บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

2.1.1 ความสำคัญโดยทั่วไปของอาหารขบเคี้ยว

อาหารว่าง (snack food) มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น ขนมขบเคี้ยว ขนมกรอบ ความหมายของอาหารว่างนั้น คือ อาหารหรือขนมที่รับประทานระหว่างอาหารมื้อหลักหรือรับประทานระหว่างการเดินทาง ดูภาพยนตร์ พฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยวนั้นมักจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่าง ๆ จากการสำรวจพบว่า เกี่ยวข้องกับการดูโทรทัศน์มากที่สุดคือ ร้อยละ 31.20 รองลงมาคือ พักผ่อนอยู่บ้าน ร้อยละ 23.10 (ผู้จัดการ, 2547) ขนมขบเคี้ยวนั้นมีหลากหลาย บางชนิดไม่มีคุณค่าทางโภชนาการเลย เช่น เมี่ยง หมากพลู ส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารบ้างโดยเฉพาะพลังงาน เช่น คุกกี้ ข้าวโพดคั่ว ข้าวเกรียบ (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ข) จากการสำรวจข้อมูลพบว่า เด็กและเยาวชนมีการบริโภคขนมขบเคี้ยวจำนวนมาก โดยมีการใช้จ่ายถึงคนละ 9,800 บาทต่อปี หรือ โดยรวม 170,000 ล้านบาทต่อปี (วิทยา, 2549) ขนมขบเคี้ยวเป็นขนมที่สะดวกซื้อมีขายอยู่ทั่วไป ซึ่งสามารถจะจำแนกตามส่วนประกอบออกเป็น 4 กลุ่ม คือ (ปฏิมา, 2548)

1. กลุ่มข้าว และแป้ง เช่น ขนมอบกรอบชนิดแผ่นหรือสอดไส้ (รสหวาน และเค็ม) และข้าวเกรียบ
2. กลุ่มข้าว แป้ง และไขมัน เช่นมันฝรั่งทอดกรอบ ข้าวโพดอบกรอบ
3. กลุ่มที่มีแหล่งโปรตีน เช่น ปลาเส้น ปลาอบกรอบ
4. กลุ่มที่เป็นแหล่งโปรตีน และไขมัน เช่น ถั่วอบกรอบ ถั่วทอด

ลักษณะของขนมขบเคี้ยวที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไปมี 2 แบบ คือ กลุ่มที่จัดเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวบรรจุในซอง หรือกล่องปิดสนิทผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยมีวิธีการทำขนมซึ่งผ่านกรรมวิธีในการทำลาย หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนก่อนการบรรจุหรือปิดผนึก ขนมประเภทนี้มีการบรรจุใส่ภาชนะที่ปิดสนิท เช่น กระป๋องที่เป็นโลหะ ถุงพลาสติก หรือ วัสดุอื่น ๆ ที่สามารถป้องกันไม่ให้อากาศจากภายนอกผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุได้ และกลุ่มขนมประเภทที่ต้องรับประทานในสภาพสด ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน เช่น ขนมปัง ขนมแบบไทย ๆ เช่น ขนมชั้น วุ้นกะทิ ฝอยทอง เม็ดขนุน เป็นต้น (กรมอนามัย, 2547)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 ประเภทของอาหารขบเคี้ยว

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพอจะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546) ได้แก่

1) ผลิตภัณฑ์จากมันฝรั่ง มันฝรั่งทอดกรอบนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผู้นิยมรับประทานมากที่สุด

2) ผลิตภัณฑ์ประเภทพองกรอบ ผลิตภัณฑ์ในประเภทนี้จัดได้ว่ามีมากชนิดที่สุด และยังมีมากมายหลายรูปแบบทั้งเป็นชิ้น รูปร่างต่าง ๆ แบบแผ่น แบบแท่ง รสหวาน รสเค็ม แม้กระทั่งแบบสอดไส้ ส่วนมากจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเครื่อง Extruder วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ปลายข้าว หรือข้าวท่อน และข้าวโพดบดหยาบ (ประชา, 2537)

3) ขนมประเภทปลาเส้น และถั่วชนิดต่าง ๆ

4) เยลลี่พร้อมบริโภคมีทั้งชนิดบรรจุถ้วยขนาดพอคำ และถ้วยใหญ่ที่ต้องตักกิน

5) ลูกอมทั้งแบบอมและแบบเคี้ยวชนิดที่เป็นเม็ดแข็งหรือแบบหนืดเคี้ยวได้

2.1.3 วัตถุดิบ ที่ใช้ในการผลิตอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

2.1.3.1 แป้ง หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสารอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีองค์ประกอบอื่นอยู่มากจะเรียกว่า ฟลาว์ (flour) แป้งข้าวเจ้าซึ่งมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 7 เรียกว่า ไรซ์ฟลาว์ (rice flour) ไรซ์ฟลาว์ถูกสกัดเอาโปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ เรียกว่า สตาร์ช (starch) (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) แป้งข้าวมีองค์ประกอบหลักอยู่ 2 องค์ประกอบดังนี้

1) อะไมโลส (amylose) อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage (Stryer, 1995) และแป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยารีโทรแกรเดชัน (retrogradation) ลดลง อะไมโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มากนัก โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบคือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (random coil) อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 – 16,000 จะมีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระ และ ไม่ละลายในสารละลาย สำหรับอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกลุน้อยกว่า 6,500 อาจมีบางส่วนที่ละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (Whistler and Daniel, 1984)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) อะไมโลเพกติน (amylopectin) อะไมโลเพกตินเป็นโพลิเมอร์กิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้น ๆ มีโมเลกุลต่อกัน (degree of polymerization) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage (Stryer, 1995) ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย 3 ชนิด (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

2.1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)

2.2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่น ๆ 2 สาย หรือมากกว่า พบว่า โครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตรา ส่วน 0.8 : 1

2.3) สาย C (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

อะไมโลเพกตินจะจับกันเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะประกอบไปด้วยสายประมาณ 22-25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของเม็ดแป้ง ในการจับกลุ่มของอะไมโลเพกตินทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งช่วยทำให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยาด้วยกรด และเอนไซม์ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

2.1.3.2 น้ำมีผลอย่างมากต่อกลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำมีผลตาการแตกตัวของเม็ดแป้ง ถ้าใช้น้ำมากเกินไป เม็ดแป้งจะแตกตัวมากจะให้เจลที่เหนียว แต่ถ้าใช้น้ำน้อยเกินไป แป้งจะพองตัวได้น้อย และไม่สุกจึงไม่เกิดเจลมากนัก จะได้ก้อนแป้งที่ร่วน และให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่กรอบ นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้าใส่ส่วนผสมที่มีความชื้นสูงลงไปด้วย ปริมาณน้ำที่ใช้จะลดลง แต่ละลดลงเท่าใดขึ้นอยู่กับชนิดของส่วนผสมนั้น (ศุภรัตน์, 2537) ปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบในอาหารนั้นมีความสำคัญต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งจะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นภายในชิ้นอาหาร แต่การดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้แตกต่างกันไปขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร และลักษณะทางกายภาพของอาหาร (สายสนม, 2540)

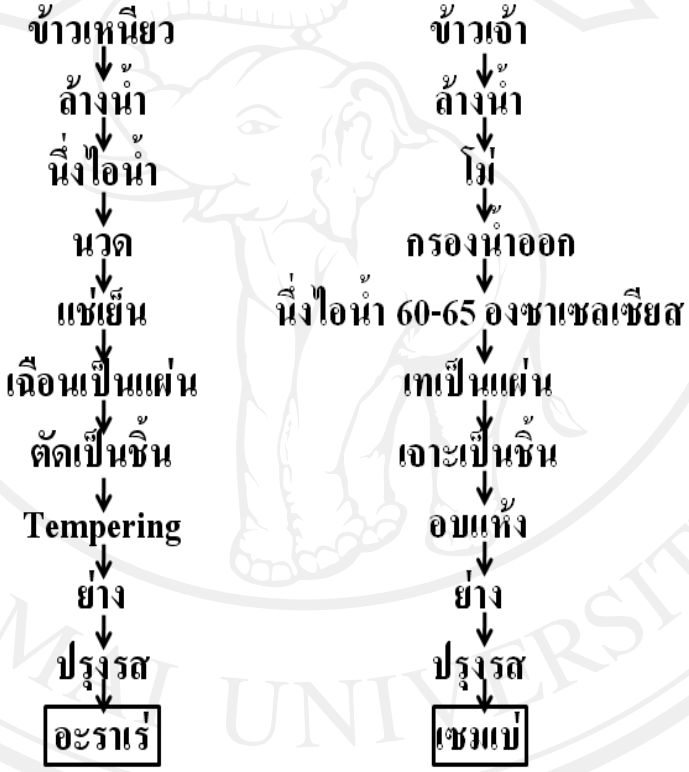
หน้าที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์พองกรอบ ในการเติมน้ำลงไปในผลิตภัณฑ์พองกรอบนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิของโด ช่วยควบคุมความหนืดของโด ช่วยให้เม็ดแป้งเปียกและเกิดการพองตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์เก็บได้นานขึ้น มีเนื้อสัมผัสที่กรอบ และพอง ที่สำคัญน้ำยังมีผลต่อพลังงานความร้อนที่เกิดในชิ้นแผ่นอบกรอบ (จิตธนา และคณะ, 2540) เมื่อใช้คลื่นไมโครเวฟ ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัว และกรอบ (สายสนม, 2540)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 กรรมวิธีการผลิตอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

อาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ (expanded snack) สามารถจำแนกประเภทได้จากกระบวนการผลิต (ผลิตภัณฑ์จากข้าว, 2554)

1) การพองด้วยการย่างบนความร้อน (baking) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อะราเร่ (arare) ที่ทำจากข้าวเหนียว และเซมเบ่ (senbei) ที่ทำจากข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ เทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดนี้ นำมาจากชาวญี่ปุ่น ในการทำผลิตภัณฑ์อะราเร่ ข้าวเหนียวพันธุ์ที่นิยมใช้ คือ กข6 สำหรับผลิตภัณฑ์เซมเบ่ ข้าวที่เหมาะสม คือข้าวอะไมโลสต่ำ ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด มีขบวนการผลิตต่างกันดังแสดงในภาพ 2.3



ภาพ 2.3 แสดงแผนภูมิขบวนการผลิต อะราเร่ และ เซมเบ่

ที่มา : http://www.brrd.in.th

2) การพองที่เกิดจากแรงอัดที่อุณหภูมิสูง (extrusion) ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีการพองที่เกิดจากแรงอัดที่อุณหภูมิสูง มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย การพองตัวของแป้งเกิดจากการที่แป้งได้รับความร้อนจากขดลวดและความดันสูงจาก การขับเคลื่อนของแท่งเกลียว ทำให้แป้งและองค์ประกอบอาหารเกิดการแตกตัว และรวมตัวกัน เมื่อแป้งเหลวนี้เคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศ ความดันจะลดลงอย่างรวดเร็ว ไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวจะกระจายระเหยออกทันที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และดันก้อนแป้งเกิดรูพรุนกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ เครื่อง extruder นี้ มีทั้งชนิดเกลียวเดียว และเกลียวคู่ เทคโนโลยีนี้สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบและยังเอื้ออำนวยต่อการเติมสาร อาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย

3) การพองตัวที่เกิดจากแผ่นความร้อน (puffing machine) หลักการของเทคโนโลยีนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับ extrusion แต่ความดันที่ได้รับเกิดจากแรงกด และการเคลื่อนกลับของแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่นประกบกัน ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้แก่ เค้กข้าว

4) การพองที่เกิดจากการอบหรือทอดในน้ำมันร้อน (oven or deep fry puffing) เช่น ข้าวตอกซึ่งทำจากข้าวเหนียว ข้าวตังทอด ขนมนางเล็ด

2.1.5 หลักการพื้นฐานในการผลิตอาหารขบเคี้ยวประเภทขึ้นรูปก่อนทำให้พองตัว

2.1.5.1 วัตถุดิบ แป้ง เป็นวัตถุดิบที่สำคัญต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์พองกรอบ เนื่องจากแป้งมีหน้าที่ในการเป็นโครงสร้างหลักของผลิตภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบ และพอง อะไมโลสในแป้งจะงอตัวจับกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของอะไมโลเพกติน ทำให้ส่วนนี้มีความหนาแน่นมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของเม็ดสตาร์ช เรียกว่า ผลึกรอบ ๆ ผลึกส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะไมโลเพกติน ส่วนนี้โครงสร้างไม่แน่นหนา น้ำซึมผ่านได้ง่าย ดังนั้นเม็ดสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงทำให้น้ำซึมผ่านได้ช้า และเม็ดสตาร์ชที่มีปริมาณของอะไมโลเพกตินสูงจะดูดซึมน้ำได้เร็ว ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสจะจับกับโมเลกุลของอะไมโลเพกติน หรือจับตัวกันเองในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบคือ สานตัวเป็นร่างแห และอุ้มน้ำไว้ได้ดี เจลที่ได้มีลักษณะเหนียวหนืด ยืดตัวได้ยาก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวได้ยาก ทำให้ความหนาแน่นของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จึงทำให้การยอมรับของผลิตภัณฑ์ลดลง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546; พัชรินทร์ และสุจิรา, 2542) ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดี ควรทำจากแป้งที่มีปริมาณ อะไมโลสประมาณร้อยละ 5-10 (พจนา, 2536) ซึ่งจะทำให้ได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือ มีการพองตัวที่ดี (ธงชัย, 2536) ศิวาพร และคณะ (2534) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาอาหารเช้าพร้อมบริโภคโดยใช้แป้งปลายข้าวเจ้า พบว่า เมื่อปริมาณอะไมโลสลดลงจะทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าพร้อมบริโภคจากแป้งปลายข้าวเจ้าสามารถดูดน้ำได้อย่างรวดเร็วขึ้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวดีขึ้น

2.1.5.2 การนวดผสม เนื่องจากอนุภาคของเม็ดแป้งจะมีลักษณะแน่นในกรณีไม่มีการผสม การซึมผ่านของน้ำเข้าไปในอนุภาคแป้งจะเป็นไปอย่างช้า ๆ โดยวิธีการแพร่ การผสมเป็นการทำให้อนุภาคของเม็ดแป้งขัดสีกันจนแตกออกเป็นอนุภาคที่เล็กลง น้ำซึมผ่านได้ง่ายขึ้น และเมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผสมแป้งกับน้ำในปริมาณที่พอเหมาะจะได้ก้อนแป้งที่มีความเหนอะหนะ เนื่องจากเมื่อเราเติมน้ำลงไป ผิวหน้าของแป้งจะดูดซับไว้ทันที เมื่อผสมต่อไปเรื่อย ๆ ก้อนแป้งจะแฉะน้อยลง และมีความเหนียวเพิ่มขึ้น และอุ้มน้ำได้ดี (จิตธนา และคณะ, 2540)

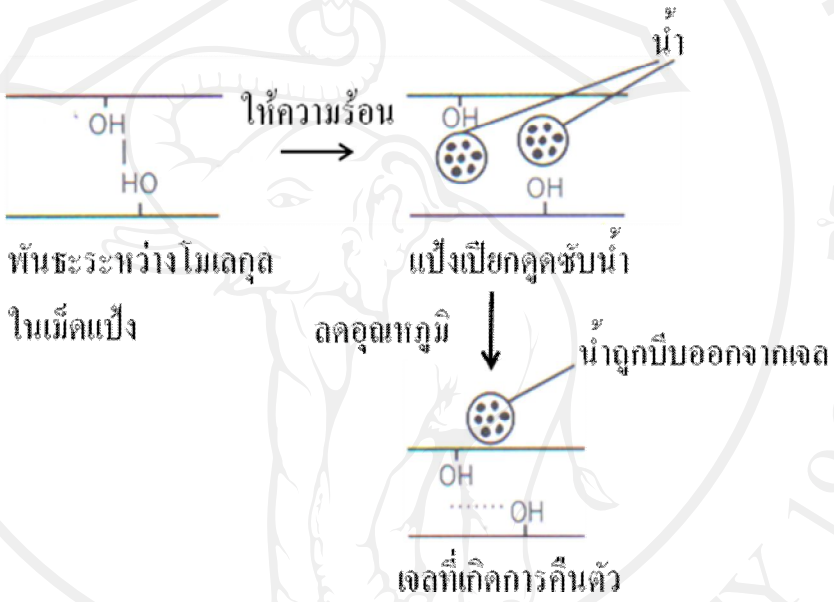
2.1.5.3 การนึ่งแป้งทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์เซชัน (gelatinization) ซึ่งการเกิดเจลาติไนซ์เซชันของเม็ดแป้งได้เป็น 3 ระยะคือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างกำจัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelles ยืดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่งขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่าง และโครงสร้างแบบ bifringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่าง micelles ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายลง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาติไนซ์เซชัน เม็ดแป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และโครงสร้างแบบ bifringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าแยกส่วนใสมาหยดสารละลายไอโอดีนลงไปจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล การเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่าง ๆ ได้ดีกว่า ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งจะแตกต่างกันไปตามชนิด และองค์ประกอบของแป้ง ซึ่งอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งข้าวเจ้าอยู่ในช่วง 68-78 องศาเซลเซียส (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546; Saders, 1996)

2.1.5.4 การนวดแป้งนึ่งสุก ในระหว่างการนวดจะเกิดแรงเฉือน และแรงกดดันทำให้เม็ดแป้งถูกทำลาย ซึ่งจะไปเพิ่มความสามารถในการจับน้ำของแป้ง เนื่องจากมีปริมาณกลุ่ม OH มากขึ้น (Jomduang, 1994) และยังทำให้ความชื้นภายในแป้งนึ่งสุกกระจายตัวสม่ำเสมอ

2.1.5.5 การแช่เย็นทำให้แป้งเกิดการรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายอกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

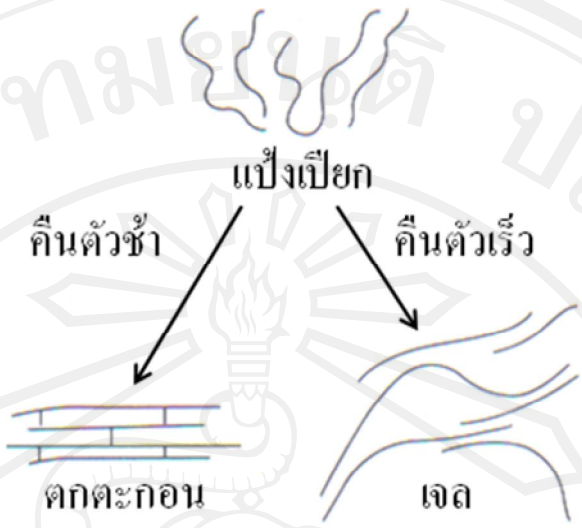
ตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำ และไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล เรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพ 2.1 (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)



ภาพ 2.1 การเกิดรีโทรเกรเดชัน
ที่มา : กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

การคืนตัวของแป้งเปียกและสารละลายแป้งทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะขุ่นและทึบแสง เกิดชิ้นส่วนที่ไม่ละลายในแป้งเปียกที่ร้อน เกิดการตกตะกอนของอนุภาคแป้งที่ไม่ละลาย ทำให้เกิดเจล และโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ทำให้เกิดเจล และโมเลกุลน้ำถูกบีบออกมานอกเจล ในการคืนตัวของแป้งเมื่อเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จะเกิดการตกตะกอน เมื่อเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิด เจลขุ่น ดังแสดงในกลไกการคืนตัวของแป้งภาพ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.2 กลไกการคืนตัวของแป้ง
ที่มา : กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2546)

การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะไมโลส อะไมโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในแป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง ในการชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก แคลเซียมไนเตรท และยูเรีย

ปริมาณ และขนาดของอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกทินสูง อัตราในการคืนตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (degree of polymerization) ของอะไมโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้ อะไมโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะไมโลเพกทินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการคืนตัวที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดข้าวเหนียวจะมีอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะไมโลสในแป้งข้าวโพดเหนียว สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการคืนตัวสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องมาจากในแป้งธัญพืชมีปริมาณอะไมโลสสูง (ประมาณร้อยละ 28) มีอะไมโลส โมเลกุลขนาดเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลส และไขมัน (amylose-lipid complex)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.5.6 การทำแห้ง คือ การให้พลังงานแก่อาหารทำให้น้ำในอาหารระเหยกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนที่ออกจากอาหาร และลมทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอน้ำ ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งให้มีการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากผิวอาหาร และการถ่ายเทความร้อนให้เร็วขึ้น ทำให้อาหารแห้งได้เร็วขึ้น โดยเครื่องอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด (สุคนธ์ชื่น, 2540) ตามหลักการให้ความร้อน ได้แก่

1) Adiabatic dryer เป็นเตาอบแห้งที่ให้ความร้อนโดยการใช้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่สัมผัสกับอาหาร โดยอาหารอาจอยู่กับที่ หรือเคลื่อนที่

2) Solid surface transfer dryer เป็นเตาอบแห้งที่ให้อาหารสัมผัสกับแผ่นโลหะร้อน น้ำที่ระเหยจะกระจายออกไปในบรรยากาศ แล้วใช้การหมุนเวียนอากาศ หรือใช้ระบบสุญญากาศ

2.1.5.7 การพองตัว เกิดขึ้นจากน้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนสูงจึงเกิดการระเหยเป็นไอน้ำ และดันให้ผลิตภัณฑ์ขยายตัวออก ทำให้ก้อนแป้งเกิดรูพรุน เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้ (ผลิตภัณฑ์จากข้าว, 2554)

2.1.6 ภาชนะที่ใช้บรรจุอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

2.1.6.1 ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้วัสดุสำหรับบรรจุอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบมีหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของอาหารที่จะบรรจุ สมบัติของฟิล์มต่าง ๆ ที่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น ความสวยงามของฟิล์มพลาสติกในด้าน ความใส ความมันเงา และคุณภาพการพิมพ์ ชนิดของฟิล์มพลาสติกกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เช่น ความสามารถในการปิดผนึก และความคงทนต่อความร้อนที่ใช้ในการปิดผนึก เป็นต้น วัสดุที่ใช้บรรจุอาหารต้องมีแหล่งผลิตที่ใกล้และราคาที่เหมาะสม (สุพจน์, 2537)

2.1.6.2 สมบัติที่สำคัญของภาชนะที่นำมาบรรจุอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

1) ป้องกันความชื้นได้ เนื่องจากอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบจะสามารถดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ง่าย ทำให้เหนียว ไม่กรอบ ในขณะเดียวกันปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะเร่งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่าง ๆ ให้เร็วขึ้นด้วย เช่น การเกิดปฏิกิริยาของไขมันกับออกซิเจนในอากาศ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ Stanley and Griffin (1980) พบว่าถุงพลาสติกบรรจุอาหารขบเคี้ยวควรมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำประมาณ 0.4 กรัม ต่อ 1.6 ตารางเซนติเมตร ต่อ 24 ชั่วโมง ที่ 37.7 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ร้อยละ 95 เช่น ฟิล์มพลาสติกโพลิเอทธิลีน โพลิโพรพิลีน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ อาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบที่ผ่านกรรมวิธีการปรุงรส จะมีไขมันเคลือบที่ผิว หากใช้ฟิล์มพลาสติกที่ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้แล้ว จะทำให้ไขมันหรือน้ำมันเกาะติดอยู่ที่ผิวนอกของถุง เป็นคราบไม่น่าดู พลาสติกที่สามารถป้องกันไขมันได้ดี เช่น ไอโอโนเมอร์ โพลิโพรพิลีน เป็นต้น

3) ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ แก๊สออกซิเจนที่อยู่ในอากาศสามารถทำปฏิกิริยากับไขมันในอาหาร ทำให้เกิดการหืน เนื่องจากในการปรุง มีการใช้น้ำมันในการทำให้ผงปรุงรสเกาะติดกับอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีไขมันอยู่ที่ ร้อยละ 9-10 และมีพื้นที่ผิวสูง จึงเกิดปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนได้ง่าย ปฏิกิริยาจะเกิดเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมัน และน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ การหืนโดยปฏิกิริยานี้จะเกิดเร็วขึ้นถ้าอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ความชื้นสูง ถูกแสงแดด และมีโลหะ เช่น ทองแดง หรือตะกั่ว (Fennema, 1996) การเกิดการหืน โดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมัน และน้ำมันลดลงด้วย ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนต่ำ ในขณะเดียวกันก็ไม่ควรเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิ และความชื้นสูง พร้อมกันนี้ก็ไม่ให้ถูกแสงแดด Stanley and Griffin (1980) พบว่าถุงพลาสติกที่เหมาะในการบรรจุ อาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบควรมีความสามารถสกัดกั้นออกซิเจนได้มากกว่า 1 มิลลิลิตร ต่อ 1.6 ตารางเซนติเมตร ต่อ 24 ชั่วโมง ที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 23.8 องศาเซลเซียส ฟิล์มพลาสติกที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของแก๊สต่ำช่วยรักษากลิ่นของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ และป้องกันไม่ให้กลิ่นแปลกปลอมจากภายนอกถุงเข้ามาปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย ตัวอย่างฟิล์มพลาสติกที่มีค่าการซึมผ่านของแก๊สต่ำ ได้แก่ ไนลอน เป็นต้น

นอกจากสมบัติของฟิล์มพลาสติกดังได้กล่าวมาแล้ว ควรคำนึงถึงสมบัติของฟิล์มพลาสติกในด้านอื่น ๆ ที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น สมบัติในด้านการใช้กับเครื่องจักรซึ่งมักถูกกำหนดโดยเครื่องจักรที่มีอยู่แล้ว โดยจะครอบคลุมเกี่ยวกับความเร็วในการบรรจุ และปิดผนึก อุณหภูมิ และความดันในการปิดผนึก เป็นต้น ซึ่งฟิล์มไม่ควรขาดง่าย คือ ค่าการต้านแรงดึงขาดพอเหมาะ สมบัติของฟิล์มพลาสติกในด้านความสวยงามเป็นองค์ประกอบที่ต้องการในเชิงการตลาด เพราะมีส่วนดึงดูดผู้บริโภค ฟิล์มพลาสติกที่มีความมันเงาสูง มักถูกใช้ประกบอยู่ภายนอกฟิล์ม สำหรับฟิล์มที่เคลือบด้วยอะลูมิเนียม (metallization) จะให้ความเงาของอะลูมิเนียม ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูมีระดับสูงขึ้น เป็นการเพิ่มมูลค่า นอกจากความมันเงาแล้วคุณภาพการพิมพ์ก็มีส่วนสำคัญต่อการเลือกใช้ชนิดของพลาสติก สำหรับสมบัติสุดท้าย คือ สมบัติด้านราคาอันสัมพันธ์กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แหล่งจัดหา จำนวนจัดซื้อในแต่ละครั้ง ระยะเวลาที่นำส่ง ฟิล์มพลาสติกที่แม้ว่าจะมีสมบัติอื่น ๆ เหมาะสมแต่ถ้าราคาสูง หรือหาซื้อยาก ระยะเวลาในการจัดส่งนานย่อมก่อให้เกิดปัญหากับผู้ผลิต (อรนุช, 2545)

2.1.6.3 ฟิล์มพลาสติกที่นิยมบรรจุอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

1) ฟิล์มเมทัลไลซ์ (metallized film หรือ metallized aluminium) เป็นพลาสติกที่ถูกเคลือบด้วยไออลูมินัม เช่น พลาสติก Vacuum Metallized Cast Polypropylene (VMCPP) คือ พลาสติก cast polypropylene เคลือบด้วยไอของอลูมินัม อลูมินัมที่เคลือบบนผิวฟิล์มเหล่านี้จะหนาเพียง 30 นาโนเมตร วิธีนี้จะปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้ดีขึ้น คือ ป้องกันการซึมผ่านของ แก๊สดี ทั้งในสภาวะที่มีอุณหภูมิ และความชื้นสูง ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีเยี่ยม ทึบแสง ป้องกันแสงผ่านเข้าไปภายในภาชนะบรรจุ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ ต้านทานการกัดกร่อนสูง ไม่เป็นพิษ ทนทานต่อไขมันหรือน้ำมัน เพิ่มความมันวาว สามารถเคลือบกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ ได้ พิมพ์ได้สีสวยงาม ดึงดูดผู้บริโภค ราคาถูก (มยุรี, 2541)

2) ฟิล์มพลาสติกลามิเนต หมายถึง แผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผ่านกระบวนการลามิเนต โดยการนำฟิล์มพลาสติกหลาย ๆ ชั้นมาเคลือบติดเข้าด้วยกันเป็นฟิล์มแผ่นเดียว หรือการเคลือบฟิล์มพลาสติกเข้ากับวัสดุอื่น ๆ เช่น กระดาษ หรือฟอยล์โลหะ โดยทำการยึดติดระหว่างชั้นฟิล์มด้วยการใช้ความร้อน หรือใช้กาว (adhesive) โดยฟิล์มลามิเนตจะมีจำนวนชั้นของฟิล์มมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับตามความต้องการของผู้ผลิต ส่วนใหญ่นิยมใช้ฟิล์ม low density polyethylene (LDPE) และฟิล์ม linear low density polyethylene (LLDPE) ในชั้นในสุด หรือ ชั้นที่สัมผัสกับอาหารโดยตรง โดยฟิล์ม polyethylene (PE) ให้สมบัติยืดหยุ่นได้ดี ทนความร้อนได้สามารถใช้กับกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อนได้ (heat sealing) และยังสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี และการกัดกร่อนจากกรดบางประเภทได้ (รู้จักกับฟิล์มลามิเนต, 2553)

3) ฟิล์มที่ผลิตจากเทคโนโลยี Co-extrusion คือ แผ่นฟิล์มพลาสติกที่ผ่านกระบวนการอัดรีด (extrusion) โดยเทคโนโลยีนี้สามารถอัดรีดพลาสติกชนิดเดียวกัน หรือหลายชนิดซ้อนทับกันหลาย ๆ ชั้น โดยในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ Co-extrusion มีการผลิตราวหนึ่งในสามของผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติกทั่วโลก (บรรเลง, 2549) และผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกรรมวิธี Co-extrusion มีหลายชนิด เช่น ท่อ สายไฟ ฟิล์ม เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ คือ ฟิล์มที่ใช้ห่อหุ้มอาหาร ซึ่งจะผลิต และเลือกใช้พลาสติกชนิดที่ต่างกัน ตามความต้องการของชนิดของอาหาร รวมไปถึงการใช้งานในการขนส่งสินค้า และการกระจายสินค้าออกสู่ลูกค้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ข้าว

ข้าวจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดียว วงศ์หญ้า (Family: Grammineae หรือ Poaceae) สกุลออริซา (Genus: Oryza) เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและอบอุ่น ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลกโดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชีย โดยข้าวที่นำมาปลูกเป็นอาหารนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ข้าวที่ปลูกในแถบเอเชียสายพันธุ์ Oryza sativa Linn. และข้าวที่ปลูกในแถบแอฟริกาสายพันธุ์ Oryza glaberrima Steud. มีจำนวนพันธุ์มากกว่า 120,000 พันธุ์ ที่แตกต่างกัน

2.2.1 ข้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทย

ข้าวเหนียวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* var. glutinosa เป็นข้าวที่มีลักษณะเด่นคือการติดกันเหมือนกาวของเมล็ดข้าวที่สุกแล้ว ปลูกมากทางภาคอีสานของประเทศไทยและ ประเทศลาวข้าวเหนียวเป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวางในประเทศ และเป็นอาหารหลักของประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ นอกจากการบริโภคโดยตรงแล้วยังมีการนำข้าวเหนียวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตสุราพื้นเมือง การผลิตแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร และขนมขบเคี้ยว โดยมีสายพันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ สายพันธุ์กข6 ซึ่งได้จากการชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมในพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยการนำเอาเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไปอาบรังสีแกมม่า โดยข้าวสายพันธุ์กข6 จะมีรูปร่างของเมล็ดข้าวจะมีรูปร่างเรียว ข้าวสุกนิ่งนุ่มหอม ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 5 สัปดาห์ ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 670 กิโลกรัมต่อไร่ ข้าวสุกนึ่งมีลักษณะนุ่ม และมีกลิ่นหอม (กรมการข้าว, 2554ก)

ข้าวหอมมะลิมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza sativa Linn. เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย เป็นข้าวที่มีความไวต่อช่วงแสงโดยออกดอกในวันที่กลางคืนยาวกว่ากลางวันเท่านั้นคือในช่วงฤดูหนาวทำให้สามารถปลูกได้เฉพาะนาปีเท่านั้น สำหรับชื่อเรียกว่าข้าวหอมมะลินั้น มีที่มาจากสีของข้าวที่ขาวเหมือนดอกมะลิแต่มีกลิ่นหอมเหมือนใบเตย ไม่ได้หมายความว่าข้าวนั้นหอมเหมือนมะลิ โดยมีลักษณะที่สำคัญ คือ เมื่อหุงหรือนึ่งสุกแล้วเมล็ดข้าวสุกจะอ่อนนิ่มมากกว่าข้าวเจ้าทั่วไปแต่ร่วนน้อยกว่า และมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่ได้จากการคัดเลือกพันธุ์จากข้าวพื้นเมือง และพันธุ์กข15 ได้จากการนำข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาอาบรังสีแกมม่า ให้มีผลผลิตใกล้เคียงกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 และมีอายุเก็บเกี่ยวที่สั้นลง (กรมการข้าว, 2554ก)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 กระบวนการแปรรูปข้าว

กระบวนการแปรรูปข้าวประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน คือ การทำความสะอาด การกะเทาะเปลือก การคัดขนาด และการโม่ (จิตธนา และคณะ, 2540)

2.2.2.1 การทำความสะอาดเพื่อแยกสิ่งเจือปนอื่นที่ไม่ใช่เมล็ดข้าวเปลือกออก โดยการใช้ตะแกรง และเครื่องเขย่าแยกส่วนที่หนัก เครื่องแยกติดแม่เหล็กเพื่อดูดเศษเหล็ก และตะปูรวมทั้งใช้เครื่องเป่าลมเพื่อแยกส่วนที่เบากว่าเมล็ดข้าว

2.2.2.2 การกะเทาะเปลือก เป็นการแยกเปลือกแข็งที่หุ้มเมล็ดอยู่ออกโดยการใช้เครื่องกะเทาะเปลือกซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้งที่ทำด้วยยาง 2 ลูกที่หมุนเข้าหากันด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน ทำให้เกิดแรงดึงแยกเปลือกออกจากเมล็ดข้าว ในการกะเทาะเปลือกข้าวจะได้ข้าวเต็มเมล็ดมากถ้าความชื้นของข้าวเปลือกเหมาะสม (ประมาณร้อยละ 14) โดยข้าวที่ได้เรียกว่าข้าวกล้อง

2.2.2.3 การคัดขนาดเมล็ด จะใช้ตะแกรงขนาดต่าง ๆ เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ดออกจากข้าวหัก และปลายข้าว

2.2.2.4 การโม่ หรือการบดข้าว มี 2 วิธีหลัก ๆ คือ การโม่เปียก และการโม่แห้ง โดยการโม่เปียก จะเริ่มจากนำข้าวมาแช่น้ำจนนิ่ม แล้วโม่กับน้ำด้วยเครื่องโม่ละเอียดได้เป็นน้ำแป้ง จากนั้นนำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำออกจากแป้ง นำก้อนแป้งมาทำแห้งแล้วบดอีกครั้งจนละเอียดร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดสม่ำเสมอ ส่วนการโม่แห้ง ทำได้โดยนำข้าวไปบดด้วยเครื่องโม่ จากนั้นนำแป้งที่ได้ไปร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดสม่ำเสมอ

2.2.3 การจำแนกขนาดของเมล็ดข้าว

ในการพิจารณาเมล็ดข้าว จะวัดความยาวของเมล็ดข้าวและคิดเป็น 10 ส่วน ในส่วนขนาดของเมล็ดข้าว เนื่องจากการในกระบวนสีข้าว อาจจะทำให้เมล็ดข้าวหักออกบางส่วน จึงมีการแบ่งขนาดเมล็ดข้าวเป็น 5 ขนาด (วรวิทย์, 2539) ได้แก่

2.2.3.1 ข้าวเต็มเมล็ด (whole grain) คือ ข้าวที่ผ่านการสีแล้ว มีรูปร่างเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใดหักเลย

2.2.3.2 ต้นข้าว (head rice) หมายถึง ข้าวที่ผ่านการสีแล้วเมล็ดข้าวหักออกบางส่วน อาจจะเป็นส่วนหัวหรือส่วนท้ายของเมล็ด หรือหักทั้งหัวและท้าย จนเมล็ดข้าวมีรูปลักษณ์เหลืออยู่ 8 ส่วนของเมล็ดเต็ม

2.2.3.3 ข้าวหักใหญ่ (big broken) หมายถึง เมล็ดข้าวที่บางส่วนหักออกไปเพราะการสีข้าว และคงเหลือเมล็ดยาว 5 ส่วนขึ้นไปของเมล็ดเต็ม แต่ไม่ถึง 8 ส่วน ตามขนาดของเมล็ดข้าวที่เรียกว่า ต้นข้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3.4 ข้าวหัก (broken) เมล็ดข้าวที่หักมาก เหลือเมล็ดขนาดความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วน แต่ไม่ถึง 5 ส่วน ของเมล็ดเต็ม

2.2.3.5 ปลายข้าว (small broken) หมายถึง เมล็ดข้าวที่ได้หลังการสี เมล็ดข้าวหักมากกว่าชนิดที่ 4 ข้าวหัก โดยมีขนาดความยาวต่ำกว่า 2.5 ส่วนของเมล็ด

2.3 ข้าวกล้อง

2.3.1 ความสำคัญ และประโยชน์ของข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง หรือบางทีเรียกว่าข้าวแดง ข้าวซ้อมมือ หรือข้าวอนามัย ในปัจจุบันได้รับความสนใจค่อนข้างมาก เนื่องจากให้คุณค่าทางอาหารมากกว่า ข้าวขาว ข้าวกล้องมีสีเหลือง-น้ำตาล สีคล้ำกว่าข้าวขาวโดยทั่วไป เป็นข้าวที่กะเทาะเอาส่วนเปลือกซึ่งเรียกว่าแกลบออกไปเท่านั้น ส่วนจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) ยังคงอยู่ ซึ่งส่วนนี้เองที่ทำให้ข้าวกล้องมีประโยชน์มากกว่าข้าวขาวมาก ในข้าวกล้องมีไวตามินบีหนึ่งในปริมาณสูง มีไวตามินบีรวม ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก โปรตีนและกากใยสูงกว่าข้าวขาว และยังมีไวตามินบีสอง ธาตุทองแดง และสารไนอะซีนอีกด้วย การรับประทานข้าวกล้องเป็นประจำ จะทำให้ร่างกายได้รับสารที่เป็นประโยชน์มาก ช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น และช่วยป้องกันโรคท้องผูกได้อีกด้วย

2.3.2 กรรมวิธีการผลิตข้าวกล้อง

นำข้าวไปผ่านกรรมวิธีการสีเพียงครั้งเดียว เพื่อให้เปลือก (แกลบ) หลุดออกไป ร่อนแยกสิ่งสกปรก ดังนั้นจึงยังมีจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวที่เป็นสีน้ำตาลและสีแดง (รำ) เหลืออยู่ ข้าวกล้องจะมีสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวนี้มีคุณค่าอาหารที่มีประโยชน์มาก (กรมการข้าว, 2554ก)

2.3.3 ประโยชน์ของข้าวกล้องที่มีต่อร่างกาย

ข้าวกล้องมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญหลายอย่าง ในข้าวกล้องมีคาร์โบไฮเดรท ให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีนช่วยซ่อมแซม ส่วนที่สึกหรอ ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัว ให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย เส้นใย ช่วยเพิ่มกากอาหารทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการ ท้องผูก และ การเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ วิตามิน บี 1 ช่วยป้องกัน โรคเหน็บชา ช่วยการทำงานของระบบประสาทเป็นไปอย่างมี ประสิทธิภาพ วิตามิน บี 2 ป้องกันปากนกกระจอก ช่วยเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน ไนอาซิน ช่วยในการ ทำงานของระบบผิวหนัง และระบบประสาท แคลเซียม ฟอสฟอรัส บำรุงกระดูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และฟันให้แข็งแรง เหล็กช่วย สร้างเม็ด เลือดแดง ในจมูกข้าวมีวิตามินอี ซิลิเนียม และแมกนีเซียม ช่วยเสริมสร้างการทำงานระบบต่าง ๆ ของร่างกายให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้ วิตามินอี ยังมีส่วนช่วยชลอความแก่ และซิลิเนี่ยมช่วยป้องกันโรคมะเร็งอีกด้วย (ศิริบุญ, 2553)

2.3.4 ข้อด้อยของข้าวกล้อง

เนื่องจากข้าวกล้องเป็นข้าวที่ยังมีเยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ และในเยื่อหุ้มเมล็ดมีไขมันเป็นปริมาณมากถึงร้อยละ 15.0-19.7 (Juliano, 1971) ทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย จึงทำให้ข้าวกล้องมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าข้าวขาว และในข้าวกล้องอาจมีสารก่อมะเร็ง โดยสารก่อมะเร็งในข้าวกล้องนั้นเกิดขึ้นจากส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดของข้าวกล้อง ซึ่งเยื่อหุ้มเมล็ดนั้นเป็นแหล่งอาหารของ เชื้อราแอสเปอร์จิรัส ซึ่งเป็นเชื้อราที่สร้าง สารอะฟลาท็อกซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งตับ (กนกวรรณ, 2554)

2.3.5 ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องจากข้าวกล้อง

2.3.5.1 ข้าวกล้องงอก คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำข้าวกล้องซึ่งเป็นข้าวที่ผ่านการสีเพียงครั้งเดียว เพื่อเอาเปลือกออกแล้วยังมีจมูกข้าวกับเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวอยู่มาผ่านกระบวนการงอกโดยการแช่น้ำ เมื่อน้ำแทรกเข้าไปในเมล็ดข้าวจะไปกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าว เกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก สารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี จนเกิดเป็นสารคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็กลง (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ ส่วนโปรตีนภายในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยให้เกิดเป็นกรดอะมิโน และเปปไทด์ นอกจากนั้นยังทำให้สารอาหารในข้าวกล้อง เช่น อิโนซิทอล กรดเฟอริวลิก โทโคไตรอีนอล แกมมาออริซานอล วิตามินบี 1 และ gamma-aminobutyric acid (GABA) เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Ito and Ishikawa, 2004 และ จารุรัตน์, 2550) ดังนั้นข้าวกล้องงอกจึงเหมาะสมที่จะนำมาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพที่อุดมด้วยสารที่มีคุณค่าดังกล่าว แต่กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากข้าวกล้องงอกที่ได้มีกลิ่นที่ไม่ดี ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึมในระหว่างการงอก และเกิดจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวเมล็ดข้าวกล้อง (วัฒนา และคณะ, 2550)

2.3.5.2 แป้งข้าวกล้อง ประกอบด้วยแป้ง ประมาณร้อยละ 80-90 ส่วนที่เป็นโปรตีน มีอยู่น้อยร้อยละ 5-10 ส่วนของแป้ง ที่เป็น คาร์โบไฮเดรท ในเมล็ดข้าวกล้อง เป็นแป้งที่อยู่ในรูปคาร์โบไฮเดรทเชิงซ้อนแบบสมบูรณ์ (complete complex carbohydrates) ซึ่งมีส่วนของไฟเบอร์อยู่ครบถ้วน เพราะไม่ได้ผ่านขั้นตอนการขัดสี การบริโภคข้าวกล้อง แป้งข้าวกล้องที่เข้าไปในร่างกาย ไฟเบอร์ที่มีอยู่จะทำหน้าที่ขวางกั้นเอนไซม์ที่เข้ามาดูดเอากลูโคสในขบวนการย่อย ทำให้มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กลูโคสเข้าไปในกระแสเลือดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อกลไกสร้างพลังงานในร่างกาย การบริโภคข้าวขาว ที่ถูดขัดสีไปแล้ว แป้งข้าวจะเหลือรูปแบบคาร์โบไฮเดรทเชิงซ้อนแบบไม่สมบูรณ์ (incomplete complex carbohydrates) จะสูญเสียไฟเบอร์ไปเป็นจำนวนมาก เมื่อกินเข้าไปในร่างกายจะถูกดึงเอากลูโคสเข้าไปในกระแสเลือดได้อย่างรวดเร็วเพราะไม่มีไฟเบอร์เหลือคอยขวางกั้นไว้ จะส่งผลให้กลูโคสสะสมอยู่ในกระแสเลือดจนสูงกว่าระดับปกติ (ข้าวไทย เกร็ดความรู้เกี่ยวกับ "ข้าว", 2554)

2.3.5.3 แป้งข้าวกล้องงอก คือ แป้งที่ผลิตจากการนำเอาข้าวกล้องงอกที่มีความชื้นร้อยละ 13-15 ไปผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แบบเกลียวคู่ได้แป้งข้าวกล้องงอกที่มีกรดอะมิโนอิสระ เช่น GABA ไกลซีน อะลานีน กรดแอสพาติก และกรดกลูตามิก มากกว่าข้าวขาว และข้าวกล้อง นอกจากนั้นยัง พบว่า การใช้แป้งข้าวกล้องงอกที่ได้จากการนำข้าวกล้องงอกไปผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ไปผสมกับแป้งสาลีร้อยละ 30 ในการเตรียมโดขนมปัง ได้เป็นขนมปังแป้งข้าวกล้องงอกผสมแป้งสาลีที่มี GABA และน้ำตาลอิสระ เช่น มอลโทสมากกว่าขนมปังแป้งสาลีธรรมดา (Ohtsubo *et al.,* 2005) ซึ่งธัญญาหารรูปแบบใหม่จากข้าวกล้องงอกพองและแป้งข้าวกล้องงอกนี้ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค หรืออุตสาหกรรมอาหารว่าประกอบด้วยคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวธรรมดา

2.4 เตาอบไมโครเวฟ

2.4.1 ความสำคัญของเตาอบไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเป็นพลังงานรูปแบบใหม่ที่มนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์เมื่อปี พ.ศ. 2584 เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายจนกลายเป็นของใช้ภายในครัวเรือนในรูปของเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในการหุงต้มอาหารได้โดยเน้นประโยชน์ของพลังงานนี้ในรูปของการประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งหลายที่ดำรงชีวิตอยู่ในสังคมปัจจุบัน และยังนำพลังงานไมโครเวฟมาปรับใช้ในกระบวนการการแปรรูปอาหารอีกหลายรูปแบบได้อย่างเหมาะสม คลื่นไมโครเวฟคือ พลังงานที่เกิดจากการแผ่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 75 เซนติเมตรถึง 3 มิลลิเมตร มีความถี่ของช่วงคลื่นอยู่ระหว่าง 300 เมกะเฮิรต์ถึง 300 กิกะเฮิรต์ ความถี่ในช่วงนี้ใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุ และบางส่วนเข้าไปคาบเกี่ยวกับคลื่นความถี่ของเรดาร์หรือใช้ควบคุมการเดินเรือ และการบินจึงมีการจัดตั้งสถาบันระหว่างชาติ (International Telecommunication Union; ITU) เป็นผู้ดูแลการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ให้เป็นไปอย่างมีระเบียบไม่รบกวนกัน ITU ได้กำหนดระดับของความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์ด้านงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ และการแพทย์เรียกว่า ISM

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

frequencies กำหนดระดับความถี่ไว้ที่ 915±25 เมกะเฮิรต์ 2,450±50 เมกะเฮิรต์ 5,000±75 เมกะเฮิรต์ 22,125±125 เมกะเฮิรต์ และกำหนดให้ใช้ความถี่ของไมโครเวฟ สำหรับงานให้พลังงานความร้อนในระบบอุตสาหกรรม และการใช้ในบ้านเรือนไว้ที่ระดับ 915 และ 2,450 เมกะเฮิรต์ (สายสนม, 2540)

2.4.2 สมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟจะมีลักษณะเหมือนลำแสงเดินทางเป็นเส้นตรง เมื่อกระทบโลหะจะสะท้อนกลับแต่สามารถผ่านทะลุอากาศ แก้ว กระดาษ และพลาสติกได้ ถูกดูดซับไว้ได้ดีในสารประกอบที่มีสมบัติเป็นไดอิเล็กทริก (dielectric) เมื่อคลื่นไมโครเวฟสะท้อนกลับจะไม่ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นกับวัสดุนั้น แต่ถ้าสารใดสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟไว้ได้จะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นภายใน

สารนั้นโดยเปลี่ยนรูปจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สารใดที่ดูดซับพลังงานไมโครเวฟไว้ได้สูงจะเรียกสารนั้นว่ามี lossy หรือ lossiness สูงซึ่งสารประเภทนี้จะทำให้ร้อนได้รวดเร็วเมื่อกระทบคลื่นไมโครเวฟ (สายสนม, 2540)

2.4.2.1 สมบัติไดอิเล็กทริกของอาหาร

สมบัติไดอิเล็กทริกของอาหารต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับความถี่ อุณหภูมิ และองค์ประกอบของอาหาร (Copson, 1975) สามารถแสดงค่าเป็นตัวเลขที่มีความเกี่ยวข้องที่สามารถใช้อธิบายสมบัติไดอิเล็กทริกของอาหารอยู่ 3 ค่าดังนี้

1) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant, ε') คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารประกอบที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้ เมื่อนำสารประกอบนั้นไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ สารใดที่มีค่านี้สูงจะสามารถกักเก็บพลังงานได้สูง ค่านี้จะเปลี่ยนไปได้ตามอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นของอาหารนั้น ๆ จำนวนขั้ว และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยสนามไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดค่า ε' ของอาหารซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุไฟฟ้าของอาหารต่อความจุไฟฟ้าของอากาศ ซึ่งบางครั้งอาจเป็นสุญญากาศ นอกจากนี้ค่าความหนืดของอาหาร และอุณหภูมิมีผลต่อค่านี้เช่นกัน เช่น เมื่อน้ำเปลี่ยนเป็นน้ำแข็ง ค่า ε' จะลดลง และลดลงอีกเมื่อน้ำแข็งถูกทำให้เย็นลงอีก คลื่นไมโครเวฟจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านน้ำแข็งได้ดีกว่าน้ำ อาหารแช่เยือกแข็งที่มีความชื้นสูงจึงดูดซับพลังงานได้มากกว่าตอนที่ละลายแล้ว ความถี่ของคลื่นที่ 915 และ 2,450 เมกะเฮิรต์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่าง ๆ ของโครงสร้างโมเลกุลที่เกิดจากการเรียงตัวใหม่ของขั้วไฟฟ้า จะให้พลังงานในรูปของความร้อน และมีผลต่อค่า ε' และค่า ε'' (วิไล, 2545) สมบัติด้านไดอิเล็กทริกของอาหารบางชนิดแสดงดังตาราง 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 สมบัติด้านไดอิเล็กทริกของอาหาร

อาหาร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถี่ (เมกะเฮิรต์)	ค่า ε'	ค่า ε"
เนื้อหมู	25	915	59	26
		2,450	58	16
มันฝรั่ง	25	915	65	19
		2,450	64	14
แครอท	25	915	73	20
		2,450	72	15

ที่มา : วิไล (2545)

2) แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric Loss factor, ε") คือ ค่าของพลังงานที่สูญเสียไป หรือ ที่แพร่กระจายไปในสารไดอิเล็กทริกเมื่อนำไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ พลังไฟฟ้าจะสูญเสียไปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในอาหารนั้น ๆ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนชื้นสูงขึ้น แต่พลังงานจะถูกดูดซับไปอย่างรวดเร็วเมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารนั้นเพียงระยะสั้น ๆ แล้วความร้อนนั้นจะลดลงโดยกระบวนการนำ และการพาความร้อนเข้าสู่ภายในชิ้นอาหาร ดังนั้นถ้าอาหารที่มีความหนา และขนาดใหญ่มาก ๆ การดูดซับไมโครเวฟจะเกิดได้เฉพาะผิวหน้า และความร้อนจะเข้าสู่ชิ้นอาหารได้ทั่วถึงจะเป็นไปด้วยการนำและการพาซึ่งต้องใช้เวลานานกว่าอาหารที่มีขนาดเล็ก และบาง (สายสนม, 2540) ไมโครเวฟเดินทางเป็นเส้นตรงเหมือนแสง ถูกสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับโลหะ เคลื่อนที่ผ่านอากาศ สามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว พลาสติก กระดาษ หรือไม้ได้หรือถูกดูดซับในส่วนประกอบของอาหารที่มีน้ำเป็นส่วนใหญ่ ถ้าคลื่นไมโครเวฟถูกสะท้อนกลับหมดหรือทะลุผ่านวัตถุได้โดยไม่มีการดูดซับ วัตถุหรืออาหารนั้นจะไม่ร้อน อาหารจะร้อนเมื่อมีการดูดซับพลังงานไว้ ในการให้ความร้อนแก่อาหารจะทำให้คลื่นสูญเสียพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าไป เรียกว่า loss factor เป็นตัวชี้บอกการสูญเสียพลังงานไมโครเวฟในการเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในอากาศ หรือ บอกว่าคลื่นถูกดูดซับไว้ทั้งหมด ค่า ε" ของอาหาร ความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่นไมโครเวฟเป็นตัวกำหนดความลึกของการแทรกผ่านโดยคลื่นไมโครเวฟ ทั้งนี้เนื่องจากไมโครเวฟสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนขณะที่แทรกเข้าไปในอาหาร ยิ่งค่า ε" ของอาหารสูง จะเกิดความร้อนมากขึ้นด้วย หมายความว่าคลื่นจะแทรกเข้าไปในอาหารได้ในระยะทางที่สั้นลงก่อนที่พลังงานทั้งหมดจะถูกใช้ไป ถ้าต้องการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้คลื่นแทรกเข้าไปในอาหารได้ลึก ๆ ก็ควรเลือกคลื่นความถี่ที่มีค่า ε" ของอาหารต่ำ และพบว่าไมโครเวฟที่ความถี่ 900 เมกะเฮิรต์ จะเกิดการสูญเสียพลังงานมากกว่าที่คลื่นความถี่ 2,450 เมกะเฮิรต์ (วิไล, 2545)

3) ค่าลอสแทนเจน (Loss tangent (tan δ) หรือ Dissipation factor) หมายถึงลักษณะของการสูญเสียพลังงานของสารนั้น ซึ่งคิดออกมาในรูปของมุมที่ต่างไป 90 องศา ในสภาพปกติทั่วไปของกระแสไฟฟ้า (สายสนม, 2540) ค่านี้จะสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก และแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก

2.4.2.2 การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟ

การประกอบอาหาร หรือการแปรรูปอาหารโดยเตาอบไมโครเวฟแตกต่างจากการแปรรูปอาหารด้วยเตาอบธรรมดา เครื่องเตาอบธรรมดาให้พลังงานความร้อนจากด้านนอกเข้าไปสู่ด้านในของอาหารโดยเปลวไฟแบบเตาแก๊สหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ซึ่งทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อน 3 วิธี คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี แต่เตาอบไมโครเวฟทำให้อาหารสุกโดยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงถึง 915 หรือ 2,450 เมกะเฮิรต์ ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารสั่นสะเทือน และชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไป จนเกิดเป็นพลังงานจลน์ และพลังงานจลน์นี้เองกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วกว่าการประกอบอาหารด้วยระบบอื่นโดยไม่สูญเสียพลังงานความร้อนไป โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยระบบอื่นโดยไม่สูญเสียพลังงานความร้อนไป โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจนซึ่งมีประจุลบ และอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งมีประจุบวก เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงถึง 915 หรือ 2,450 เมกะเฮิรต์ พุ่งเข้าหาอาหารจากทุกทิศทางโดยรอบของผนังเตาด้านในแล้วแผ่กระจายไปยังอาหาร จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของขั้วไฟฟ้าอย่างรวดเร็วในอาหาร ขั้วของน้ำจะเปลี่ยนทิศทางตามการเปลี่ยนแปลงทิศทางในสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดการเสียดสีกันในโมเลกุลภายในอาหารก่อให้เกิดความร้อนขึ้น และทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว (วิไล, 2545)

เมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับเข้าสู่ชิ้นอาหารจะเกิดความร้อนได้ 2 แบบร่วมกันได้แก่ แบบที่หนึ่งแบบ ionic polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า แต่ละไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่จึงทำให้เกิดการเสียดสีกันขึ้นกับไอออนอื่น ๆ และมีการเปลี่ยนพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่น ๆ ต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้ เกิดได้ในของเหลว ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย และแบบที่สองแบบ dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบมีขั้วได้แก่ น้ำ ในสภาพปกติสารประกอบนั้นจะจัดเรียงตัวประจุบวก และลบอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวก และประจุลบของสารนั้นจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบ (สายสนม, 2540)

2.4.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอาหารโดยคลื่นไมโครเวฟ

ปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอาหารโดยคลื่นไมโครเวฟ มีด้วยกันอยู่หลายปัจจัย ซึ่งวัชรินทร์ (2531) ได้อธิบายไว้ดังนี้

1) ค่าความถี่ โดยความถี่ที่ใช้ในระบบไมโครเวฟมีอยู่ 2 ความถี่ ได้แก่ 915 หรือ 2,450 เมกะเฮิรต์ ความถี่ที่ใช้จะมีผลต่อระดับความลึกในการเจาะเข้าไปในเนื้ออาหารของระบบไมโครเวฟ เพื่อให้เกิดความร้อนอย่างทั่วถึง โดยปกติค่าความถี่ต่ำ (915 เมกะเฮิรต์) จะสามารถให้ความร้อนได้ลึกกว่า

2) ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (กำลังไฟฟ้าของระบบไมโครเวฟ) ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งการให้ความร้อนกับอาหาร ดังนั้นจึงนิยมปรับกำลังไฟฟ้าของระบบเพื่อควบคุมความเร็วในการทำให้อาหารร้อน

3) ค่าความชื้นในอาหาร ซึ่งน้ำเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการดูดซึมพลังงานทำให้สามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ อาหารที่มีปริมาณความชื้นสูง จะร้อนได้เร็วกว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ

4) ความหนาแน่นของอาหาร โดยปกติอากาศเป็นฉนวนความร้อนที่ดี แต่สำหรับระบบไมโครเวฟอากาศไม่มีผลกระทบต่อการทำให้เนื้ออาหารร้อน

5) รูปทรงของอาหาร ลักษณะรูปทรงของอาหารที่นำมาผ่านระบบไมโครเวฟมีความสำคัญคือ ถ้าเป็นอาหารที่มีลักษณะชิ้นหนาควรใช้ความถี่ 915 เมกะเฮิรต์ กำลังไฟฟ้าของระบบก็มีผลด้วย จึงควรเลือกขนาดของอาหารที่เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้ อาหารที่มีรูปร่างขนาดกว้างยาวเท่ากันทั้งชิ้น จะถูกทำให้ร้อนได้สม่ำเสมอกว่า

6) ค่าการนำไฟฟ้า ในการเกิดความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ เชื่อว่าเกิดจาก dipolar rotation ของโมเลกุลในอาหาร ซึ่งสัมพันธ์กันกับค่าการนำไฟฟ้าของอาหารนั้น ๆ ดังนั้นถ้าเราเพิ่มการนำไฟฟ้า เช่น เติมเกลือให้กับอาหาร อาจช่วยเร่งการให้ความร้อนแก่อาหารนั้นได้ แต่ก็อาจมีผลต่อความสามารถในการเจาะลึกเข้าไปในเนื้ออาหารของคลื่นไมโครเวฟ และทำให้การให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

7) ค่าการนำความร้อน โดยค่าการนำความร้อนจะมีผลกับอาหารชิ้นใหญ่ โดยที่คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถเจาะลึกพอที่จะทำให้จุดกึ่งกลางของอาหารร้อนสม่ำเสมอได้ หรือ เมื่อต้องการใช้ระยะเวลาในการทำให้อาหารร้อนนาน ในกรณีที่ใช้เวลาน้อย ค่าการนำความร้อนจะไม่ค่อยมีผลนัก

8) ค่าความร้อนจำเพาะ ในกรณีที่อาหารนั้น ๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงานต่ำ ค่าความร้อนจำเพาะจะมีส่วนช่วยให้การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟดีไปด้วย

นอกจากปัจจัยที่วัชรินทร์ (2531) ได้อธิบายไว้ ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการแปรรูปอาหารโดยคลื่นไมโครเวฟอีก ดังนี้

1) อุณหภูมิของอาหาร อุณหภูมิมีผลต่อระบบไมโครเวฟ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงานอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่ชนิดของอาหาร เนื่องจากอุณหภูมิ และความชื้นเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในระหว่างการทำให้อาหารร้อน พบว่าถ้าอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารสูงอาหารจะสุกได้เร็วกว่าปกติ หรือ เร็วกว่าอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (Brown, 1994)

2) ปริมาณของอาหาร ซึ่งปริมาณของอาหารมีผลต่อเวลาในการแปรรูปอาหารโดยไมโครเวฟ ถ้าอาหารมีปริมาณมาก จะต้องใช้เวลาในการแปรรูปมาก เพราะอาหารจะร้อนช้ากว่าปริมาณอาหารน้อย ซึ่งต่างจากวิธีดั้งเดิมคือ การใช้เตาอบแบบลมร้อนในการแปรรูปอาหารจะไม่ขึ้นกับปริมาณของอาหาร (Brown, 1994)

3) องค์ประกอบของอาหาร ในอาหารต่าง ๆ จะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันมาก รวมทั้งส่วนประกอบที่จำเป็นต้องใช้ในการปรุงแต่งรสอาหาร เช่น เกลือ น้ำตาล หรือแป้ง เป็นต้น ล้วนแต่มีผลที่แตกต่างกันออกไปเมื่อนำมาแปรรูปด้วยไมโครเวฟ ในกรณีอาหารที่มีน้ำตาลในการปรุงแต่งรสอาหาร การเคี่ยวน้ำเชื่อม หรือการทำลูกกวาดลูกอมจะไม่มีปัญหาเกิดความร้อนได้รวดเร็วด้วยไมโครเวฟแต่สำหรับเกลือแกง และเกลือรูปแบบอื่น ๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในน้ำ และในอาหารจะทำให้การดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ต่ำมีผลทำให้เกิดความร้อนได้ช้าลง (สายสนม, 2540)

เนื่องจากตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนสำหรับอาหารต่างชนิด และบางตัวแปรมีรูปแบบความสัมพันธ์ต่อกันที่ไม่แน่นอน ดังนั้นการพัฒนาระบบไมโครเวฟในการแปรรูปอาหารชนิดต่าง ๆ จึงต้องมีการค้นคว้า และวิจัย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดี (วัชรินทร์, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเตาอบไมโครเวฟ

โครงสร้างภายในเตาอบไมโครเวฟประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ แมกนิตรอน (magnetron) สายอากาศ (antenna) ท่อนำคลื่น (wave guide) และตัวกระจายคลื่น (stirrer) (สันติ, 2534) โดยที่แมกนิตรอน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากของเตาอบไมโครเวฟเพราะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งไปกระตุ้นให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น แมกนิตรอนมีโครงสร้างที่ทำด้วยแม่เหล็กหุ้มห่อขั้วไฟฟ้าไว้ 2 อัน ประกอบด้วยแท่งแอโนดรูปทรงกระบอกทำด้วยทองแดงที่มีความสามารถเป็นตัวนำที่ดี ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดวงจรของไมโครเวฟ และแคโทดหรือ filament ซึ่งจะทำหน้าที่ปลดปล่อยอิเล็กตรอน (thermionic electron) โดยวางอยู่ตรงกลางล้อมด้วยแท่งแอโนด (สายสนม, 2540) ระหว่างแท่งแอโนด และแคโทดจะมีช่องว่างอยู่เรียกว่า resonant cavity ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการประสานสัมพันธ์กันเกิดเป็นกลุ่มก้อนของอิเล็กตรอนที่หมุนตัวได้ โดยเกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังแท่งแคโทดทำให้แคโทดร้อนขึ้น และปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่มีประจุลบออกมาวนเวียนอยู่รอบ ๆ แท่งแอโนดในสภาวะที่ยังไม่มีสนามแม่เหล็ก แต่ในสภาวะที่มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นในแนวขนานกับแกนของท่ออิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นวงมากกว่าจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และจะหมุนตัวกระโดดจากแคโทดไปยังแอโนดภายใต้ความดันไฟฟ้า 4,000-6,000 โวลต์ เป็นผลให้เกิดคลื่นไมโครเวฟขึ้น (สายสนม, 2540) คลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นนี้จะถูกส่งออกจากสายอากาศไปยังท่อนำคลื่น และท่อนำคลื่นจะเป็นตัวพาคลื่นไมโครเวฟไปยังตัวกระจายคลื่นที่มีหน้าที่ส่งกระจายคลื่นไมโครเวฟไปทั่วห้องอบของเตาอบไมโครเวฟ และเนื่องจากผนังเตาของเตาไมโครเวฟ และเนื่องจากผนังเตาของเตาอบไมโครเวฟทำจากโลหะจึงเกิดการสะท้อนกลับไปมาในทิศทางต่าง ๆ กันตามที่ได้ออกแบบไว้เพื่อให้การกระจายของคลื่นไมโครเวฟเป็นไปอย่างทั่วถึงทุกพื้นที่ในห้องอบของเตาอบไมโครเวฟ และในที่สุดคลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำในอาหาร และเกิดการเสียดสีกันของโมเลกุลของน้ำในอาหารทำให้อาหารร้อนขึ้น (สันติ, 2534)

ปัจจัยสำคัญของไมโครเวฟ คือ กำลังงานที่ออกจากแมกนิตรอนจะต้องสอดคล้องกับขนาดของห้องอบของเตาไมโครเวฟ เครื่องที่ทำงานอย่างต่อเนื่องในระบบอุตสาหกรรมมีกำลังงานอยู่ในช่องตั้งแต่ 30 ถึง 120 กิโลวัตต์ ขนาดของแมกนิตรอนที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟในครัวเรือนจะมีขนาดประมาณ 4,000 โวลต์ ส่วนเครื่องที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต้องมีขนาดถึง 7,000 โวลต์ (วิไล , 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.4 การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหารในระดับอุตสาหกรรมได้มีการคิดค้นวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องแสดงดังตาราง 2.2 เนื่องจากไมโครเวฟมีจุดเด่น คือ มีอัตราการให้ความร้อนกับอาหารสูงในเวลาอันรวดเร็วกว่าการแปรรูปด้วยวิธีอื่น ทำให้สามารถรักษาคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา การยอมรับของผู้ทดสอบชิมต่อผลิตภัณฑ์ และคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ รวมทั้งทำให้ลักษณะผิวหน้าของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง แต่ในปัจจุบันกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหารโดยไมโครเวฟยังไม่เป็นที่นิยมในระดับอุตสาหกรรมอาหารมากนัก การนำคลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่สำคัญคือ การละลายน้ำแข็ง การทำแห้ง การทำให้ผลิตภัณฑ์พองกรอบ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และลดปริมาณความชื้นผลิตภัณฑ์ (Humberto *et al.*, 2001) ส่วนการนำไมโครเวฟมาใช้กับการลวก และการพาสเจอร์ไรซ์ยังไม่ประสบความสำเร็จมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการแทรกผ่านความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ ยังไม่สูงพอในอาหารชิ้นใหญ่ และมีการระเหยของน้ำบนผิวอาหารทำให้อุณหภูมิผิวอาหารต่ำลง จึงทำให้มีเชื้อจุลินทรีย์เหลือรอดได้ (วิไล, 2545)

2.4.5 ข้อดีของการใช้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของระบบไมโครเวฟที่เหนือกว่าการให้ความร้อนในการแปรรูปอาหารแบบอื่น ๆ คือ ใช้เวลาน้อย ประหยัดเนื้อที่ ใช้แรงงานน้อย (วัชรินทร์, 2531) มีประสิทธิภาพสูง ทำให้ประหยัดพลังงานได้มาก (วิไล, 2545) เป็นเทคโนโลยีสะอาด ไม่สร้างมลภาวะ ซึ่งต่างจากกระบวนการให้ความร้อนแบบอื่นที่ใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ทำให้มีแก๊สไอเสียออกมาด้วย การควบคุมระบบสามารถกระทำได้ดีและรวดเร็วกว่า ไม่จำเป็นต้องอุ่นเตาให้ร้อนล่วงหน้า ผลิตภัณฑ์ร้อนเร็ว และทั่วถึง สามารถให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อได้โดยไม่ทำลายหีบห่อนั้น คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการทำความร้อนแบบดั้งเดิม ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้ออาหารหลังบรรจุ สามารถใช้ไมโครเวฟในการฆ่าเชื้ออาหารที่บรรจุในภาชนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตัวอย่างเช่น ที่ประเทศเนเธอแลนด์ ใช้ไมโครเวฟในการฆ่าเชื้ออาหารที่บรรจุอยู่ในถาด polyethylene terephthalate (PET) ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที (ปุ่นและสมพร, 2541) ไมโครเวฟสามารถนำมาพาสเจอร์ไรส์อาหารหลังบรรจุและปิดผนึกในภาชนะได้ ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนานขึ้นโดยไม่ต้องใช้สารเคมี (Decareau, 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.2 การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในระดับอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร

การประยุกต์ใช้	รายละเอียด
1. อบขนมปัง	มีการใช้น้อย ประหยัดพื้นที่เมื่อใช้กับขนมปังที่ผู้บริโภคจะต้องไปให้ความร้อนและทำให้เกิดผิวสีน้ำตาลเอง อาจใช้ได้ผลขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด
2. ทำให้เนื้อไก่สุก	ประสบความสำเร็จในระยะต้นสามารถใช้ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้
3. อบแห้งพาสต้า	ประสบความสำเร็จ เริ่มมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมโดยบริษัท Microdry จำกัด ใช้มากที่สุดที่บริษัท Golden Grain จำกัด การใช้ไมโครเวฟทำให้ประหยัดเวลาอบลง
4. โดนัท	ประสบความสำเร็จในการทอดด้วยไมโครเวฟ แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้
5. อบแห้งมันฝรั่งทอดกรอบ	เป็นการใช้ไมโครเวฟในระดับอุตสาหกรรมเป็นครั้งแรกสำหรับการแปรรูป ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของมันฝรั่งที่ระดับปริมาณน้ำตาลต่าง ๆ เลิกใช้ไปเมื่อมีการกำหนดคุณลักษณะของวัตถุดิบอย่างเคร่งครัดกับเวลาในการขนส่งมันฝรั่งไปยังโรงงานลดลง
6. ลวก	มีการปรับปรุงคุณภาพ แต่ยังไม่คุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับวัตถุดิบแต่จะได้ผลดีสำหรับอาหารที่มีราคาแพง และไวต่อความร้อน
7. อบแห้งแบบระเหิด	มีการใช้ในระดับทดลองเท่านั้น ยังไม่พบการใช้ในระดับอุตสาหกรรม
8. ละลายน้ำแข็งบางส่วน	ประสบความสำเร็จในการใช้ไมโครเวฟสำหรับการละลายน้ำแข็งในอาหารแช่เยือกแข็งชิ้นใหญ่ ๆ จะใช้ให้ความร้อนแก่อาหารจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อย เพื่อช่วยให้ตัดหรือสับหรือแปรรูปอาหารได้ง่ายขึ้น
9. อบแห้งภาพใต้ระบบสุญญากาศ	เคยมีการใช้สำหรับการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้น คงรักษากลิ่นไว้ได้ดีกว่ากระบวนการอบแห้งแบบดั้งเดิม แต่ต้นทุนสูง ยังไม่มีการใช้ในอุตสาหกรรม
10. การละลายน้ำแข็ง	เป็นอนาคตสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะทำให้สามารถแก้ปัญหาการได้รับความร้อนมากเกินไปบริเวณขอบหรือมุมอาหาร ปัจจุบันมีการใช้ละลายน้ำแข็งบางส่วน และละลายน้ำแข็งทั้งหมดที่อุณหภูมิห้อง

ที่มา : Decareau (1985); Ohisson (1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.6 ข้อด้อยของการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ

ถึงแม้ว่าระบบไมโครเวฟจะมีข้อได้เปรียบมากกว่าการแปรรูปอาหารแบบอื่น แต่ไมโครเวฟก็ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากเหตุผลบางประการดังนี้

1) ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ระบบไมโครเวฟจะต้องใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงมาก (วิไล, 2545) เพราะจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนเพื่อออกแบบและปรับแมกนิตรอนให้เหมาะสมกับอาหารแต่ละชนิดหรืออาหรชนิดเดียวกันแต่คนละรูปแบบ (Anon, 1987)

2) ความปลอดภัย การไม่ยอมรับของคนงานในโรงงานเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากไม่มีความมั่นใจในเรื่องความปลอดภัยของไมโครเวฟ (วัชรินทร์, 2531)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการศึกษาและวิจัย จึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งสามารถแบ่งตามกลุ่มงานวิจัยได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางโภชนาการของอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไมโครเวฟในการอบพองของอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ และกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

2.5.1 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

Akubor (2004) ศึกษาและทดลองผลิตอาหารขบเคี้ยวจากแป้งสาลีผสมกับแป้งที่ผลิตจากถั่วพุ่ม (cowpea) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพ ทางประสาทสัมผัส และปริมาณโปรตีน พบว่า เมื่อนำผลการทดลองมาเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งสาลีเพียงชนิดเดียว ผลิตภัณฑ์มีแป้งถั่วฝักยาวเป็นส่วนผสมมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำกว่า แต่คุณภาพทางด้านกายภาพ และทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างกัน

จุฬาลักษณ์ และคณะ (2546) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากข้าวกล้องไทยพันธุ์ปทุมธานีหนึ่ง และสุพรรณบุรีหนึ่ง โดยใช้เครื่องเอ็กทรูเดอร์ ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวกล้อง ทั้งจาก ข้าวกล้องพันธุ์ปทุมธานีหนึ่ง และสุพรรณบุรีหนึ่ง ให้ผลการทดลองในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน นั่น คือ เมื่อความชื้นของวัตถุดิบขณะป้อนต่ำลง (ร้อยละ 13) หรือความเร็วรอบของสกรูเพิ่มขึ้น (350 รอบ/นาที) ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่ได้จะมีลักษณะที่ดีมีความพองและกรอบเบา โดยค่าอัตราการพองตัวจะสูงขึ้น ความหนาแน่นจำเพาะมีค่าต่ำลง และความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น เมื่อประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสพบว่ามีลักษณะกรอบเบามากกว่ากรอบแข็ง และเมื่อประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสก็อยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของผู้บริโภค นอกจากนั้น จากการศึกษาโครงสร้างลักษณะพื้นผิวเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราด ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่มีความพอง กรอบเบา มากกว่าโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่จะมีความแน่นแข็ง อย่างเห็นได้ชัด จากการประเมินคุณค่าทางโภชนาการรูปแบบของฉลากโภชนาการ พบว่า ผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยนี้เป็นแหล่งที่ดีของโปรตีนและใยอาหาร ไขมันต่ำ โคเลสเตอรอลต่ำ และไม่มีไขมันอิ่มตัว สรุปได้ว่าข้าวกล้องไทยทั้ง พันธุ์ปทุมธานี 1 และสุพรรณบุรี 1 มีความเหมาะสม ต่อการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวข้าวกล้อง

Ding *et al.* (2004) ทำการศึกษาผลของสภาวะของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจากข้าว โดยการเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องเอ็กทรูเดอร์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ (rice-base expanded snacks) ที่ออกมามีการขยายตัวสูง มีการละลายตัวในน้ำต่ำลงและมีความแข็งมากขึ้น ส่วนการเพิ่มอัตราการเติมน้ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีความหนาแน่นสูง มีการขยายตัวต่ำ มีการดูดซับน้ำสูงแต่มีการละลายตัวในน้ำได้ต่ำลง และมีความแข็งมากขึ้นแต่มีความเปราะลดลง การใช้อุณหภูมิสูงบริเวณบาเรล (barel) จะช่วยเพิ่มการขยายตัว การดูดซับน้ำ และความเปราะแต่จะลดความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ และระดับความเร็วของสกรูนั้นไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

2.5.2 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางโภชนาการของอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2543ข) ศึกษาพัฒนาอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบที่มีข้าวโพดเกล็ด-ปลายข้าว เป็นองค์ประกอบหลักด้วยกระบวนการอัดพอง โดยเริ่มต้นจากการพัฒนาสูตรโดยการใช้แป้งถั่วเหลืองร้อยละ 18 แทนที่ข้าวโพดเกล็ด ปลายข้าว และน้ำมันถั่วเหลือง และเพิ่มกรดอะมิโนไลซีน อีกร้อยละ 0.25 ของส่วนประกอบทั้งหมด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้แป้งถั่วเหลืองถึงร้อยละ 58.68 มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกตัวในปริมาณมากกว่าร้อยละ 82 ของค่ามาตรฐานที่แนะนำโดย FAO/WHO และพลังงานที่ได้จากอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบได้มาจาก 3 แหล่ง คือ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต คิดเป็นร้อยละดังนี้ 8.60 35.97 และ 55.43 ตามลำดับ อีกทั้งยังเป็นแหล่งของวิตามินบี แคลเซียม โซเดียม และไอโอดีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภัทธิรา (2550) ศึกษาปริมาณพลังงานจากอาหารว่าง และอาหารขบเคี้ยวที่วางจำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 8 กลุ่ม 39 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบกุ้ง กลุ่มผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ กลุ่มผลิตภัณฑ์ข้าวโพดอบกรอบ กลุ่มผลิตภัณฑ์ถั่วอบกรอบ กลุ่มผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ กลุ่มผลิตภัณฑ์ของทอด กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารว่าง กลุ่มผลิตภัณฑ์ขนมพองกรอบ โดยเมื่อเปรียบเทียบร้อยละของพลังงานที่ควรได้รับประจำวันตามข้อกำหนดของ Dietary Reference Intakes (DRI) พบว่าพลังงานที่ได้รับจากกลุ่มผลิตภัณฑ์ถั่วอบกรอบกลุ่มผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ กลุ่มผลิตภัณฑ์ข้าวโพดอบกรอบ กลุ่มผลิตภัณฑ์ขนมพองกรอบ กลุ่มผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดกรอบ กลุ่มผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบกุ้ง กลุ่มผลิตภัณฑ์ของทอด และกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารว่าง ให้พลังงานคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 9-22 6-19 6- 18 6-17 6-17 7-16 6-15 และ 2-9 ตามลำดับ

2.5.3 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไมโครเวฟในการอบพองของอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

Jomduang (1994) ทำการศึกษา และปรับปรุงคุณภาพของข้าวเกรียบว่าว ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่พองตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟ พบว่า ระยะเวลาในการนึ่งที่เหมาะสม คือ 20 นาที หรือนึ่งจนแป้งสุก ขึ้นรูป หั่นให้ได้ความหนาของแผ่นข้าวเกรียบ 1-2 มิลลิเมตร และอบแห้งจนเหลือความชื้นก่อนการอบพองร้อยละ 14-20 เก็บไว้ข้ามคืนให้คามชื้นคงตัว ใช้ระดับพลังงานความร้อนจากเตาอบไมโครเวฟที่ระดับสูงสุด จนพองตัวเต็มที่ ด้วยวิธีการข้างต้นทำให้ข้าวเกรียบว่าวที่ใช้แป้งข้าวเหนียวในการผลิตมีเนื้อสัมผัสหลังการพองตัวดีกว่าการใช้ข้าวเหนียวเป็นเมล็ด

วิจิตรา (2546) ทำการศึกษาหาสูตรแผ่นข้าวอบกรอบ พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมของแป้งข้าวเหนียว มอล์ตสกัด อะไมโลส และเลซิทิน คือ ร้อยละ 14 3.5 0.3 และ 20.98 ตามลำดับ ในการพัฒนากระบานการแปรรูป พบว่า การรีดโดให้มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร นึ่งโดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ความชื้นของโดร้อยละ 20.39 ใช้ระดับพลังงานความร้อนจากเตาอบไมโครเวฟที่ระดับสูงสุด เป็นเวลา 75 วินาที และเคลือบคาราเมลร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับน้ำหนักผลิตภัณฑ์จะมีความคงตัวในน้ำนมดีที่สุด

ขนิษฐา (2549) ทำการศึกษาผลของวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต ต่อคุณภาพของอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ พบว่าการใช้ข้าวเหนียวหักบดหยาบผสมกับข้าวเจ้าหักบดหยาบร้อยละ 5 ผสมกับน้ำทำให้เป็นก้อนแป้ง นึ่งจนสุก แล้วนวดแป้งสุกนาน 10 นาที ก่อนนำไปแช่แข็งข้ามคืน แล้วหั่นให้มีความหนาประมาณ 2.5 มิลลิเมตร นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรือมีความชื้นในช่วงร้อยละ 19-21 บรรจุในถุงกระดาษเคลือบไข ก่อนนำไปอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 800 วัตต์ จนพองตัวเต็มที่ ก่อนคลุกด้วยผงปรุงรสในปริมาณร้อยละ 12 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์เป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมในการผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาอาหารขบเคี้ยวประเภทพองกรอบ

ศิวาพร และคณะ (2534) ทดลองเก็บผลิตภัณฑ์สำเร็จอาหารเช้าที่ผลิตมาจากแป้งข้าวเจ้าในถุง polyethylene (PE) และ ถุง PE เคลือบด้วยอลูมินัมฟอยล์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง PE เคลือบด้วยอลูมินัมฟอยล์ มีอายุการเก็บที่ยอมรับนานถึง 10 สัปดาห์ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง PE มีอายุการเก็บต่ำกว่า 6 สัปดาห์ โดยวัดจากค่าปริมาณความชื้น ค่าแรงกดทดสอบความกรอบ และผลประเมินทางประสาทสัมผัส

Butt *et al.* (2004) พบว่า การใช้สาร antioxidant คือ Butylated hydroxyanisole (*BHA*)/butylated hydroxytoluene (*BHT*) (ร้อยละ 0.02) ร่วมกับการบรรจุในถุงอลูมินัมฟอยล์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นมากกว่า 6 เดือน เนื่องจากถุงอลูมินัมฟอยล์ สามารถป้องกันความชื้นได้เป็นอย่างดี และสาร antioxidant ที่ใช้ยังช่วยชะลอการเกิดกลิ่นเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ได้ดีเช่นกัน

Labuza and Kreismon (2004) พบว่า การใช้ภาชนะบรรจุที่ป้องกันการผ่านเข้าออกของความชื้น สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานาน 4 - 6 สัปดาห์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส และยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานมากกว่า 6 เดือน เมื่อเก็บในถุงพลาสติกลามิเนต และภายในบรรจุด้วยแก๊สไนโตรเจน นอกจากนี้ยังไม่พบการเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ เพราะอาหารขบเคี้ยวประเภทขบเคี้ยวมีค่า Aw ที่ต่ำไม่เหมาะกับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved