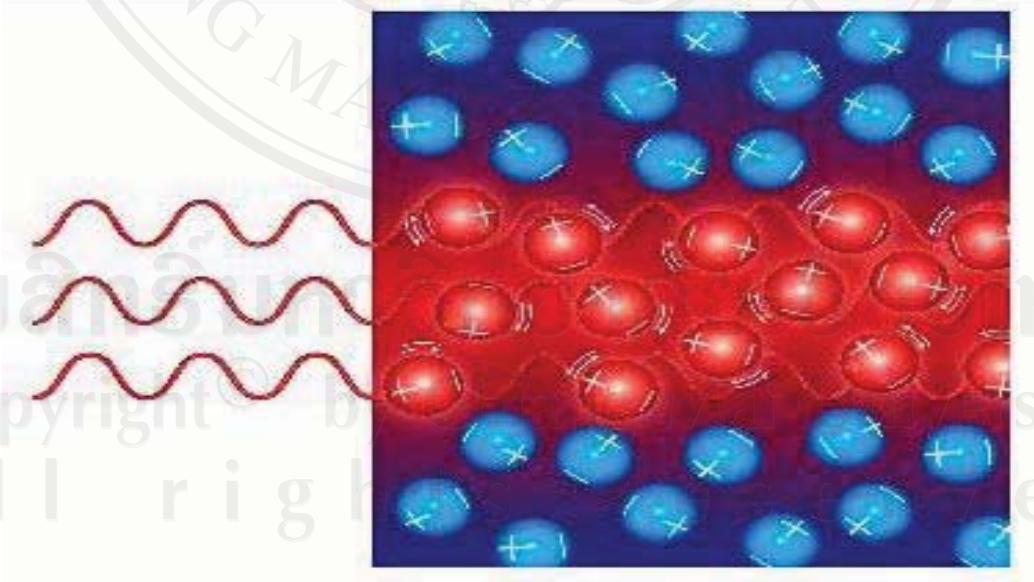
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลเซียส 15 นาที และเริ่มลดลงเมื่อเวลาการอบนานขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้น แต่การลดลงของปริมาณสารให้ความหอม 2AP ยังคงมีปริมาณสูง (>80 เปอร์เซ็นต์) ในข้าวที่อบด้วยอุณหภูมิต่ำหรือข้าวที่ใช้เวลาการอบน้อย เช่นเดียวกับ วินิตและภูมิสิทธิ์ (2545) รายงานว่า การเร่งความเก่าของข้าวส่งผลให้สูญเสียความหอม

2.9 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (Dielectric heating)

2.9.1 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ย่าน ความถี่คลื่นวิทยุ (Radio frequency, RF: 13.56 MHz, 27.12 MHz และ 40.68 MHz) หรือไมโครเวฟ (Microwave, MW: 433 MHz, 915 MHz, 2,450 MHz, 5,800 MHz และ 24,125 MHz) กำลังสูงส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ สนามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้โมเลกุลของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบมีขั้ว (dipolar molecules) ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวตามทิศทางของสนามคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามา ทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล เกิดเป็นความร้อนกระจายทั่วภายในเนื้อวัสดุหรือการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นไปยังวัสดุนั้น ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.8**

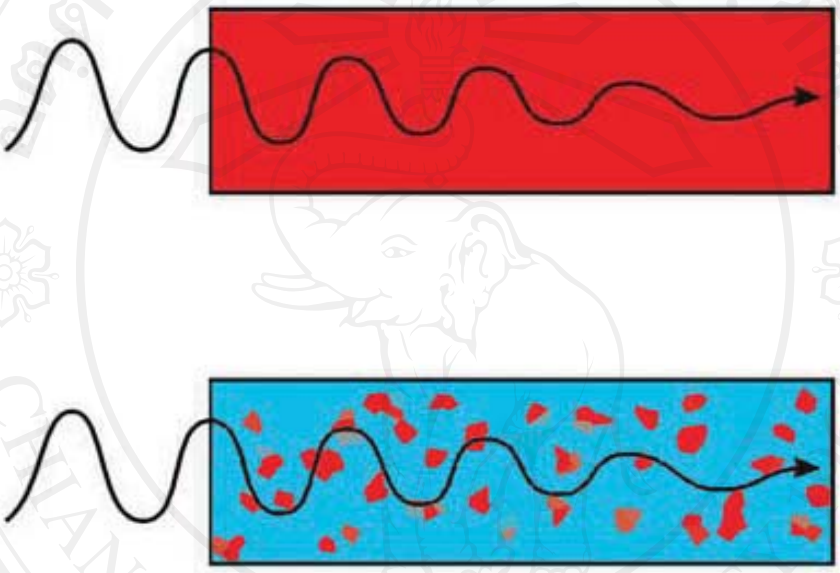


ภาพที่ 2.8 การเกิดความร้อนในเนื้อวัสดุจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

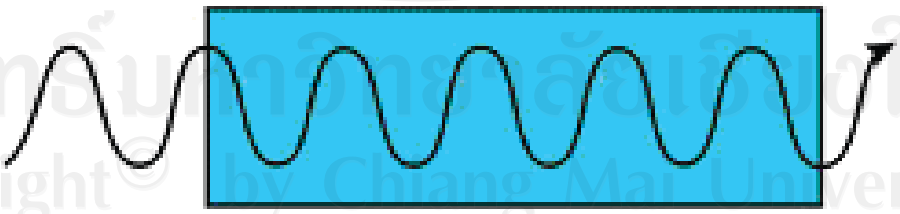
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกได้จะต้องเป็นวัสดุ ที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ จะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือประกอบไปด้วยน้ำซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเช่นกันเป็นองค์ประกอบ วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว เช่น อากาศ เทฟล่อน หรือแก้ว จะไม่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นได้ โดยคลื่นจะผ่านทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุโดยไม่เกิดความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงใดๆ ดู**ภาพที่ 2.9** ประกอบ



วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือวัสดุที่มีความชื้นจะดูดซับพลังงานของคลื่นและเกิดความร้อน



วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว คลื่นจะทะลุผ่านโดยไม่เกิดความร้อน

รูปที่ 2.9 การตอบสนองของวัสดุแต่ละประเภทต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเวียนสลับระหว่างของทั้งสองขั้ว electrodes ซึ่งมีผลทำให้วัตถุเกิดความร้อนขึ้น มีหลักการในการสร้างความร้อนโดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับความถี่คลื่นวิทยุ ถูกปล่อยผ่านไปยังวัตถุที่มีคุณสมบัติ dielectric โดยเครื่องสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 27.12 MHz หรือเกิดการเปลี่ยนแปลง 27.12 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้วัตถุที่มีพันธะโมเลกุล 2 ขั้ว เช่น โมเลกุลของน้ำ เมื่อโมเลกุลขวางทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดการสั่นสะเทือนโดยขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ การสั่นสะเทือนจะทำให้เกิดการสะสมพลังงานเป็นความร้อนจากการเสียดทานของโมเลกุล (Ryynänen, 1995; Nijhuis *et al*., 1998) โดยทำให้ความร้อนเกิดขึ้นภายในวัสดุ (inside out) และมีการกระจายความร้อนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วถึงภายในเนื้อวัสดุพร้อม ๆ กัน โดยมีความสามารถในการถ่ายเทพลังงานมีประสิทธิภาพสูงและลดระยะเวลาการให้ความร้อน (Birla *et al*., 2004) ส่งผลให้ช่วยลดการใช้พลังงาน (Wang *et al*., 2003) ซึ่งแตกต่างจากการให้ความร้อนโดยใช้อากาศซึ่งจะเกิดความร้อนจากบริเวณผิววัสดุก่อนแล้วจึงนำความร้อนสู่ภายใน (outside in)

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ประเภท คือ การใช้คลื่นไมโครเวฟและการใช้คลื่นความถี่วิทยุ เป็นวิธีการใหม่ที่ทำให้เกิดความร้อนสำหรับการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลเกษตร (Wang *et al*., 2003) โดยสร้างความร้อนอย่างรวดเร็วภายในของผลิตผลเกษตร โดยสามารถทำให้เกิดอุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นกว่าวิธีการดั้งเดิม และสามารถออกแบบร่วมกับกระบวนการที่ไหลต่อเนื่องในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (Tang *et al*., 2000; Nijhuis *et al*., 1998) เพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดเกี่ยวกับการใช้ความร้อนแบบดั้งเดิมเกี่ยวกับ airspaces หรือ bulkiness ของผลิตผลในการปฏิบัติโดยใช้อากาศทำให้เกิดความร้อนที่บริเวณผิวของผลิตผล ซึ่งคุณสมบัติ dielectric ทำให้คลื่นความถี่สามารถทำให้เกิดความร้อนรวดเร็วกว่าการใช้อากาศ ส่งผลให้ ลดระยะเวลาในกระบวนการให้ความร้อนและช่วยประหยัดพลังงาน (Wang *et al*., 2003; Birla *et al.,* 2004)

2.9.2 การให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency heat treatment)

การความร้อนด้วยคลื่นวิทยุทำงานโดยใช้ตัวกำเนิดคลื่น ทำด้วยวงจรหลอดแก้วสุญญากาศหรือสารกึ่งตัวนำ สร้างคลื่นวิทยุกำลังสูงส่งผ่านมายัง electrode plates โดยจะเป็นตัวปล่อยสนามคลื่นวิทยุตามรูปแบบที่กำหนดไปยังวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน ขนาดของกำลังคลื่นวิทยุที่ใช้สำหรับ

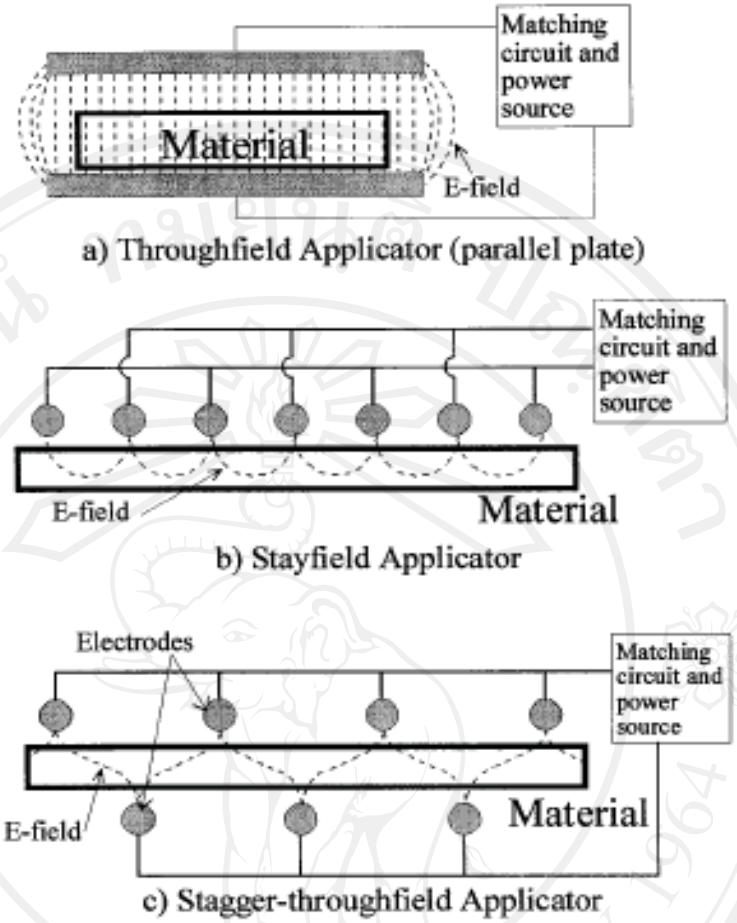
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้ความร้อนในอุตสาหกรรมจะอยู่ในระดับตั้งแต่ 500 วัตต์ไปจนถึงหลายร้อยกิโลวัตต์ ในย่านความถี่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz ซึ่งจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุและความถี่คลื่น โดยคลื่นที่ความถี่ต่ำกว่าจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ส่วนคลื่นความถี่สูงจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ตื้นกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดเล็ก

เทคโนโลยีคลื่นความถี่วิทยุนำไปใช้ในด้านอุตสาหกรรม ประกอบด้วย 2 ระบบ คือ ระบบเครื่องกำเนิดคลื่น RF (RF generator) และระบบไฟฟ้า 50 Ω โดยเครื่องกำเนิดคลื่น RF ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดพลังงาน (power generator) ระบบขั้วไฟฟ้า (electrode systems) และอุปกรณ์เชื่อมต่อ (coupling devices) ระหว่างเครื่องกำเนิดพลังงานกับระบบขั้วไฟฟ้า เครื่องกำเนิดพลังงาน เป็นแบบ free running oscillators (เครื่องกำเนิดฟ้ากระแสสลับแบบฟรีรันนิ่งออสซิเลเตอร์) โดยวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระสลับ (oscillator circuit) เชื่อมต่อกับ triode valve (อุปกรณ์ควบคุมการปิดเปิดหลอดสุญญากาศที่มีขั้วไฟฟ้า) ซึ่งถูกป้อนจากแหล่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง (U.I.E, 1992) oscillator circuit ประกอบด้วยอุปกรณ์เหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้า(inductor) และอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) เชื่อมต่อกันเป็นคู่ขนาน เมื่อการสั่นสะเทือนที่จากวงจรของ Oscillator ถูกควบคุม oscillator circuit โดยเชื่อมต่อกับ triode valve ซึ่งทำหน้าที่เหมือนสวิทช์ปิดเปิดของพลังงาน triode valve มีระบบหล่อเย็นโดยใช้อากาศหรือน้ำ (เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับเครื่องกำเนิดพลังงาน) ระบบขั้วไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการออกแบบสำหรับอุปกรณ์ของเครื่อง RF คลื่นความถี่วิทยุโวลต์สูงถูกป้อนจากเครื่องกำเนิดพลังงานส่งไปยังขั้วไฟฟ้าที่เรียกว่า applicators ซึ่งเกิดคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างแท่นโลหะ (electrodes) ผลิตภัณฑ์ถูกทำให้เกิดความร้อนระหว่างแท่นโลหะภายใต้อำนาจของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนของ electrode plates และผลิตภัณฑ์บรรจุอยู่ภายในตู้เพื่อป้องการรั่วไหลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ประเภทของ applicators มี 3 รูปแบบที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ดังแสดงใน **ภาพที่ 2. 9** คือ ระบบ through field electrodes, Stray field electrodes และ staggered through field electrodes ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



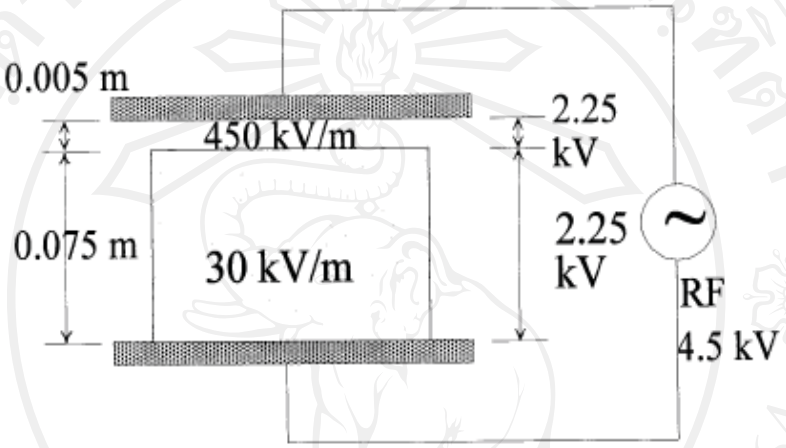
ภาพที่ 2.10 รูปแบบของ Electrodes (Metaxas, 1988)

ส่วนประกอบของ through field electrodes ประกอบด้วยแท่นโลหะผิวหน้าเรียบ 2 แผ่น และบรรจุผลิตภัณฑ์ระหว่างแผ่นโลหะ ในระบบ stray field electrodes เหมาะสมหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแนวนอนหรือแนวขวาง และผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีความสม่ำเสมอกัน โดยขั้ว electrodes plates มีรูปร่างเป็นแท่งโลหะกลมยาว, แท่งหรือแถบโลหะ มีความเหมาะสมกับกระบวนการแบบไหลต่อเนื่องและผลิตภัณฑ์มีลักษณะบาง และระบบ staggered through field electrodes คล้ายกับระบบ stray field electrodes ยกเว้นขั้ว electrodes plates จะจัดเรียงเป็นระเบียบให้สูงกว่าและต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ในการให้ความร้อน ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะหนา (U.I.E, 1992)

แหล่งกำเนิดโวลต์คลื่น RF ถูกส่งไปยังขั้ว electrodes plates ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กระดับ RF สนามเหล็กจะเปลี่ยนแปลงระหว่างแผ่น electrodes plates ส่งผลต่อลักษณะรูปร่างและคุณสมบัติไดอิเล็กทริกทำให้เกิดความร้อน เมื่อบรรจุวัสดุเขาไประหว่างช่องว่างของ electrodes plates (ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเภท through field electrodes) การกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอกันยกเว้นบริเวณใกล้กับริมหรือขอบของวัสดุ ขนาดของสนามแม่เหล็กเท่ากับโวลต์ที่ให้กับ electrodes plates แบ่งแยกตามระยะทางของ electrode plates 2 แผ่น และเป็นไปได้ว่ามีช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุและ electrodes plates ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.10**



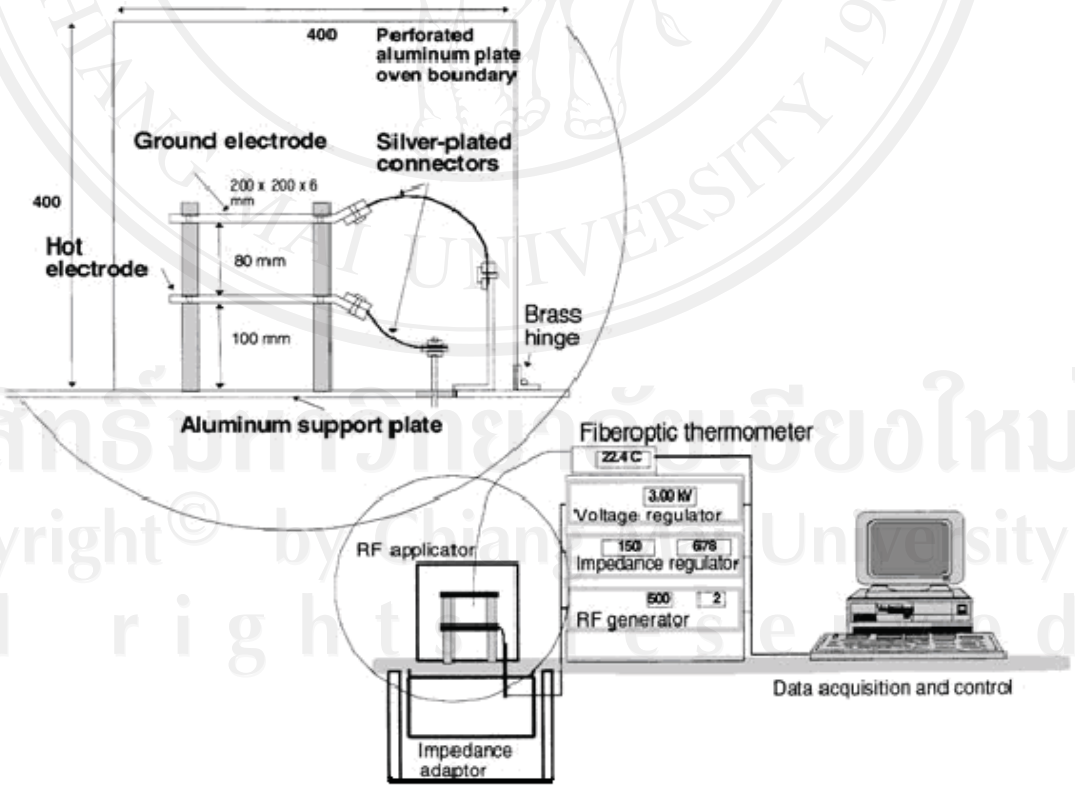
ภาพที่ 2.11 ผลกระทบของ Air gap (Orset, 1999)

ภาพที่ 2.1 1 แสดงถึงการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านวัสดุ 2 ชนิด คือ อากาศและผลิตภัณฑ์ โดยสนามแม่เหล็กภายในอากาศมีค่า dielectric constant เท่ากับหลายเท่าทวีคูณของของสนามแม่เหล็กภายในผลิตภัณฑ์ (ค่า dielectric constant อยู่ระหว่าง 2 ถึง 5) โดยโวลต์ที่ให้กับ electrodes plates คือผลรมของโวลต์ที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กผ่านผลิตภัณฑ์และอากาศ ใน **ภาพที่ 2.11** ค่าโวลต์ของผลิตภัณฑ์ คือ 2.25 kV (30 kV/m * 0.075 m) และค่าโวลต์ของอากาศ คือ 2.25 kV (450 kV/m * 0.005 m) โดยโวลต์รวมทั้งหมดเท่ากับ 4.5 kV ที่ส่งไปยัง electrodes plates แต่ถ้าไม่มีช่องอากาศจะใช้พลังงานโวลต์เพียง 2.25 kV เท่านั้น โดยช่องอากาศจะทำให้สูญเสียพลังงานถึง 2.55 kV ผ่านอากาศไม่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นควรกำจัดช่องอากาศให้น้อยที่สุดในการ ปฏิบัติ (U.I.E, 1992; Orset, 1999)

ประสิทธิภาพการส่งผ่านพลังงาน และการควบคุมเครื่องกำเนิดพลังงานที่ส่งผ่านไปยังผลิตภัณฑ์ผ่านทางระบบขั้ว electrodes ซึ่งได้เพิ่มอุปกรณ์เชื่อมต่อที่สามารถปรับการให้คลื่นความถี่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายใน applicator ด้วยเครื่องกำเนิดพลังงาน และสามารถปรับระดับพลังงานที่ส่งไปยังผลิตภัณฑ์ให้ได้รับอัตราการให้ความร้อนที่เหมาะสมได้ ส่วนประกอบของอุปกรณ์เชื่อมต่อโดยทั่วไปสามารถปรับค่าตัวเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าหรือคอยล์เก็บประจุไฟฟ้าซึ่งติดตั้งไว้ใกล้กับระบบ electrode system หรือเครื่องกำเนิดพลังงาน หรือพื้นที่เฉพาะที่อยู่ระหว่าง applicator กับเครื่องกำเนิดพลังงาน เรียกว่า matching boxes เครื่องกำเนิดคลื่น RF แยกส่วนจาก RF applicator โดยเชื่อมต่อโดยใช้ coaxial cable ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.12** โดยเครื่องกำเนิดคลื่น RF กำหนดความถี่ควบคุมโดย crystal oscillator ความถี่ที่ใช้โดยทั่วไปเช่น 13.56 MHz หรือ 27.12 MHz จุดประสงค์ในการกำหนดความถี่เพื่อลดการรบกวนจากการบริการการสื่อสาร การกำหนดความถี่โดย output impedance (ค่าความฝืดของคอยล์ต่อกระแสไฟฟ้าสลับ) ของเครื่องกำเนิดคลื่น RF ทำให้สะดวกต่อการตั้งค่า convenient value (50Ω) ภายใน matching boxes ซึ่งบรรจุ impedance เข้ากับระบบ และสามารถปรับค่าของส่วน RF Applicator ได้ถึง 50Ω ดังนั้นเครื่อง RF generator และส่วน RF applicator จำเป็นต้องทำงานภายใต้ impedance เช่นเดียวกัน สำหรับการเคลื่อนย้ายพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

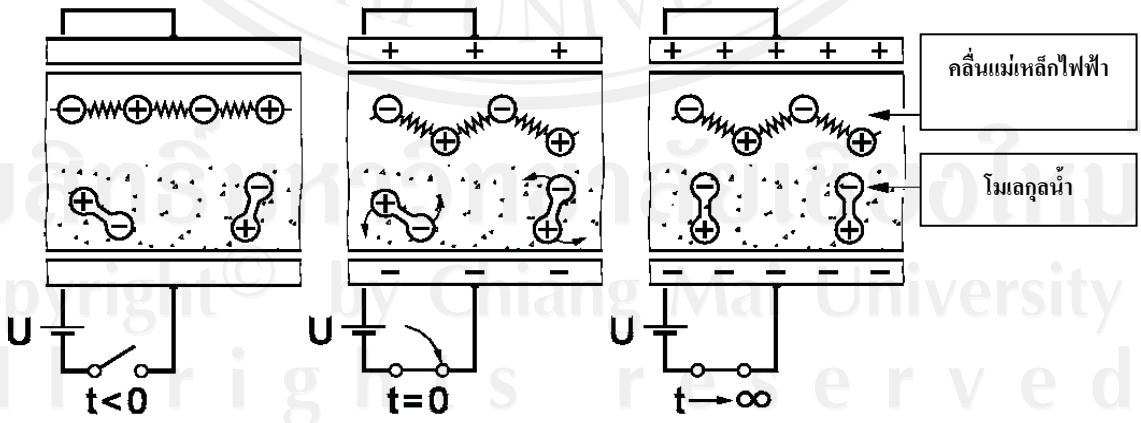


ภาพที่ 2.12 ระบบการทำงานของเครื่อง Radio Frequency (Cwiklinski, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9.3 กระบวนการกำเนิดความร้อนด้วยเครื่อง RF

เมล็ดพืชมีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ (dielectric properties) เมื่อได้รับพลังงานจาก RF ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงผ่านเข้าไปแบบกระแสสลับที่ความถี่ 27.12 MHz หรือ 27,120,000 ครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่ำและความยาวคลื่นที่ยาวส่งผลให้มีการควบคุมทิศทางของคลื่นได้ดี ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้โมเลกุลภายในเมล็ดพืชเกิดการสั่นสะเทือนตามความถี่ของคลื่น คือวัตถุที่มีโมเลกุล 2 ขั้ว เช่น น้ำมีพันธะ 2 พันธะคือไฮโดรเจน โดยการสั่นสะเทือนทำให้เกิดการสะสมพลังงานภายในโมเลกุลจากกระบวนการ intermolecular friction และ hysteresis โดยขึ้นอยู่กับความถี่และความยาวคลื่นของคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งแรงเสียดทานภายในระหว่างโมเลกุลของน้ำที่อยู่ระหว่างช่องว่างภายในเมล็ดทำให้เกิดความฝืดระหว่างอนุภาค ผลที่ได้คือความร้อนจะเกิดขึ้นตรงโมเลกุลของน้ำ ความร้อนที่สูงกว่าจุดอื่นภายในเมล็ดนี้ จะเกิดการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อน ซึ่งเป็นการถ่ายเทพลังงานในรูปของอนุภาค ผ่านตัวกลางที่ไม่มีการเคลื่อนที่ เช่น ของแข็งและของเหลวที่มีความหนืดสูง โดยที่ความร้อนจะเริ่มเกิดขึ้นที่น้ำในเมล็ดก่อน หลังจากนั้นความร้อนจากน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีการถ่ายความร้อนไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เพื่อรักษาสมดุลของอุณหภูมิ (equilibrium temperature) จนถึงระดับความร้อนที่ต้องการ (target temperature) **(ภาพที่ 2.13)**



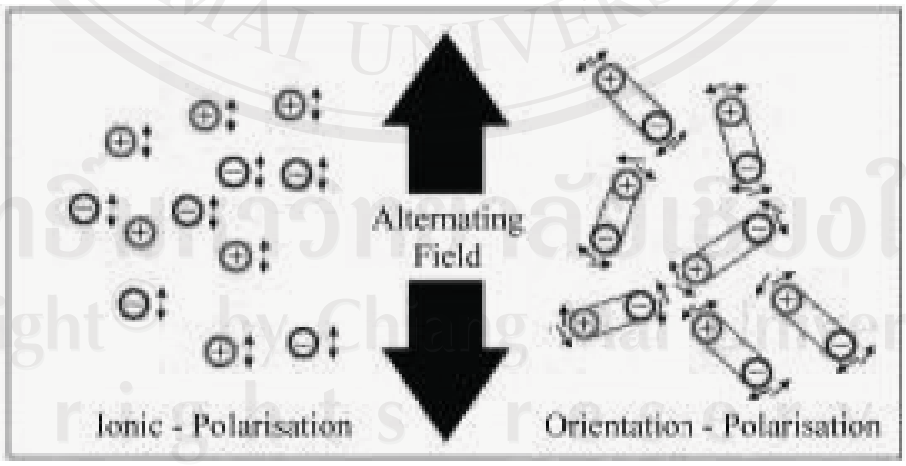
ภาพที่ 2.13 กระบวนการสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำจนเกิดความร้อน (Cwiklinski, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.9.4 การดูดซับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อให้เกิดความร้อนได้ 2 แบบ

1. Ionic polarisation เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าโดยแต่ละไอออนที่มีประจุไฟฟ้าประจำตัวถูกกระตุ้นและเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างไอออน ในขณะเดียวกันเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนขึ้น แล้วเกิดการกระจายความร้อนไปยังส่วนอื่นๆ ซึ่งการเกิดความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นในส่วนของของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลายต่างๆ

2. Orientation polarisation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) ซึ่งได้แก่ น้ำในสภาพปกติการเรียงตัวของประจุบวกและประจุลบของสารประกอบที่มีขั้วนี้เรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้าประจุบวกและประจุลบของสารเกิดการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้น การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปมาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ ซึ่งในคลื่นความถี่วิทยุ การเคลื่อนที่ของประจุ 3-300 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาทีหรือประมาณ 1 นาที หลังจากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ **(ภาพที่ 2.14)**



ภาพที่ 2.14 กระบวนการสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำจนเกิดความร้อน (Wolfgang and Dieter, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.10 แนวทางการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุ

2.10.1 การให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์อาหาร (Thermal treatment of food)

การใช้เทคโนโลยี RF ในอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำไปใช้สำหรับการทำ sterilizing หรือ pasteurizing อาหารเพื่อฆ่าเชื้อโรคในอาหาร การละลายอาหารแช่แข็ง และการอบขนมต่างๆ เป็นต้น การให้ความร้อนด้วย RF มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงกว่าวิธีการดั้งเดิม โดยสามารถทดแทนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมได้ โดยการให้ความร้อนโดยใช้ RF ในกระบวนการอบขนมปังชนิดต่างๆ โดยใช้คลื่นความถี่ระดับ 14-17 MHz ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20-59 วินาที สามารถอบขนมปังได้คุณภาพดีกว่า ใช้ระยะเวลาสั้น และประหยัดพลังงานมากกว่าวิธีดั้งเดิม (Cathcart *et al.,* 1947) และการละลายอาหารแช่แข็งโดยใช้ RF ที่ความถี่ระดับ 14-17 MHz ละลายไข่แช่แข็ง ผลไม้แช่แข็ง ผักแช่แข็ง และปลาแช่แข็ง โดยใช้ตัวอย่างน้ำหนัก 450 กรัม ถึง 13.6 กรัม ระยะเวลา 2-5 นาที โดยเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง และพบว่าคุณภาพของอาหารมีคุณภาพดีกว่า เนื่องจากสีของอาหารและการสูญเสียรสชาติมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (Cathcart *et al.,* 1947) เช่นเดียวกับการปรับปรุงคุณภาพของผลิตผล โดยมีการศึกษาเมล็ดถั่วเหลือง (*Glycine max L.*) ที่นำมาเป็นอาหารคนหรือสัตว์ที่จำเป็นต้องกำจัด trypsin inhibitor ออกให้หมดเพื่อให้ได้คุณค่าทางอาหารเต็มที่ โดยการศึกษา Borchers *et al.* 1972; Pour–El *et al.* 1981; Nelson *et al.* 1981 ประสบความสำเร็จในการทำลาย trypsin inhibitor โดยใช้ RF และยังพบอีกว่าการใช้ RF ทำให้ lipoxygenase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้รสชาติของอาหารไม่ดี (Off-flavors) ถูกทำลาย แต่ยังพบเอนไซม์ peroxidase คงอยู่โดยไม่ถูกทำลาย

2.10.2 การประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุในการลดความชื้น (Radio frequency drying applications)

2.10.2.1 การอบไม้ (Wood drying)

การใช้ RF ในการอบไม้ โดยใช้ระดับความถี่ช่วง 10-30 MHz ซึ่งเกิดจากน้ำภายในแผ่นไม้เกิดความร้อนขึ้นภายในและแผ่ความร้อนไปที่เซลล์ของไม้ ความร้อนขึ้นภายในแผ่นไม้และแผ่ออกมาบริเวณผิวแผ่นไม้ เป็นการทดแทนวิธีการลดความชื้นแบบดั้งเดิมที่มีข้อจำกัดหรือข้อเสีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของการอบแผ่นไม้ที่นำความร้อนจากผิวสู่จุดศูนย์กลางของแผ่นไม้ และการศึกษาการใช้ RF ร่วมกับการลดความดัน พบว่าความชื้นของแผ่นไม้ที่ความชื้น 35 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้คลื่นความถี่ระดับ 13.56 MHz ที่ระดับความดัน 2.7 kPa และกำลัง 0.6 kV ใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ขณะที่กำลัง 1 kV ลดระยะเวลาลงเหลือ 14 ชั่วโมง ขณะที่วิธีการอบแบบดั่งเดิมใช้ระยะเวลา 15-2 5 วัน

2.10.2.2 การลดความชื้นในผลิตผลทางการเกษตร (Agricultural product drying)

การลดความชื้นของเมล็ด alfalfa จากความชื้น 18 เปอร์เซ็นต์ ให้ลดลงเหลือ 12 เปอร์เซ็นต์ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้ RF ที่ระดับความถี่ต่ำ 1-5 MHz ร่วมกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหนาแน่น ทำให้คุณภาพการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ดีขึ้น แต่ต้องใช้ระยะเวลาการลดความชื้นนาน 40-60 นาที ทำให้ลดความชื้นของ alfalfa ลดลง 1 กิโลกรัม สอดคล้องกับการให้คลื่นความถี่สูง (10-15 MHz) ร่วมกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหนาแน่น สามารถลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ได้ภายในระยะเวลา 20-25 นาที แต่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ (Knipper, 1959)

2.10.3 การปรับสภาพเมล็ดพันธุ์ (Seed Treatment)

การใช้ RF ในการให้ความร้อนสำหรับการปฏิบัติต่อเมล็ดพันธุ์ ได้มีการศึกษาการแก้ปัญหาการพักตัวของเมล็ดพวกไม้ผลและไม้ประดับ ซึ่งมีการพักตัวแบบ hard-seed ซึ่งเกิดจากเปลือกชั้นหุ้มเมล็ด ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ไม่สามารถการดูดซึมน้ำ (impermeability seed coat) เข้าไปภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความงอกช้าหรือไม่สม่ำเสมอ (Nelson, 1976) โดยทั่วไปใช้วิธี scarification ในการแก้การพักตัวเมล็ด แต่ส่งผลเสียต่อการเก็บรักษา ดังนั้นการให้ความร้อนด้วย RF ที่ระดับความถี่ที่เหมาะสมสามารถเกิดความร้อนภายในเมล็ดพันธุ์ทำให้ความงอกเพิ่มขึ้น (Nelson, 1976) พบว่าการเปรียบเทียบใช้คลื่นที่ระดับความถี่ 39 MHz เพื่อแก้การพักตัวของเมล็ดพันธุ์ alfalfa จำนวน 3 พันธุ์ สามารถลดเปอร์เซ็นต์ hard-seed และเพิ่มความงอกของเมล็ดได้ โดยทำให้เมล็ดมีคุณภาพดีขึ้นและสามารถเก็บรักษาได้นานเพิ่มขึ้น (Stetson and nelson, 1972) เช่นเดียวกับการให้ความร้อนด้วยคลื่นที่ระดับความถี่ 2,450 MHz ในการกำจัดเมล็ดวัชพืชและส่งผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์พืช พบว่าทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้เมล็ดวัชพืชมีความงอกลดลง ทำให้ลดการแพร่กระจายของเมล็ดวัชพืชมีประโยชน์ในการผลิตต้นกล้าสำหรับการเพาะปลูก (Rodionova *et al.,* 1990; Barker and craker, 1991; Pyon *et al.,* 1997)

2.10.4 การกำจัดหรือฆ่าเชื้อโรคภายในผลิตผล (Product disinfestations or disinfection)

สำหรับการใช้ RF เพื่อทำลายเชื้อราและแบคทีเรียที่ติดมาในเมล็ดพันธุ์ ได้ มีการศึกษาการทำลายเชื้อราบางชนิดที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ประสบผลสำเร็จ ทดแทนการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายได้ มีรายงานว่าการใช้ RF ทำลายเชื้อรา *Phoma betae* ในเมล็ดพันธุ์ผักกาดหวาน (Cwiklinski, 1999) และเชื้อรา *Fusarium culmorrum* ในเมล็ดพันธุ์ข้าวบาเลย์ (Akaranuchat *et al.*, 2007) ที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ได้โดยไม่ทำให้เมล็ดพันธุ์สูญเสียความงอก สอดคล้องกับการใช้ RF ในการให้ความร้อนกับเมล็ดพันธุ์ Alfalfa เพื่อกำจัดเชื้อโรค ทำให้จำนวนของเชื้อโรคและเปอร์เซ็นต์ hard-seed ของเมล็ดลดลงได้สำเร็จ (Nelson *et al.,* 1976) และเป็นทางเลือกสำหรับการอบฆ่าเชื้อโรคในเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลี การใช้ RF ที่ระดับความถี่ 15 MHz เป็นระยะเวลา 4 นาที สามารถฆ่าเชื้อโรคได้สำเร็จ (Lambert *et al.,* 1950) เช่นเดียวกับรายงานของ Nelson and Charity (1972) พบว่า การใช้ RF ที่ระดับความถี่ 39 MHz เป็นระยะเวลา 3 วินาที และ 2,450 MHz เป็นระยะเวลา 13 วินาที สามารถทำลายตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าว ในเมล็ดพันธุ์ข้าวสาลีได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนการรมด้วยสารเคมี (fumigation) ได้และไม่ทำให้มีสารพิษตกค้างในผลิตผลอีกต่อไป (Nelson and Stetson, 1974) และการใช้ RF ใน การให้ความร้อนในการกำจัดแมลงศัตรูโรงเก็บ ควรคลื่นที่ระดับความถี่ 1-100 MHz และไม่แนะนำการให้ความร้อนโดยการใช้ไมโครเวฟ (Rosenberg and Bogl, 1987; Nelson *et al.,* 1998)

2.11 การเปลี่ยนแปลงของข้าวที่เป็นผลมาจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

การให้ความร้อนโดยใช้ RF ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบเป็นปัจจัย สามารถ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวจากข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่า โดยการใช้อุณหภูมิสูง และใช้ระยะเวลาน้อยลง

การให้ความร้อนด้วย RF ส่งผลทำให้ความชื้นของเมล็ดข้าวลดลง โดย Janhang *et al.* (2005) พบว่าการใช้คลื่น RF ระดับความถี่ 27.12 MHz ที่ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180 วินาที ทำให้ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกลดลงต่ำสุดเท่ากับ 9.3 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับรายงานของณคณิณและคณะ (2551) และ Theanjumpol *et al.* (2007) พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่น RF ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที ทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงต่ำสุดเช่นเดียวกัน

การให้ความร้อนด้วย RF ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาของพลากรและคณะ (2551) พบว่าการให้ความร้อนด้วย RF ที่ระดับอุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที ทำให้ เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มสูงสุดเท่ากับ 55.79 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่สีของข้าวสารเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากการให้ความร้อน สอดคล้องกับรายงานการทดลองที่อุณหภูมิ 75 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที ทำให้ข้าวสารมีค่าสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวสารมีเหลืองและขาวขุ่นเพิ่มขึ้น (Theanjumpol *et al.,* 2007)

การให้ความร้อนด้วย RF มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการยืดตัวของเมล็ดและความคงตัวของแป้งสุก จากรายงานของณคณิณและคณะ (2551) พบว่าการให้ความร้อนด้วย RF กับข้าวสารขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที ทำให้คุณภาพการหุงต้มของข้าวสุกมีอัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก เพิ่มขึ้น และความคงตัวของแป้งสุก ลดลง ส่งผลทำให้ข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการหุงต้ม คล้ายกับข้าวเก่า

การให้ความร้อนด้วย RF สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสข้าวสุก จากรายงานศึกษาของ Theanjumpol *et al,* (2007) กล่าวว่าการใช้ RF ให้ความร้อนกับข้าวสารส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวที่ระดับอุณหภูมิ 45, 60, 75 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที พบว่าข้าวสารหลังการให้ความร้อน ทำให้คุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวสุกมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและความเหนียวติดกันลดลง สอดคล้องกับรายงานของพลากรและคณะ (2551) ; ณคณิณและคณะ (2551) พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น และค่าการบดเคี้ยวเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเหนียวติดกันลดลง ขณะที่ Marzal *et al.* (2005) พบว่าการใช้คลื่น MW สามารถเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสของข้าวสุกโดยทำให้ค่าความแข็ง เพิ่มขึ้นและค่าความเหนียวติดกันลดลงเช่นเดียวกัน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดข้นของแป้งข้าว Anderson and Guraya (2006) กล่าวว่าการให้ความร้อนด้วย RF สามารถทำให้ข้าวเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้าวใหม่ให้คล้ายกับข้าวเก่าได้ สอดคล้องกับรายงานของพลากรและคณะ (2551) พบว่า ข้าวเปลือกขาวดอกมะลิ 105 ผ่านการให้ความร้อนด้วย RF ที่ระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที กับ ทำให้เกิดผลต่อการเปลี่ยนแปลง pasting โดยทำให้ค่า breakdown ลดลง ตรงข้ามกับ final viscosity, setback และ pasting temperature ที่มีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ ณคณิณและคณะ (2551) ได้ศึกษาผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของการใช้ RF กับข้าวสารที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด ของแป้ง โดยทำให้ค่า peak viscosity และ breakdown ลดลง ขณะที่ค่า setback เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ส่งผลทำให้คุณภาพการหุงต้มของข้าวสุกมีคุณภาพคล้ายข้าวเก่าได้ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก

ส่วนการให้ความร้อนด้วย RF ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของข้าวโดยทำให้ปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (ณคณิณและคณะ, 2551) แต่การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์อะไมโลส ในการทดลองนี้ถึงแม้จะมีความแตกต่างกันทางสถิติคือ 15.99–17.36เปอร์เซ็นต์ แต่คงยังอยู่ในช่วงของอะไมโลสที่จำแนกเป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสต่ำ (10-19 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นลักษณะของเมล็ดข้าวเมื่อสุกจะมีลักษณะเหนียวนุ่ม และยังมีค่าของเปอร์เซ็นต์อะไมโลสที่เป็นคุณสมบัติของข้าวขาวดอกมะลิ (งามชื่น, 2545) แต่ไม่ส่งผลต่อ การเปลี่ยนแปลงกลิ่นหอม ของข้าว โดยปริมาณสาร 2AP ไม่แตกต่างทางสถิติกับข้าวสารที่ผ่านการใช้ RF (ณคณิณและคณะ, 2551)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงได้ทำการศึกษาการให้ความร้อนด้วย RF เพื่อเร่งความเก่าของข้าวใหม่ทำให้มีคุณภาพของข้าวคล้ายกับข้าวเก่า โดยทำการศึกษาระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการสีและคุณภาพการหุงต้มของข้าวใหม่ ทำให้คล้ายกับข้าวเก่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved