บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

อาหารว่าง (snack food) มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น ขนมขบเคี้ยว ขนมกรอบ ความหมายของอาหารว่างนั้น คือ อาหารหรือขนมที่รับประทานระหว่างอาหารมื้อหลักหรือรับประทานระหว่างการเดินทาง ดูภาพยนตร์ พฤติกรรมการบริโภคขนมขบเคี้ยวนั้นมักจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่าง ๆ จากการสำรวจพบว่า เกี่ยวข้องกับการดูโทรทัศน์มากที่สุดคือ ร้อยละ 31.20 รองลงมาคือ อยู่บ้านว่างๆ ร้อยละ 23.10 (ผู้จัดการ, 2547) ขนมขบเคี้ยวนั้นมีหลากหลาย บางชนิดไม่มีคุณค่าทางโภชนาการเลย เช่น เมี่ยง หมากพลู ส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารบ้าง โดยเฉพาะพลังงาน เช่น คุกกี้ ข้าวโพดคั่ว ข้าวเกรียบ (ประชา และจุฬาลักษณ์, 2543ข) จากการสำรวจพบว่านักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 3 วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงใหม่นิยมบริโภคขนมพองกรอบ และถั่วชนิดต่างๆ (อัจฉรา, 2543) นักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ชอบขนมขบเคี้ยวที่ทำจากมันฝรั่งมากที่สุด ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ชอบน้อยที่สุดคือถั่วชนิดต่างๆ (จินตนา, 2543) 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 หรือวัสดุอื่นๆ ที่สามารถป้องกันไม่ให้อากาศจากภายนอกผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุได้ และกลุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนมประเภทที่ต้องรับประทานในสภาพสด ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน เช่น ขนมปัง ขนมแบบไทย ๆ เช่น ขนมชั้น วุ้นกะทิ ฝอยทอง เม็ดขนุน เป็นต้น (กรมอนามัย, 2547)

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวพอจะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546) ได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์จากมันฝรั่ง มันฝรั่งทอดกรอบนับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผู้นิยมรับประทานมากที่สุด

2. ขนมประเภทอบพอง ผลิตภัณฑ์ในประเภทนี้จัดได้ว่ามีมากชนิดที่สุด และยังมีมากมายหลายรูปแบบทั้งเป็นชิ้น รูปร่างต่างๆ แบบแผ่น แบบแท่ง รสหวาน รสเค็ม แม้กระทั่งแบบสอดไส้ ส่วนมากจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเครื่อง Extruder วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ ปลายข้าวหรือข้าวท่อน และข้าวโพดบดหยาบ (corn grit) (ประชา, 2537)

3. ขนมประเภทปลาเส้น และถั่วชนิดต่างๆ

4. เยลลี่พร้อมบริโภคมีทั้งชนิดบรรจุถ้วยขนาดพอคำ และถ้วยใหญ่ที่ต้องตักกิน

5. ลูกอมทั้งแบบอมและแบบเคี้ยวชนิดที่เป็นเม็ดแข็งหรือแบบหนืดเคี้ยวได้

ขนมขบเคี้ยวประเภทพองกรอบในปัจจุบันนั้นได้รับความนิยมมีการบริโภคมากโดยเฉพาะเด็กไทย พบว่านิยมบริโภคขนมขบเคี้ยวเพิ่มขึ้นมีมูลค่าเป็นตัวเลขถึง 170,000 ล้านบาทต่อปี (ผู้จัดการ, 2547) และมีการผลิตอย่างแพร่หลาย มีการนำข้าวมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยวประเภทอบพองหลายชนิดโดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน เช่น การพองด้วยการย่างบนความร้อน (baking) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์อาราเร่ (Arare) และเซมเบ่ (Sembei) ที่ทำจากข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ เทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดนี้นำมาจากชาวญี่ปุ่น แต่การผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนที่ยุ่งยากเริ่มจากการนำข้าวเหนียวมาแช่น้ำทิ้งไว้ค้างคืนแล้วจึงนำไปนึ่งด้วยไอน้ำ จากนั้นทำการนวดข้าวเหนียวจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วทำเป็นรูปร่างตามที่ต้องการ และต้องนำไปอบแห้งจนได้ความชื้นที่เหมาะสมจึงสามารถนำไปย่างให้พองตัวด้วยความร้อน (งามชื่น, 2547) โดยปกติทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์อาราเร่จะมีปริมาณความชื้นก่อนการอบพองประมาณร้อยละ 20 วัตถุดิบที่นำมาผลิตขนมอบพองควรมีคุณสมบัติคือ มีปริมาณอะไมโลสที่ต่ำ เนื่องจากการพองตัวของขนมหลังจากการอบขึ้นอยู่กับปริมาณอะไมโลส ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำจะให้การพองตัวที่สูง ข้าวเหนียวจึงมีคุณสมบัติเหมาะสม เพราะแป้งข้าวเหนียวจะไม่มีอะไมโลส อยู่เลย (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) การผลิตขนมอบพองส่วนมากจึงใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กลไกการพองตัวของขนมอบพองมี 3 แบบ คือ

1. การพองที่เกิดจากแรงอัดที่อุณหภูมิสูง (extrusion) ในปัจจุบันมีการนำ extrusion technology มาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย การพองตัวของแป้งเกิดจากการที่แป้งได้รับความร้อนจากขดลวด และความดันสูงจากการขับเคลื่อนของแท่งเกลียวทำให้แป้งและองค์ประกอบของอาหารเกิดการหลอมตัว เมื่อแป้งเหลวนี้เคลื่อนที่ออกจากเครื่องสู่บรรยากาศ เป็นผลให้ความดันลดลงกะทันหันไอน้ำที่อยู่ในก้อนแป้งเหลวจะกระจายระเหยออกทันที และดันก้อนแป้งให้เกิดรูพรุนกระจายทั่ว เมื่อเย็นลงจะคงความกรอบของผลิตภัณฑ์ไว้

2. การพองตัวที่เกิดจากแผ่นความร้อน (puffing machine) หลักการของเทคโนโลยีนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับ extrusion แต่ความดันที่ได้รับเกิดจากแรงกดและการเคลื่อนที่กลับของแผ่นให้ความร้อน 2 แผ่น ประกบกัน

3. การพองที่เกิดจากการอบ หรือทอดในน้ำมันร้อน (oven or deep fry puffing) เช่น ข้าวตอกซึ่งทำจากข้าวเหนียว ข้าวตังทอด จากการศึกษาการพองตัวของข้าวที่ทอดในน้ำมันพบว่าข้าวที่เหมาะสมควรเป็นข้าวสุกอบแห้ง ข้าวอะไมโลสต่ำและข้าวเหนียวจะมีการพองตัวได้ดีกว่าข้าวชนิดอื่น (งามชื่น, 2547)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตขนมขบเคี้ยว

Jomduang (1994) ทำการดัดแปลง และปรับปรุงคุณภาพของข้าวเกรียบว่าว พบว่า การใช้แป้งข้าวเหนียวล้วนเป็นส่วนผสม จะทำให้ข้าวเกรียบว่าวมีเนื้อสัมผัสหลังการพองตัวที่ดีกว่าการใช้ข้าวเหนียวเป็นเมล็ด สารป้องกันการเกาะติดของก้อนแป้งสุกคือส่วนผสมที่มีอัตราส่วนของน้ำมันปาล์มและไข่แดงเป็น 20:1 ระยะเวลาในการนึ่งที่เหมาะสมคือ 20 นาที หรือนึ่งจนแป้งสุก ความหนาของแผ่นข้าวเกรียบที่เหมาะสม คือ 1-2 มม. และปริมาณความชื้นก่อนการอบพองที่เหมาะสมคือร้อยละ 14-20

ศิวาพร และคณะ (2534) ทดลองเก็บผลิตภัณฑ์สำเร็จอาหารเช้าที่ผลิตมาจากแป้งข้าวเจ้าในถุง PE และ ถุง PE เคลือบด้วย Aluminium foil พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง PE เคลือบด้วย Aluminium foil มีอายุการเก็บที่ยอมรับนานถึง 10 สัปดาห์ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง PE มีอายุการเก็บต่ำกว่า 6 สัปดาห์ โดยวัดจากค่าปริมาณความชื้น ค่าแรงกดทดสอบความกรอบ และผลประเมินทางประสาทสัมผัส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Labuza and Kreismon (2004) ขนมอบพองเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษานาน เพราะมีไขมันต่ำ จึงไม่พบปัญหาการเสียเนื่องจากกลิ่นหืน ต่างจากขนมขบเคี้ยวที่ทอดด้วยน้ำมันที่มักพบปัญหาการเกิดกลิ่นหืน การใช้ภาชนะบรรจุที่ป้องกันการผ่านเข้าออกของความชื้นได้จะช่วยให้ขนมมีอายุการเก็บรักษานาน 4 - 6 สัปดาห์ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส และยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานมากกว่า 6 เดือน เมื่อเก็บในภาชนะบรรจุที่เป็น laminated และภายในบรรจุด้วยก๊าซไนโตรเจน นอกจากนี้ยังไม่พบการเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ เพราะขนมขบเคี้ยวมีค่า a_w ที่ต่ำไม่เหมาะกับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2543ข) ทำการพัฒนาขนมกรอบเพิ่มคุณค่าโภชนาการด้วยแป้งถั่วเหลืองโดยกระบวนการ extrusion เริ่มต้นจากการพัฒนาสูตรโดยการใช้แป้งถั่วเหลืองร้อยละ 18 แทนที่ข้าวโพดเกร็ด ปลายข้าว และน้ำมันถั่วเหลือง และเพิ่มกรดอะมิโนไลซีนอีกร้อยละ 0.25 ของส่วนประกอบทั้งหมด พบว่าขนมกรอบที่ได้จากการทดลองมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าขนมที่ไม่ใช้แป้งถั่วเหลืองถึงร้อยละ 58.68 มีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นทุกตัวในปริมาณมากกว่าร้อยละ 82 ของค่ามาตรฐานที่แนะนำโดย FAO/WHO ได้พลังงานจากโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 8.60 35.97 และ 55.43 ตามลำดับ อีกทั้งยังเป็นแหล่งของวิตามินบี แคลเซียม โซเดียม และไอโอดีน

ประชา และจุฬาลักษณ์ (2543ก) พบว่าการพัฒนาขนมกรอบที่มีข้าวโพดเกล็ดและปลายข้าวเป็นองค์ประกอบหลักด้วยกระบวนการ extrusion นั้นสามารถใช้ปลายข้าวเสริมเข้าไปแทนที่ข้าวโพดเกร็ด ในสูตรส่วนผสมมาตรฐานพื้นฐานทำขนมกรอบที่มีข้าวโพดเกล็ดเป็นองค์ประกอบหลักได้ถึง 50 % การเพิ่มปลายข้าวลงไปในส่วนผสมจะช่วยให้ขนมกรอบมีเนื้อสัมผัสที่กรอบแน่น มีสีสันสวยมากยิ่งขึ้น และยังได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

Akubor (2003) ทำการทดลองผลิตขนมขบเคี้ยวจากแป้งสาลีผสมกับแป้งที่ผลิตจากถั่วพุ่ม (cowpea) นำขนมที่ได้มาทำการศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพ ทางประสาทสัมผัส และปริมาณโปรตีน พบว่า เมื่อนำผลการทดลองมาเทียบกับขนมที่ผลิตจากแป้งสาลีเพียงชนิดเดียว ขนมที่มีแป้งถั่วฝักยาวเป็นส่วนผสมมีปริมาณโปรตีนทำกว่า แต่คุณภาพทางด้านกายภาพ และทางประสาทสัมผัสไม่มีความแตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Ding *et al.* (2004) แสดงสภาวะของ extrusion ต่อลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว โดยการเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบเข้า extrusion จะทำให้ผลิตภัณฑ์ (rice-base expanded snacks) ที่ออกมามีการขยายตัวสูง มีการละลายตัวในน้ำต่ำลงและมีความแข็งมากขึ้น ส่วนการเพิ่มอัตราการเติมน้ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีความหนาแน่นสูง มีการขายตัวต่ำ มีการดูดซับน้ำสูงแต่มีการละลายตัวในน้ำได้ต่ำลง และมีความแข็งมากขึ้นแต่มีความเปราะลดลง การใช้อุณหภูมิสูงบริเวณบาเรล (barel)จะช่วยเพิ่มการขยายตัว การดูดซับน้ำ และความเปราะแต่จะลดความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ และระดับความเร็วของสกรูนั้นไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

Butt *et al.* (2004) พบว่า การใช้สาร antioxidant คือ BHA / BHT (0.02%) ร่วมกับการบรรจุในถุง aluminium foil ช่วยให้อาหารเช้าที่ผลิตจากธัญพืชมีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นมากกว่า 6 เดือน เนื่องจากถุง aluminium foil สามารถป้องกันความชื้นได้เป็นอย่างดี และสาร antioxidant ที่ใช้ยังช่วยชะลอการเกิดกลิ่นเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ได้ดีเช่นกัน

2.2 แป้ง : วัตถุดิบหลักในการผลิตขนมขบเคี้ยว

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิ-เมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพคทิน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคทินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดต่างกัน (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1. อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4 – glucosidic linkage แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณร้อยละ 28 แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูมีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณร้อยละ 20 waxy starch ไม่มีอะไมโลสเลย และแป้งจาก amylomaize มีอะไมโลสสูงมากถึงร้อยละ 80 น้ำหนักโมเลกุลของ

อะไมโลสอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน ซึ่งอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป ในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุล หรือระดับชั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization :DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติอะไมโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น butanol fatty acid surfactant phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบคือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือ ม้วนอิสระ (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะไมโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัวอะไมโลสมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000 มีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระและจะไม่ละลายในสารละลาย สำหรับอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 อาจจะมีบางส่วนละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (Whistler และ Daniel, 1984)

2. อะไมโลเพคทิน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคทินทั้งหมด DP ของอะไมโลเพคทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะไมโลเพคทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะไมโลเพคทินประกอบด้วยสาย (chain) 3 ชนิด คือ

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

- สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพคทินประกอบด้วยสาย A และ สาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1

- สาย C (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพคทินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพคทินมีตั้งแต่ขนาดเล็ก ซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วย สาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45 หน่วย ประกอบด้วยสาย B สายยาว สายเหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster)

สำหรับอะไมโลเพคทินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง สายส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80 – 90 ประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยว ๆ และสายที่เหลืออีกร้อยละ 10 – 20 จะเป็นส่วนเชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยสายประมาณ 22 – 25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของแป้ง ในการจับกันเป็นกลุ่มของอะไมโลเพคทินเกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งช่วยให้แป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยาด้วยกรดและเอนไซม์ (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

3. สารตัวกลาง สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะไมโลเพคทิน แต่ใหญ่กว่าอะไมโลส ปริมาณของอะไมโลส อะไมโลเพคทิน และสารตัวกลางในเม็ดแป้งไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูกและปริมาณน้ำฝนระหว่างการเพาะปลูก

4. ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในแป้ง สามารถแบ่งออกได้เป็น

4.1 Particulate material คือ ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้งได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลาย และผนังเซลล์ซึ่งส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้งนี้จะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง

4.2 Surface material คือ ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของแป้ง เช่น เยื่อหุ้มของอะไมโลพลาสต์สามารถสกัดออกได้โดยไม่ทำลายเม็ดแป้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 Internal material คือ ส่วนที่ติดอยู่ภายในแป้ง สามารถแยกออกได้โดยการทำลายแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตจากแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

สวนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะคุณสมบัติของแป้งที่สำคัญได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส แป้งแต่ละชนิดจะมีปริมาณสารต่างๆแตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดของแป้ง	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เถ้า (%)	ฟอสฟอรัส (%)
แป้งข้าวโพด	13	0.60	0.35	0.10	0.015
แป้งมันฝรั่ง	19	0.05	0.06	0.40	0.08
แป้งสาลี	14	0.80	0.40	0.15	0.06
แป้งมันสัมปะหลัง	13	0.10	0.10	0.20	0.01
แป้งข้าวเจ้า	12	0.80	0.45	0.50	0.10

ที่มา : Swinkels, 1985

การเกิดเจลาติไนซ์เซชัน (gelatinization) ของแป้ง

การเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งแบ่งได้เป็น 3 ระยะคือ ระยะแรกแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากระหว่าง micelles ยืดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด แป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ bifrigence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 แป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็วร่างแหระหว่าง micelles ภายในแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลายลงแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาติไนซ์เซชัน แป้งจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างแบบ bifrigence ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าแยกส่วนใสมาหยดสารละลายไอโอดีนลงไปจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอีกจนถึงระยะที่ 3 รูปร่างของแป้งจะไม่แน่นอนการละลายของแป้งจะเพิ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มากขึ้น การเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆได้ดีกว่า ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งจะแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบของแป้ง (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) แป้งที่ได้รับความร้อนในภาวะที่มีปริมาณน้ำมากจะพองตัวออกมาก และมีอะไมโลสบางส่วนที่ละลายน้ำได้หลุดออกมามากด้วย หากมีความดันหรือแรงเฉือนที่ทำให้แป้งถูกทำลายจะทำให้ได้สารละลายที่มีลักษณะข้น ซึ่งประกอบด้ายส่วนที่ละลายได้ของอะไมโลสและ/หรือบางส่วนของอะไมโลเพคทิน และเมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล (นิธิยา, 2545)

2.3 แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเจ้า

ข้าวที่ปลูกเพื่อบริโภคสามารถแบ่งตามชนิดของแป้งในเมล็ดได้เป็น 2 ชนิด

1. ข้าวเจ้า ประกอบด้วยอะไมโลส (amylose) ประมาณร้อยละ 15-30

2. ข้าวเหนียว ประกอบด้วยอะไมโลเพคทิน (amylopectin) เป็นส่วนใหญ่ และมีอะไมโลสเป็นส่วนน้อย ประมาณร้อยละ 5-7 อะไมโลเพคทินทำให้เมล็ดข้าวมีความเหนียว เมื่อหุงต้มสุกแล้ว (กาญจนาภิเษก, 2548)

สายพันธุ์ข้าวเหนียวในประเทศไทยนั้นได้รับการวิจัย และพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณภาพทำให้เกิดข้าวเหนียวขึ้นหลายสายพันธุ์ สายพันธุ์ข้าวเหนียวที่นิยมปลูกในภาคเหนือตอนบน ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กข 10 และสันป่าตอง 1 ข้าวเหนียวทั้งสามสายพันธุ์มีลักษณะทั่วไปดังนี้

1. ข้าวเหนียว กข 6 เป็นข้าวที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์โดยการนำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไปอาบรังสีแกมมาขนาด 20 กิโลแรด เพื่อให้กลายเป็นข้าวเหนียว คุณภาพในการหุงต้มอ่อนนุ่มกว่าข้าวเหนียวสันป่าตองเล็กน้อยและมีกลิ่นหอม

2. ข้าวเหนียวพันธุ์ กข 10 เป็นข้าวเหนียวที่ได้มาโดยนำเอาเม็ดพันธุ์ข้าว กข 1 ไปอาบรังสีนิวตรอนเร็วขนาด 10 กิโลแรด คุณภาพข้าวสุกนุ่มปานกลาง

3. ข้าวเหนียวสันป่าตอง 1 ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ข้าว BKNLR75001-B3-CNT-B4-RST-36-2 เป็นพันธุ์แม่ กับ กข 2 เป็นพันธุ์พ่อ คุณภาพสุกอ่อนนุ่นกว่าข้าวเหนียว กข 10 (สถาบันวิจัยข้าว, 2548)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวเหนียว เป็นอาหารหลักของชาวไทยโดยเฉพาะในภาคเหนือ และภาคอีสานนิยมบริโภคมากกว่าข้าวเจ้า นอกจากการรับประทานเป็นอาหารหลักแล้วยังมีการนำข้าวเหนียวมาผลิตเป็นแป้งข้าวเหนียวเพื่อการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น แป้งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูงพบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่ใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว ในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำแป้งมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส เป็นต้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) เมื่อเติมแป้งลงในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำ จะทำให้คุณภาพของเนื้อสัมผัสอาหารเปลี่ยนไป เช่น ทำให้เกิดความข้น ความหนืด หรือเกิดเป็นเจล สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีน้ำน้อย เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบบางชนิด (คุกกี้และพาย) ซึ่งมีไขมันสูงและน้ำน้อย แต่แป้งประมาณร้อยละ 90 ยังไม่เกิดเจลาติไนซ์จึงถูกย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลสได้อย่างช้าๆ ส่วนเค้กหรือขนมปังที่มีน้ำมากแป้งประมาณร้อยละ 96 จะเกิดเจลาติไนซ์ (นิธิยา, 2545)

การผลิตแป้งข้าวในประเทศไทยนั้นมีทั้งชนิดแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือ ข้าวหัก หรือปลายข้าว กรรมวิธีการผลิตมี 3 วิธีคือ วิธีโม่แห้ง วิธีโม่น้ำ และวิธีผสม แป้งที่ได้จากการโม่แห้งจะมีคุณภาพต่ำ เพราะเม็ดแป้งค่อนข้างหยาบและมีสิ่งเจือปนสูง อายุการเก็บรักษาสั้นเพราะเกิดกลิ่นหืนและถูกทำลายจากแมลงได้ง่าย สำหรับวิธีโม่น้ำเป็นวิธีการผลิตแป้งข้าวในปัจจุบัน แป้งที่ได้มีคุณภาพดี มีความละเอียด และสิ่งเจือปนต่ำ การผลิตแป้งข้าววิธีผสมเป็นการโม่แป้งจากข้าวที่แช่น้ำและอบแห้งด้วยความร้อนก่อนการโม่เป็นแป้ง แป้งชนิดนี้เป็นแป้งคุณภาพสูงและนำไปทำขนมเฉพาะอย่าง เช่น ขนมโก๋จาก (งามชื่น, 2547) นอกจากนี้การผลิตขนมขบเคี้ยวยังนิยมใช้แป้งข้าวเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากหาได้ง่าย และสะดวกต่อการใช้งาน

แป้งข้าวเหนียว (glutinous rice flour) แป้งข้าวเหนียวมีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด และมีขนาดของเม็ดแป้ง 2-9 ไมโครเมตร ลักษณะของแป้งข้าวเหนียวที่ดีควรมีกลิ่นธรรมชาติของแป้งและไม่มีกลิ่นเหม็นหืน (บริษัทโรงเส้นหมี่ช่อเฮง จำกัด, 2547) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวแสดงดังตารางที่ 2.2 แป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีสีเหลืองเข้มขึ้น

แป้งข้าวเจ้า (rice flour) แป้งข้าวเจ้าที่นิยมมากคือ แป้งข้าวเจ้าแบบโม่น้ำ จะมีลักษณะเป็นสีผงขาวและมีขนาดของเม็ดแป้ง 2-9 ไมโครเมตร (บริษัทโรงเส้นหมี่ช่อเฮง จำกัด, 2547) โดยทั่วไปแป้งข้าวเจ้าจะมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18-27 (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าแสดงดังตารางที่ 2.2 แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการให้ความร้อนจะมีสีเหลืองเข้มขึ้น

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว

คุณสมบัติ	ปริมาณ	
	แป้งข้าวเหนียว	แป้งข้าวเจ้า
ความชื้น	11-13 %	12-13 %
ไขมัน	0.30%	0.30%
เถ้า	0.30%	0.30%
โปรตีน	6.5-7.0%	6.5-7.0%
คาร์โบไฮเดรต	79.65-80.65%	79.65-80.65%
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	6.0-7.0	6.0-7.0

ที่มา : บริษัทโรงเส้นหมี่ช่อเฮง จำกัด, 2547

ส่วนมากแล้วแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปนั้นยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มากจึงเรียกว่า ฟลาวร์ (flour) เช่นแป้งข้าวเจ้าที่มีโปรตีนร้อยละ 7-8 เรียกว่า rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึง โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ต่างๆ ถูกกำจัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสและเป็นโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมาในพืช ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง พืชเก็บสะสมสตาร์ชไว้ตามส่วนต่าง ๆ เช่น หัว ราก เมล็ด ลำต้น และผล โดยรวมตัวกันอยู่เป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) ที่อาจมีหรือไม่มีเมมเบรนหุ้มก็ได้เรียกว่า อะไมโลพลาสต์ (amyloplast) สตาร์ชเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานที่สำคัญที่สุดแก่มนุษย์สตาร์ชส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าว-เจ้า ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง และบางส่วนได้มาจากหัวและรากของพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง สตาร์ชที่ได้จากพืชแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะคือ มีโครงสร้างทางเคมีในโมเลกุลแตกต่างกัน และเม็ดสตาร์ชจะมีขนาดรูปร่าง และสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันด้วย (นิธิยา, 2545)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นพลังงานรูปใหม่ที่มนุษย์ได้นำมาใช้ประโยชน์ในราวปี พ.ศ.2483 และพัฒนาออกมาในรูปของเตาไมโครเวฟในปี 2489 เป็นที่นิยมแพร่หลายจนกลายเป็นของใช้ภายในครัวเรือนในรูปของเตาอบไมโครเวฟที่ใช้หุงต้มอาหารได้ โดยเน้นประโยชน์ของพลังงานนี้ในรูปของการประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการของผู้คนทั้งหลายที่ดำรงชีวิตอยู่ในสังคมปัจจุบัน และยังมีผลกระทบต่อผู้ประกอบอุตสาหกรรมอาหาร ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทานที่ผู้บริโภคเพียงแต่นำไปอุ่นให้ร้อนก็รับประทานได้นั้น ควรจะต้องมองให้ไกลไปถึงภาชนะบรรจุที่สามารถทำให้ร้อยได้ด้วยเตาไมโครเวฟ นอกจากนี้ยังนำพลังงานในรูปดังกล่าวมาปรับใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารหลายแบบได้อย่างเหมาะสม (วิไล, 2545)

การยืดอายุผลิตภัณฑ์อาหารโดยการฆ่าเชื้อด้วยไมโครเวฟได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ แต่ยังเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่ในประเทศไทย อย่างไรก็ตามเริ่มได้รับความนิยมมากในการอุ่นอาหารในร้านขายปลีกหรือระดับอุตสาหกรรมเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 10 ปีก่อนในประเทศเนเธอร์แลนด์โดยการฆ่าเชื้ออาหารที่บรรจุในถาดเพ็ท สาเหตุที่การฆ่าเชื้อด้วยไมโครเวฟไม่ได้รับความนิยมมากนักเพราะว่าระบบนี้สามารถยืดอายุอาหารได้พอๆกับการฆ่าเชื้อด้วยการพาสเจอไรซ์เท่านั้น (วิไล, 2545)

เมื่อคลื่นไมโครเวฟ ถูกดูดซับเข้าสู่ชิ้นอาหารจะเกิดความร้อนได้ในสองแบบร่วมกันซึ่งได้แก่

1. Ionic polarization เป็นการเกิดความร้อน เนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า แต่ละไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีขึ้นกับไอออนอื่น ๆ และมีการเปลี่ยนพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อน แล้วจึงกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่น ๆ ต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้เกิดได้ในของเหลวภายในเซลล์ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย

2. Dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบมีขั้ว (polar) คือ น้ำนั่นเอง ในสภาพปกติสารประกอบนั้นจะเรียงตัวประจุบวกและลบอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวกและประจุลบของสารนั้นจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบ การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาจะเกิดอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟคือ 915 – 2450 ล้านครั้งต่อ 1 วินาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

และการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้นและเป็นลักษณะการเกิดความร้อนที่สำคัญ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอาหารโดยคลื่นไมโครเวฟ

1. ค่าความถี่ ความถี่ที่ใช้ในระบบไมโครเวฟมีอยู่ 2 ความถี่ คือ 915 และ 2,450 MHz ความถี่ที่ใช้จะมีผลต่อระดับความลึกในการเจาะเข้าเนื้อในอาหารของระบบไมโครเวฟ เพื่อให้เกิดความร้อนอย่างทั่วถึง โดยปกติค่าความถี่ต่ำ (915 MHz) จะสามารถให้ความร้อนได้ลึกกว่า นอกจากนี้ค่าความถี่ยังมีผลต่อสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนพลังงานของอาหารแต่ละชนิด ซึ่งผลนี้จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของอาหาร

2. ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า หรือกำลังไฟฟ้าของระบบไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะอยู่ในช่วง 5-100 kw ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะช่วยเร่งการให้ความร้อนแก่อาหาร ดังนั้นจึงนิยมปรับกำลังไฟฟ้าของระบบเพื่อควบคุมความเร็วในการทำให้อาหารร้อน อย่างไรก็ดีการเร่งความเร็วมากเกินไปอาจมีผลเสีย เช่น น้ำในอาหารไม่สามารถระบายออกด้วยการระเหยได้ทันทำให้เกิดการเดือดขึ้นในอาหาร และเมื่อมีปริมาณมากจะเกิดการระเบิดออกมา ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์

3. ค่าความชื้นในอาหาร น้ำเป็นตัวแปรสำคัญในการดูดซึมพลังงานสูง ทำให้สามารถให้ความร้อนแก่อาหารได้ดี อาหารที่มีความชื้นสูงจึงดูดซึมพลังงานได้ดีกว่าอาหารที่มีความชื้นต่ำ ดังนั้นอาหารที่มีความชื้นสูงจะเกิดความร้อนได้เร็วกว่าอาหารที่มีความชื้นต่ำ

4. ความหนาแน่นของอาหาร โดยปกติอากาศเป็นฉนวนความร้อนได้ดี ดังนั้นอาหารที่โปร่งหรือมีฟองซึ่งมีอากาศแทรกอยู่มากจะทำให้ร้อนได้ช้า แต่สำหรับไมโครเวฟอากาศไม่มีผลกระทบต่อการทำให้เนื้ออาหารร้อน ดังนั้นในการอบขนมปังด้วยไมโครเวฟจะกินเวลาเพียง 1 ใน 3 ของเวลาปกติหรือน้อยกว่า

5. อุณหภูมิของอาหาร อุณหภูมิมีผลต่อระบบไมโครเวฟหลายกรณีดังนี้

5.1. ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงาน อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่ชนิดของอาหาร เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในระหว่างการทำให้อาหารร้อน

5.2. น้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง มีผลอย่างมากในการเปลี่ยนพลังงานของน้ำเย็นกับน้ำแข็งแตกต่างกันถึงร้อยละ 200 เนื่องจากความโปร่งใสของน้ำแข็งทำให้การดูดซึมความร้อนไม่ดีพอ เพื่อง่ายต่อการควบคุมเราจึงนิยมละลายน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง ให้อุณหภูมิที่ได้ต่ำกว่าจุดหลอมละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

5.3. อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารควรทราบ หรือถูกกำหนดไว้ เพื่อง่ายต่อการปรับกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมสำหรับการระบุอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ

6. รูปทรงของอาหาร ลักษณะรูปทรงของอาหารที่นำมาผ่านระบบไมโครเวฟมีความสำคัญดังนี้

6.1. ขนาด ถ้าขนาดของชิ้นอาหารนั้นใหญ่มากโดยเฉพาะความหนา จะทำให้คลื่นไมโครเวฟเข้าไม่ถึงจุดกึ่งกลางทำให้อาหารร้อนไม่ทั่วทั้งชิ้น ถ้าความหนาของชิ้นอาหารมีความใกล้เคียงกับความสามารถที่คลื่นสามารถทะลุถึงได้ จะทำให้อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางความหนาของชิ้นมีอุณหภูมิสูงที่สุด

6.2. รูปร่าง อาหารที่มีรูปร่างขนาดความกว้างยาวเท่ากันทั้งชิ้นจะถูกทำให้ร้อนได้สม่ำเสมอกว่า ควรหลีกเลี่ยงรูปร่างที่มีขอบแหลมหรือมุมซึ่งจะไหม้ได้ ในกรณีที่จำเป็น เช่น น่องไก่สามารถช่วยได้โดยการลดกำลังไฟฟ้าและยืดระยะเวลาออกไป

7. ค่าการนำไฟฟ้า ในการเกิดความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟเชื่อกันว่าเกิดจาก Dipolar rotation ของอณูในอาหารซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าของอาหารนั้นๆ ดังนั้นถ้าเราเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับอาหาร อาจช่วยเร่งการเกิดความร้อนให้กับอาหารได้ แต่อาจมีผลต่อความสามารถในการเจาะทะลุของคลื่นเข้าไปในชิ้นอาหาร และทำให้เกิดความร้อนไม่สม่ำเสมอ

8. ค่าการนำความร้อน จะมีผลกับอาหารชิ้นใหญ่ โดยที่คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถเจาะลึกพอที่จะทำให้จุดกึ่งกลางของอาหารร้อนสม่ำเสมอได้ หรือเมื่อต้องใช้ระยะเวลาในการทำให้อาหารร้อนนาน ในกรณีที่ใช้เวลาน้อยค่าการนำความร้อนจะไม่ส่งผลมากนัก

9. ค่าความร้อนจำเพาะ ส่วนใหญ่เรามักลืมนึกถึงค่านี้ แต่สำหรับกรณีที่อาหารนั้นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงานต่ำ ค่าความร้อนจำเพาะจะมีส่วนช่วยให้เกิดความร้อนได้เป็นอย่างดี การควบคุมค่าความร้อนจำเพาะ เป็นเทคนิคหนึ่งในการการให้ความร้อนกับอาหารที่มีหลายองค์ประกอบโดยจัดองค์ประกอบต่างๆ ในอาหารให้มีค่าความร้อนจำเพาะใกล้เคียงกัน (วัชรินทร์, 2531)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

บรรจุภัณฑ์ และภาชนะที่ใช้กับระบบไมโครเวฟ

ภาชนะบรรจุที่ใช้กับไมโครเวฟนับว่ามีบทบาทสำคัญมาก โดยเฉพาะอาหารสำเร็จรูปที่พร้อมรับประทานซึ่งเพียงแต่นำมาทำให้ร้อนขึ้นด้วยไมโครเวฟก็รับประทานได้นั้น จำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่นำมาทำภาชนะบรรจุรวมถึงขนาดและรูปแบบ วัสดุใดที่ดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีนั้นไม่เหมาะที่จะใช้เพราะจะแบ่งรับพลังงานไปจากอาหารที่บรรจุอยู่ ส่วนวัสดุที่สะท้อนคลื่น

ไมโครเวฟก็ไม่เหมาะสมเช่นกัน เพราะจะทำหน้าที่เหมือนเป็นเกราะกำบังอาหารไว้ไม่ให้กระทบกับไมโครเวฟได้ ภาชนะที่ทำด้วยโลหะทั้งหลายไม่เหมาะสมที่จะใช้อาจก่อให้เกิดประกายไฟขึ้นและคลื่นที่สะท้อนกลับจะทำให้แม็กนิตรอนของเครื่องเสื่อมเสียมีอายุของการใช้งานสั้นลง ส่วนวัสดุที่เหมาะสมนั้นควรเป็นชนิดที่ยอมให้คลื่นทะลุผ่านได้ดีได้แก่ กระดาษ พลาสติก เครื่องเคลือบดินเผาหรือเซรามิค วัสดุพลาสติกมีความเป็นไปได้สูงมีทั้งชนิดที่ใช้ครั้งเดียวทิ้งได้เลยได้แก่ โฟม มีความนิยมสูงมาก แต่ถ้าจะนำมาใช้กับตู้อบไมโครเวฟควรระวังเมื่อมีไขมันอยู่ด้วย ขณะให้ความร้อนจะหลอมเหลวและบิดเบี้ยวง่าย รูปร่างของภาชนะบรรจุก็มีผลบ้างต่อการทำให้ร้อนเร็วหรือช้าเมื่อใช้ไมโครเวฟ ภาชนะที่มีรูปร่างกลมปากกว้าง และมีมุมเอียงเข้าหาส่วนก้นที่แคบกว่าจะให้ผลดีกว่าภาชนะที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม เพราะมีมุมอับที่จะรับคลื่นไมโครเวฟได้น้อย (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

การปรุงอาหารด้วยตู้ไมโครเวฟนั้น ถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างจากการปรุงอาหารด้วยเครื่องอบธรรมดาหรือเตาแก๊ส ภาชนะทั่วๆไปที่ใช้อยู่ในครัวเรือนก็สามารถนำมาใช้กับตู้อบไมโครเวฟได้ ยกเว้นภาชนะโลหะหรือภาชนะที่มีโลหะเป็นส่วนผสม เพราะคลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้ บรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้กับตู้อบไมโครเวฟจึงควรทำจากวัสดุที่สามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้น้อย และสามารถส่งผ่านคลื่นที่มาตกกระทบนั้นได้โดยไม่สะท้อนคลื่นนั้น ภาชนะที่สามารถใช้กับตู้อบไมโครเวฟได้แก่ (วิไล, 2545)

1. ภาชนะไม้ประเภทหวาย ไม้ ฟาง ใช้ได้กับตู้ไมโครเวฟในระยะเวลาที่สั้นๆ และไม่ควรใช้กับอาหารที่มีมันมาก หรือประกอบด้วยน้ำตาลปริมาณสูง เพราะความร้อนจากอาหารจะทำให้ภาชนะประเภทนี้เกรียมแห้งและแตกได้

2. กระเบื้อง จาน ชาม ถ้วย หรือภาชนะก้นลึกต่างๆ ที่ใช้สำหรับรับประทานอาหารนั้นสามารถนำมาใช้ได้ แต่ไม่ควรเป็นชนิดที่มีขอบเงินหรือทอง เพราะสีหรือวัสดุที่เคลือบภาชนะเหล่านี้มักประกอบด้วยวัตถุที่ทำจากโลหะจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับตู้ไมโครเวฟ

3. แก้วทนไฟ ภาชนะจำพวกเครื่องแก้วทนไฟที่ใช้สำหรับเตาธรรมดาประเภทที่ไม่มีวัตถุที่เป็นโลหะเป็นองค์ประกอบที่เหมาะจะนำมาใช้ได้แก่ เครื่องแก้วที่ทนต่อความร้อน เช่น ไพเร็กซ์ คอร์นนิ่งแวร์ เครื่องเคลือบเซรามิก และเครื่องปั้นดินเผา

4. ภาชนะกระดาษ ใช้ได้กับอาหารที่ใช้ความร้อนไม่มาก เช่น การอุ่นอาหาร อาหารที่ใช้เวลาทำให้สุกสั้นมากหรืออาหารที่ไม่ค่อยมัน ไม่มีน้ำตาลหรือน้ำ ภาชนะกระดาษ เช่น กระดาษเช็ดปาก กระดาษเช็ดมือ จานกระดาษ ถ้วยกระดาษ กล่องกระดาษต่างๆ ล้วนเป็นภาชนะที่ใช้ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่ควรหลีกเลี่ยงกระดาษไข เพราะความร้อนจะทำให้ไขที่เคลือบไว้ละลายและซึมเข้าไปในอาหารได้ ส่วนกระดาษที่นำกลับมาหลอมใช้ใหม่ไม่ควรนำมาใช้เช่น กระดาษสีน้ำตาลเพราะมีส่วนผสมที่ไม่บริสุทธิ์อาจก่อให้เกิดประกายไฟได้

5. ภาชนะพลาสติก ประเภทถุงพลาสติกที่ทนความร้อนสามารถใช้กับไมโครเวฟได้ดี ไม่ควรใช้ถุงพลาสติกธรรมดาเพราะจะไม่สามารถทนความร้อนของอาหารได้ ไม่ควรใช้ภาชนะพลาสติกกับอาหารที่มันมากหรือประกอบด้วยน้ำตาลในปริมาณสูง เพราะอาจจะทำให้ร้อนจัดมากเกินไปอาจทำให้ถุงเสียรูปได้

6. ภาชนะโลหะ การประกอบอาหารด้วยตู้ไมโครเวฟควรหลีกเลี่ยงภาชนะที่เป็นโลหะ เพราะคลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนกลับหมดเมื่อกระทบกับโลหะ และอาจเกิดประกายไฟได้

ในปัจจุบัน มีผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคหลายชนิดที่มีการปรับปรุงเพื่อให้สามารถทำให้สุกหรืออุ่นด้วยเตาอบไมโครเวฟได้ง่าย โดยอาศัยคุณสมบัติของภาชนะบรรจุ เช่น ป๊อบคอร์น พิซซ่า แฮมเบอร์เกอร์ และเฟรนช์ฟราย ภาชนะบรรจุที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. Transmit ได้แก่ แก้ว พลาสติก และถุงกระดาษ ซึ่งเป็นพวกที่ยอมให้พลังงานผ่านได้ และให้ความร้อนโดยตรงแก่อาหาร

2. Suscepter ได้แก่ โลหะที่เคลือบโพลีเอสเทอร์ สามารถเปลี่ยนจากพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อนทำให้อาหารกรอบ และเป็นสีน้ำตาล

3. Reflect microwave ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ ในอดีตจะมีข้อห้ามไม่ให้ใช้ภาชนะที่เป็นโลหะทั้งนี้ก็เพราะจะทำให้เกิดความร้อนภายในเตาไมโครเวฟสูง หรืออาจเกิดประกายไฟ การเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้ไมโครเวฟเกิดความเสียหายมีอายุการใช้งานที่สั้นลง แต่ในปัจจุบันการพัฒนาเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ผลิตแม็กนิตรอน โดยเปลี่ยนจากหลอดแก้วไปเป็นทำจากเซรามิคและโลหะซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูง และสามารถเปิดไมโครเวฟใช้งานได้ติดต่อกันได้นานถึง 350 ชั่วโมง ในกรณีนี้จึงสามารถใช้ภาชนะที่ทำจากโลหะได้ ในปัจจุบัน aluminium foil ได้รับความนิยมมากเพราะมีข้อดีคือ ช่วยให้อาหารสุกสม่ำเสมอ และไม่มีผลต่อคุณภาพอาหาร สามารถลดขนาดหรือขยายขนาดได้ตามต้องการ ไม่ละลายหรือเป็นเถ้าเพราะสามารถทนความร้อนและความเย็นได้ในช่วง -100 ถึง 400 องศาเซลเซียส (สันติ, 2534)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการใช้ไมโครเวฟ

Decareau (1985) พบว่า การใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งพาสต้าจะใช้เวลาเพียง 90 นาที เทียบกับวิธีอื่นที่ใช้เวลานานถึง 8 ชั่วโมง ปริมาณแบคทีเรียน้อยลงกว่า 15 เท่า ลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 20-25 และไม่เกิดการแข็งตัวของผิวนอก การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งที่ความดันต่ำจะทำได้เร็วกว่าเพราะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมากกว่า

Matrid *et al.* (1998) ศึกษาอัตราการเกิดเจลของแป้ง 3 ชนิดคือ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และแป้งสาลี โดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 15-30 วินาที พบว่า แป้งข้าวโพดมีอัตราการเกิดเจลที่ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งสาลี แต่ถึงอย่างไรอัตราการเกิดเจลของแป้งก็ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสม และระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วนไมโครเวฟ

Miller และ Hoseney (1997) นำขนมปังที่หันเป็นแผ่นหนา 20 มิลลิเมตร มาทำการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ระดับสูงสุด (750 w) นาน 20 30 และ 40 วินาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นนาน 4 นาที เพื่อให้ความชื้นกระจายตัวทั่วทั้งแผ่น และนำขนมปังที่มีขนาดเท่ากันมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส นาน 3 5 และ 11 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็นนาน 5 นาที เพื่อให้ความชื้นเท่ากับขนมปังที่อบด้วยไมโครเวฟ จากนั้นนำขนมปังทั้งสองมาวัดค่าความเหนียวเปรียบเทียบกัน พบว่า ขนมปังที่อบด้วยไมโครเวฟนาน 40 วินาที มีความเหนียวสูงสุด คือต้องใช้แรงในการตัดขนมปัง 997 กรัม ขณะที่ขนมปังที่อบด้วยตู้อบลมร้อนนาน 11 นาที ใช้แรงในการตัดเพียง 466 กรัม

Funebo *et al.* (2002) ศึกษาผลของการใช้เอธานอลร้อยละ 95 และการแช่แข็งแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสก่อนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ พบว่า การใช้เอธานอลร้อยละ 95 ช่วยเพิ่มการดูดคืนน้ำของแอปเปิ้ล ส่วนการแช่แข็งแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสก่อนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้นช่วยให้การกำจัดน้ำทำได้ดีมากขึ้น และการดูดคืนน้ำก็ทำได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับแอปเปิลที่ทำแห้งโดยไม่ผ่านการแช่แข็งมาก่อน

Ahrne *et al.*(2003) ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ ต่อคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของแอปเปิ้ล และมันฝรั่งที่ทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ พบว่า แอปเปิ้ลที่ผ่านการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีเนื้อสัมผัสดีที่สุด และดีกว่าเมื่อเทียบกับแอปเปิ้ลที่ทำแห้งโดยไม่ผ่านการแช่สารละลายใดๆ แต่การแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการทำแห้งไม่มีผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับมันฝรั่ง ทั้งนี้การกระจายตัวของน้ำระหว่างการทำแห้งขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อ ผัก-ผลไม้ อุณหภูมิในการทำแห้ง และลักษณะของคลอไรด์ที่ใช้

Liu *et al.* (2005) ทำการศึกษาการกระจายตัวของพลังงาน และอุณหภูมิในระหว่างการใช้ไมโครเวฟละลายอาหารแช่แข็ง โดยใช้สมการของ Maxwell และกฎของ Lembert พบว่า คุณสมบัติในการนำ และต้านทานความร้อนของอาหารมีผลต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ และการกระจายตัวของอุณหภูมิในระหว่างการละลายอาหารแช่แข็ง

Fu *et al.* (2005) พบว่า การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งแป้งมันสำปะหลังในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตแป้งนั้น การใช้ระยะเวลาและระดับพลังงานที่ต่ำจะช่วยให้แป้งมัน-สำปะหลังที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ระดับพลังงานที่เหมาะสมคือ 119-143 W และยังพบอีกว่าในการใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งแป้งมันสำปะหลังในขั้นตอนสุดท้ายนี้ ใช้เวลาน้อยกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนถึงร้อยละ 50-75

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved