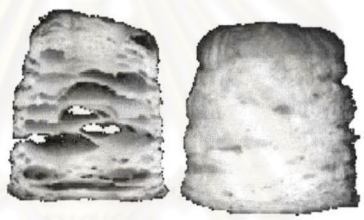
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 พัฟเพสตรี

พัฟเพสตรี เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ขึ้นพองด้วยไอน้ำ มีลักษณะเป็นโครงสร้างของแผ่นบางเรียงชั้น พอง และ กรอบ (รูปที่ 2.1) โดยทั่วไปแล้วพัฟเพสตรีสามารถนำมาดัดแปลงใส่ไส้คาว - หวาน ไส้ผลไม้ หรือ ทำรูปร่างอื่นได้เป็นผลิตภัณฑ์อีกหลายชนิด สำหรับคุณภาพของพัฟเพสตรีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและวิธีการผลิต โดยพัฟเพสตรีที่ดีต้องมีปริมาตรจำเพาะและค่าการยกตัวสูง ชั้นพองสม่ำเสมอ กรอบ ไม่มีไขมันเยิ้มในระหว่างชั้น ผิวด้านนอกมีสีน้ำตาลทองไม่เหนียวในขณะเคี้ยว (Doerry, 1998)



รูปที่ 2.1 พัฟเพสตรี
ที่มา: Morgenstern และ Newberry (1998)

2.1.1 ส่วนผสมและหน้าที่ของส่วนผสม

- <u>แป้งสาลี</u> ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ควรมีปริมาณโปรตีน 11.5 - 12.5% และ ปริมาณเถ้าไม่ควรเกิน 0.5%โดยน้ำหนัก (Doerry, 1998) เพื่อให้ได้โครงสร้างกลูเตนที่แข็งแรงทนต่อการพับ และ รีดให้เป็นแผ่นได้ แต่ถ้าปริมาณโปรตีนสูงเกินไปทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างกรดอะมิโนภายในโด (dough) เช่น พันธะไดซัลไฟด์ พันธะไฮโดรเจน จำนวนมาก โดที่ได้จึงมีแนวโน้มหดตัวและต้องใช้แรงมากในขณะรีดโดออกให้เป็นแผ่นบาง ซึ่งอาจเป็นผลให้โดขาดได้ ถ้าปริมาณเถ้าสูงแสดงว่ามีเปลือกหรือรำปนอยู่มากจึงส่งผลให้การยืด (extensibility) ของโดในขณะรีดลดลง (Sultan , 1989)

- <u>Dough fat</u> คือ ไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโด เช่น เนยขาว (shortening) และ มาร์การีน ควรมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 34 – 37°C ทำหน้าที่ให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มและเนียนเนื่องจาก dough fat ถูกดูดซึมบนผิวหน้าของกลูเตน โดยทั่วไปใช้ dough fat ประมาณ 20% โดยน้ำหนักของแป้งสาลี บางครั้งอาจใช้เนยสดแทนเพื่อเพิ่มกลิ่นและรสชาติ (Sultan, 1989)

- น้ำ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายส่วนผสมอื่น เช่น น้ำตาล และ เกลือ นอกจากนี้ยังแทรกตัวอยู่ในกลูเตนแล้วทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง ซึ่งต้องใช้ปริมาณน้ำอย่างน้อย 30% โดยน้ำหนักของแป้งสาลี (Thacker, 1997) Telloke (1991) รายงานว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจาก 52.5 เป็น 62.5% โดยน้ำหนักของแป้งสาลี ช่วยให้โดทนต่อการรีดมากขึ้นแต่ไม่มีผลต่อปริมาตรและความสูงจำเพาะของผลิตภัณฑ์หลังอบ

- กรด ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของโครงสร้างกลูเตน จึงเป็นผลให้ปริมาตรและความสูงจำเพาะของผลิตภัณฑ์หลังอบเพิ่มขึ้น แต่การเติมกรดมากเกินไปก็ทำให้ผลิตภัณฑ์หดตัวเช่นกัน โดยทั่วไปนิยมใช้กรดทาร์ทาริก หรือ น้ำมะนาว Doerry (1998) แนะนำว่าที่ pH ของโด เท่ากับ 4.2 ทำให้พัฟเพสตรีมีปริมาตรและความสูงจำเพาะของผลิตภัณฑ์หลังอบมากกว่าที่ pH 5.8 แต่ในขณะที่ Sultan (1989) รายงานว่า การลดค่า pH ของโดด้วยกรด มีผลต่อการขึ้นพองของพัฟเพสตรีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

- Roll-in fat คือ ไขมันซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นไขมัน หรือ laminating fat เช่น มาร์การีน เนย เป็นต้น ซึ่งควรมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 40 – 44°C ถ้าจุดหลอมเหลวสูงเกินไปทำให้เกิดไขบนลิ้นในขณะรับประทาน แต่ถ้าจุดหลอมเหลวต่ำทำให้ไขมันหลอมในขณะรีด สำหรับปริมาณ roll-in fat ที่ใช้ ประมาณ 50 - 100% โดยน้ำหนักของโด ซึ่งปริมาณที่ใช้จะมีผลต่อความหนาของชั้นไขมันและจำนวนชั้นที่พับ โดยถ้าปริมาณไขมันที่ใช้มากขึ้นจะทำให้สามารถพับโดได้หลายครั้ง จึงเป็นผลให้ปริมาตรและความสูงจำเพาะของผลิตภัณฑ์หลังอบเพิ่ม (Doerry, 1998) Okutomi (1992) ได้พัฒนา roll–in fat และพบว่าควรประกอบด้วย ไขมันซึ่งมีผลึกอยู่ในรูป β' หรือ intermediated ที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 μm ให้มีปริมาณมากกว่า 30% ของผลึกไขมันทั้งหมด เนื่องจากผลึกที่มีขนาดเล็กเกินไปทำให้ชั้นของโดเชื่อมติดกันในระหว่างรีด แต่ถ้าผลึกไขมันใหญ่เกินไปก็ทำให้ชั้นของโดขาดเช่นกัน Gassenmeier และ Schieberle (1994) รายงานว่า พัฟเพสตรีที่ใช้เนยเป็น roll-in fat ได้รับการยอมรับในด้านกลิ่นมากกว่าการใช้มาร์การีน เนื่องจากในพัฟเพสตรีที่ใช้เนยจะมีค่า odour activity values ของ δ - decalactone สูง ซึ่งเป็นกลิ่นหอมที่พบในเนย แต่ในขณะที่พัฟเพสตรีที่ใช้มาร์การีนจะมีค่า odour activity values ของ 4,5 – epoxy - (E) – 2 - decenal สูง ซึ่งเป็นกลิ่นโลหะที่เกิดจากปฏิกิริยา peroxidation ของ linoleic acid ในมาร์การีน

2.1.2 วิธีการผลิตพัฟเพสตรีโด

ทำโดยผสมส่วนผสมหลักคือ แป้งสาลี dough fat น้ำ และ ส่วนผสมรอง เช่น น้ำตาล เกลือ กรด ซึ่งอาจเติมหรือไม่ก็ได้ ผสมในเครื่องผสม ด้วยแรงเค้นและแรงเฉือนจากการผสมทำให้น้ำซึมเข้าไปอยู่ระหว่างเม็ดแป้ง หลังจากนั้นโปรตีน gliadin และ glutenin จะ

รวมตัวกันโดยมีน้ำเป็นตัวเชื่อมได้เป็นโครงสร้างของกลูเตนเรียกส่วนนี้ว่า โด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) ก้อนโดที่ได้นี้มีความยืดหยุ่นและความหนืดข้นร่วมกัน ซึ่งลักษณะทาง rheological ของพัฟเพสตรีโดที่ดีควรจะสามารถรีดเป็นแผ่นได้ง่ายและไม่หดกลับ (Doerry ,1998) หลังจากนั้นนำ roll-in fat วางบนแผ่นโด แล้วจึงห่อ roll-in fat ด้วยโดซึ่งมี 3 วิธี คือ แบบอังกฤษ ฝรั่งเศส และสก็อต จากนั้นจึงพับและรีดเพื่อให้เกิดเป็นชั้นของโดสลับกับชั้นของไขมันเรียกส่วนนี้ว่า laminated dough หรือ เพสตรีโด (Thacker, 1997) วิธีการพับและจำนวนครั้งที่พับมีผลต่อจำนวนชั้นและความหนาของชั้นโดและไขมัน ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะของพัฟเพสตรีหลังอบ โดยจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรจำเพาะของพัฟเพสตรีเพิ่ม แต่ถ้าจำนวนชั้นมากเกินไปจะทำให้แต่ละชั้นของโดและไขมันบางจนเชื่อมติดกัน ปริมาตรจำเพาะของพัฟเพสตรีจึงลดลง พัฟเพสตรีโดที่เตรียมได้นี้สามารถนำไปตัดขึ้นรูปและอบทันทีหรืออาจเก็บที่ภาวะแช่เย็น แช่แข็ง เพื่อรอการอบต่อไปก็ได้

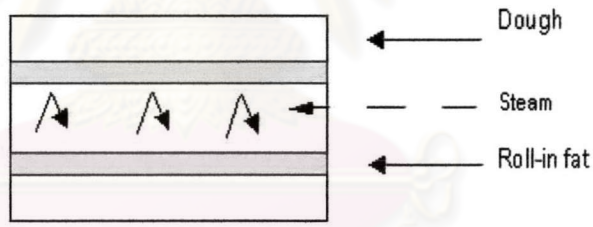
Gerrard และคณะ (2000) แนะนำว่าพัฟเพสตรีโดที่เก็บที่อุณหภูมิ –18°C ควรเติมเอนไซม์ transglutaminase 5000 ppm ต่อน้ำหนักแป้งสาลี เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกลูเตนในโดให้ทนต่อการถูกทำลายจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บ จึงทำให้สามารถเก็บพัฟเพสตรีโดได้นานถึง 3 เดือน โดยผลิตภัณฑ์หลังอบยังมีปริมาตรจำเพาะและการยกตัวใกล้เคียงกับโดที่พึ่งเตรียม ส่วนพัฟเพสตรีโดที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 – 5°C สามารถเก็บได้เพียง 2 - 3 วัน เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนสีและเกิดจุดดำจากปฏิกิริยา oxidation ของเอนไซม์กับสาร polyphenol ที่อยู่ในแป้งที่มีองค์ประกอบจากส่วนเปลือกซึ่งปนมาในขั้นตอนการโม่แป้ง การลดปฏิกิริยานี้ทำโดยลดปริมาณหรือการสัมผัสกับออกซิเจน หรือ เติม ascorbic acid ซึ่งทำหน้าที่เป็น reducing agent เป็นต้น Leung และคณะ (1984) พบว่าเมื่อให้ความร้อนกับแป้งสาลีที่อุณหภูมิ 176.7°C นาน 10 นาที ช่วยลดปริมาณเอนไซม์ lipoxygenase และ amylase ได้ 75 และ 40% ร่วมกับการลดค่า a_w ของพัฟเพสตรีโดด้วยซอร์บิทอลจาก 0.98 เป็น 0.90 ช่วยทำให้พัฟเพสตรีโดสามารถเก็บที่อุณหภูมิ 4 – 5°C ได้นานถึง 75 วัน โดยผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และไม่พบกลิ่นหืน แต่ปริมาตรจำเพาะและการยกตัวของผลิตภัณฑ์หลังอบจะลดลง 40% เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หลังอบที่ได้จากพัฟเพสตรีโดซึ่งเก็บในภาวะแช่แข็งที่ระยะเวลาเดียวกัน

2.1.3 การอบ

การอบเป็นหน่วยปฏิบัติการที่ใช้ลมร้อน หรือ อากาศร้อน โดยอาหารจะได้รับความร้อนจาก 3 ทาง คือ การแผ่รังสีจากผนังเตาอบ การพาความร้อนจากอากาศที่หมุนเวียน และการนำความร้อนผ่านถาด ในระหว่างการอบ ความชื้นที่ผิวหน้าระเหยทำให้ความชื้นจากด้านในเคลื่อนที่ออกมายังผิวของอาหารด้วยแรง capillary และ การแพร่ ด้วยอัตราเร็วคงที่ เรียกช่วงนี้ว่าช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period) ต่อมาเมื่อการเคลื่อนที่ด้วยแรง capillary

สิ้นสุด น้ำจะเคลื่อนที่ด้วยวิธีการแพร่ซึ่งมีอัตราการเคลื่อนที่ช้าเพียงวิธีเดียว จึงทำให้การสูญเสียความชื้นที่ผิวสูงกว่าการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายใน เรียกช่วงนี้ว่าช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) ทำให้ที่ผิวของอาหารแห้งและเกิดเปลือกแข็งด้านนอกขึ้น (Van Arsdel and Copley, 1963)

สำหรับผลิตภัณฑ์พัฟเพสตรีนั้น ความร้อนจากเตาอบทั่วไปทำให้น้ำในโดกลายเป็นไอ จากนั้นไอน้ำส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนแต่การเคลื่อนที่นี้จะถูกขัดขวางจากชั้นไขมันของ roll-in fat ทำให้ความดันไอในชั้นของโดเพิ่มขึ้น ชั้นโดแต่ละชั้นจึงยกตัวขึ้นและแยกออกจากกัน ผลิตภัณฑ์จึงพองตัวขึ้น (รูปที่ 2.2) ในขณะเดียวกันชั้นของไขมันแต่ละชั้นก็จะหลอมเหลวและถูกดูดซึมเข้าไปในโด จนกระทั่งระยะเวลาการอบนานขึ้นกลูเตนเกิด denaturation และ coagulation หลังจากนั้นเมื่อความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงเนื่องจากน้ำระเหยออกไปก็จะได้โครงสร้างของพัฟเพสตรีที่แข็งแรงและคงที่ (Kazier and Dyer, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Telloke (1991) ที่ได้ศึกษาการขึ้นพองของพัฟเพสตรีโดยวิธีการ microscopic พบว่าความหนาของโดแต่ละชั้นแทบจะไม่เพิ่มขึ้นในขณะอบ จึงสนับสนุนว่าการขึ้นพองของพัฟเพสตรีส่วนใหญ่มาจากการแพร่ของไอน้ำในชั้นโดทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้น แต่ในทางปฏิบัติแต่ละชั้นจะไม่แยกออกจากกันอย่างถาวร และ ยังอาจเกิดการเชื่อมกันระหว่างชั้นได้ด้วย



รูปที่ 2.2 การขึ้นพองของพัฟเพสตรี
ที่มา: Kazier และ Dyer (1995)

Telloke (1991) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความชื้นในระหว่างอบและความสูงจำเพาะของผลิตภัณฑ์พัฟเพสตรี ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 10 นาที พบว่าความสูงจำเพาะของพัฟเพสตรีเพิ่มขึ้นมากในช่วง 5 นาทีแรกของการอบ หลังจากนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ความชื้นยังคงลดลงเรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาอบ ซึ่งการสูญเสียความชื้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง มีโครงสร้างแข็งแรง และมีความกรอบเพิ่มขึ้น โดย Guy (1995) ได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความกรอบและความชื้นของผลิตภัณฑ์ พบว่าเมื่ออบพัฟเพสตรีเป็นระยะเวลานานส่งผลให้ความชื้นลดลง แต่ glass transition temperature (Tg) เพิ่มขึ้น และหลังจากที่ผลิตภัณฑ์

ออกจากเตาอบทั่วไปจนอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง พบว่าผลิตภัณฑ์จะอยู่ในภาวะ glassy state ซึ่งมีลักษณะกรอบ เปราะ

เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้อบมีความสำคัญต่อปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้พัฟเพสตรีหลังอบมีปริมาตรจำเพาะและการยกตัวสูง โครงสร้างพองและ ชั้นของแป้งแต่ละชั้นห่างกันสม่ำเสมอ แต่ที่อุณหภูมิอบสูงเกินไปจะทำให้โปรตีนที่ผิวด้านบนของโดเสียสภาพและแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ด้านในยังไม่สุก พัฟจึงไม่สามารถขยายตัวได้อีก สำหรับที่อุณหภูมิอบต่ำเกินไป ทำให้น้ำกลายเป็นไอช้าและมีปริมาณน้อย แรงดันไอที่จะยกให้ชั้นของโดขึ้นพองจึงต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดเล็กและไม่ขึ้นพอง (Doerry, 1998) โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่ใช้อบส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 200 – 250°C

คุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์พัฟเพสตรีนอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่อบแล้ว ยังขึ้นกับวัตถุดิบและวิธีการผลิตอีกด้วย Sultan (1989) รายงานว่าพัฟเพสตรีที่มีปริมาตรจำเพาะต่ำ อาจเกิดจากแป้งสาลีที่ใช้มีปริมาณโปรตีนต่ำ โครงสร้างของกลูเตนจึงไม่แข็งแรงพอที่จะรองรับน้ำหนักของไขมันได้ ส่วน Kazier และ Dyer (1995) กล่าวว่า ถ้าใช้ roll-in fat ที่ทำจาก hydrogenated shortening ที่มีความชื้นต่ำ ทำให้แรงดันของไอน้ำที่เกิดขึ้นในขณะอบน้อย รวมทั้งการรีดโดให้บางและพับมากเกินไปทำให้ชั้นของโดรวมกัน หรือ น้ำหนักของไส้ที่มากเกินไป ก็มีส่วนทำให้การขึ้นพองลดลง ปริมาตรจำเพาะต่ำเช่นกัน

Cauvain และ Young (2000) ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของ macro-molecule ในโดของขนมปังระหว่างการอบ พบว่า สตาร์ชเริ่มเกิดการพองตัวที่อุณหภูมิประมาณ 45°C และเกิดเจลาทิไนซ์ที่อุณหภูมิ 60°C ซึ่งในระหว่างการเกิดเจลาทิไนซ์ สตาร์ชจะดึงน้ำจากกลูเตนทำให้โปรตีนเสียสภาพจากเดิมเคยยืดหยุ่นกลับแข็ง แล้วเกิดเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ โดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในระบบ เช่น สตาร์ชในพัฟเพสตรีเกิดการพองตัวและเจลาทิไนซ์น้อยกว่าในขนมปังเนื่องจากประกอบด้วยน้ำในระบบน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Derby และคณะ (1975) ที่ศึกษาการเกิดเจลาทิไนซ์ของสตาร์ชในคุ้กกี้ และ พาย ซึ่งมีน้ำอยู่ในส่วนผสมเพียง 11 และ 19% โดยน้ำหนัก พบว่าเม็ดสตาร์ชยังคงมี birefringence อยู่ถึง 50% แสดงว่าสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย ในขณะที่สตาร์ชที่แยกได้จากขนมปังเกิดการเปลี่ยนรูปร่างและไม่พบ birefringence (Lineback and Wongsrikasem, 1980) นอกจากนี้ปริมาณการเกิดเจลาทิไนซ์ของสตาร์ชยังส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังอบด้วย Guy (1995) รายงานว่าส่วนของพัฟเพสตรีที่ติดกับไส้ สตาร์ชส่วนนี้จะได้รับความชื้นจากไส้ทำให้เกิดเจลาทิไนซ์ ทำให้มีเนื้อสัมผัสนุ่ม ไม่กรอบ และ เกิดสารสีน้ำตาลน้อย ในขณะที่ส่วนของพัฟเพสตรีที่ผิวด้านบนจะเกิดเจลาทิไนซ์น้อยกว่า จึงมีเนื้อสัมผัสกรอบ แห้ง และ เกิดสารสีน้ำตาลมาก

นอกจากนี้อุณหภูมิและระยะเวลาอบก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ macro-molecule ชนิดอื่นในผลิตภัณฑ์ขนมอบเช่นกัน Giovanelli , Peri และ Borri (1997) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิของขนมอบสูงกว่า 80°C ทำให้โปรตีนละลายน้ำได้น้อยลง เนื่องจากโปรตีนเสียสภาพ ในขณะเดียวกันโปรตีนยังเกิดพันธะกับสตาร์ช ซึ่งพันธะที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เนื้อในของผลิตภัณฑ์แข็งมากขึ้น โดยปกติอุณหภูมิที่อบมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่ผิวมากกว่าบริเวณตรงกลางของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Czuchajowska, Pomeranz และ Jeffers (1989) ที่พบว่าบริเวณส่วนขอบและเปลือกของขนมปังจะมีความชื้นและค่า a_w ต่ำกว่าส่วนตรงกลาง และเมื่อแปรระยะเวลาอบขนมปังเป็น 21 24 และ 27 นาที พบว่าที่ระยะเวลาอบ 27 นาที จะทำให้ขนมปังมีความชื้นและค่า a_w ต่ำที่สุด

นอกจากการอบจะมีอิทธิพลต่อสมบัติด้านต่างๆ ของพัฟเพสตรีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังพบว่าการอบก็มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของผลิตภัณฑ์อีกด้วย โดยสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเกิดจาก 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยา Maillard และ caramellization แต่ส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยา Maillard มากกว่า และ เริ่มเกิดปฏิกิริยานี้เมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงถึง 150°C โดยมีน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน เป็นสารตั้งต้น (Cauvain and Young, 2000) ซึ่งสีที่ผิวของพัฟเพสตรีควรจะมีสีน้ำตาลทอง

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงของพัฟเพสตรีในระหว่างการเก็บ

เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง เนื่องจาก ส่วนพัฟเพสตรีมีค่า a_w ต่ำสามารถดูดซับความชื้นทั้งจากอากาศและส่วนไส้ และ ยังอาจเกิดสีเทาที่เปลือก เนื่องจากไขมันจากส่วน roll-in fat เกิดผลึกด้วย (Doerry,1998)

Butcher และ Hodge (1984) เสนอวิธีลดการเกิด moisture migration ในพายที่ไส้มีความชื้นสูง ซึ่งทำโดยเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ และ เพิ่มระยะเวลาอบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งมากขึ้น แต่การปรับค่า a_w โดยใช้ เกลือ และ น้ำตาล อาจทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับ ต่อมา Robb (1991) ศึกษาการเกิด moisture migration ในพายไส้แอปเปิ้ล พบว่าเมื่อลดค่า a_w ของไส้แอปเปิ้ลจาก 0.945 เป็น 0.816 แล้วผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ของไส้ต่ำจะมีค่า hardness สูงที่สุด เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20°C นาน 7 วัน สำหรับการเติม hydrocolloids ในไส้ผลไม้ก็สามารถลด moisture migration ได้เช่นกัน โดยทั่วไปนิยมใช้ guar gum, pregelatinized waxy maize starch และ carboxymethyl cellulose ซึ่งควรจะตั้งไส้ผลไม้ที่เตรียมไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 6 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้เพื่อให้สารเหล่านี้เกิด hydration ได้เต็มที่ การใช้ edible film วางกั้นระหว่างส่วนไส้และส่วนพัฟเพสตรีก็สามารถลดการเกิด moisture migration ในผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน ซึ่ง film ที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติรับประทานได้ ไม่มีผลต่อ

ลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติ จึงนิยมนำไขมันมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต edible film เพราะมีคุณสมบัติเป็น hydrophobic ที่น่าจะป้องกันปัญหาดังกล่าวนี้ได้ จากการทดลองของ Robb (1991) ได้นำ hardened palm kernel oil มาทาบนผิวของพายที่ยังไม่ได้อบ แล้วลดอุณหภูมิของระบบเพื่อให้ไขมันอยู่ในสถานะของแข็ง หลังจากนั้นจึงใส่ไส้แอปเปิ้ล แล้วนำไปอบจนสุก พบว่าพายไส้แอปเปิ้ลที่ผลิตได้ยังคงเกิดปัญหา moisture migration เนื่องจาก hardened palm kernel oil จะหลอมเหลวในระหว่างอบและเคลื่อนที่เข้าไปรวมอยู่ในส่วนพัฟเพสตรีและไส้ ในขณะที่ Van der Graaf (1992) แนะนำให้ใช้ acetylated monoglycerides ซึ่งทำหน้าที่เป็น edible film วางที่ผิวด้านบนของพัฟเพสตรีที่ผ่านการอบให้สุกแล้ว หลังจากนั้นจึงเติมไส้ แล้วนำไปผ่านการแช่แข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –10 ^{o}C เมื่อนำมาทำให้ร้อนด้วยไมโครเวฟที่มีกำลังไฟฟ้า 600 watt เป็นระยะเวลานาน 3 นาที พบว่าผลิตภัณฑ์ยังคงมีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่พึ่งออกจากเตาอบทั่วไป

การเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์พบว่าเกิดได้จากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ตั้งแต่ในวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิต และ การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังอบ ซึ่ง Institute of Food Science and Technology (IFST) ในประเทศอังกฤษ ได้กำหนดปริมาณของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เค้กและเพสตรี ซึ่งผลิตตามหลัก Good Manufacturing Practice (GMP) ดังนี้ คือ *Staphylococcus aureus* , Enterobacteriaceae, yeast และ mold ต้องไม่เกิน 1×10^{2} ,1×10^{3}, 1×10^{2} และ 1×10^{2} CFU/g ตามลำดับ (Legan, 1999)

2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมอบแช่แข็ง

ผลิตภัณฑ์ขนมอบ มีหลายชนิด ได้แก่ ขนมปัง เค้ก เพสตรี ผลิตภัณฑ์เหล่านี้โดยทั่วไปจะมีคุณภาพดีในเวลาเพียง 2 - 3 ชั่วโมงหลังจากที่ผลิตภัณฑ์ออกจากเตาอบแบบดั้งเดิม การนำวิธีการแช่แข็งมาใช้ก็เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บนานมากขึ้น ซึ่งการแช่แข็งสามารถทำได้ 2 แบบ คือ ในรูปของผลิตภัณฑ์ดิบ และ ผลิตภัณฑ์ที่อบสุกแล้ว สำหรับผลิตภัณฑ์ดิบจะแช่แข็งในรูปของโด โดยอาจจะมีการตัดแต่งทำรูปร่างเรียบร้อยแล้วก็ได้ ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือผลิตภัณฑ์ที่อบสุกเรียบร้อยแล้ว จึงนำมาแช่แข็ง และเมื่อจะรับประทานต้องทำให้ร้อนอีกครั้ง

การแช่แข็งเป็นวิธีที่ใช้เพื่อถนอมอาหารระยะยาว เมื่อปฏิบัติถูกต้องตั้งแต่การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนแช่แข็ง วิธีแช่แข็ง การเก็บรักษา และ การคืนรูปแล้ว วิธีนี้จะสามารถรักษากลิ่น รส สี และ คุณค่าทางอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนด้านเนื้อสัมผัสของอาหารจะรักษาไว้ได้ปานกลาง ขั้นตอนการแช่แข็งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การเกิดนิวเคลียส (nucleation phase)

ในช่วงแรก ซึ่งเป็นช่วงที่โมเลกุลของน้ำรวมตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เกิดเป็นผลึกเล็ก ส่วนช่วงที่สอง คือ ช่วงการเติบโตของนิวเคลียส (crystal growth phase) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มขนาดผลึก โดยปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเพิ่มขนาดของผลึก คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอาหาร ดังนั้นถ้าอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอาหารสูงจะทำให้ได้ผลึกเล็กๆ จำนวนมากและกระจายตัวทั่วทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพดี ส่วนการแช่แข็งแบบช้าจะเกิดผลึกที่มีขนาดใหญ่ที่บริเวณภายนอกเซลล์เป็นส่วนมาก ทำให้เซลล์หดตัวลง แล้วผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพด้อยลง (Poulsen, 1977)

ปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ขนมอบแช่แข็ง เช่น การเกิด staling ในขนมปังที่ผ่านการแช่แข็งเนื่องจากสตาร์ชเกิด retrogradation ซึ่ง Cauvain (1998) ได้แนะนำให้เพิ่มอัตราเร็วในการแช่แข็ง และ เก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า Tg เนื่องจากที่อุณหภูมิประมาณ 4°C ผลิตภัณฑ์จะมีอัตราการเกิด staling สูงสุด และที่ส่วนขอบ (crust) ของขนมปังแช่แข็ง อาจหลุดแยกออกจากส่วนเนื้อขนมปัง (crumb) ได้เนื่องจาก ความชื้นที่บริเวณขอบและภายในแตกต่างกันจึงทำให้อัตราการแช่แข็งไม่เท่ากันเกิดความเครียด (stress) ขึ้นระหว่างรอยต่อของส่วนทั้งสอง (Cauvain, 1998) สำหรับปัญหาของครีมซึ่งใช้ตกแต่งผิวหน้าของขนมอบ พบว่า ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บจะทำลายโครงสร้างของครีม น้ำในส่วนครีมรวมตัวกันทำให้มีปริมาณและน้ำหนักมากจึงไหลลง ผลิตภัณฑ์ขนมอบนั้นจึงแฉะที่ผิว ซึ่งแก้ไขได้โดยใช้ stabilizer เช่น xanthan gum เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพของครีม (Ito and Hodge, 1985) ผลิตภัณฑ์แช่แข็งบางชนิด เช่น เอแคลร์ สามารถเก็บได้นานโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านรูปร่าง รสชาติ และ ลักษณะปรากฏ โดยต้องแช่แข็งทันทีหลังจากที่เติมไส้ในผลิตภัณฑ์เพื่อลดการดูดซับความชื้นของไส้โดยส่วนเปลือก และควบคุมอุณหภูมิที่เก็บรักษาให้ต่ำกว่า –10°F แต่ถ้าอุณหภูมิที่เก็บแปรปรวนอาจทำให้เกิด moisture migration ซึ่งเป็นผลให้ส่วนเปลือกหรือขอบเหนียว แฉะ สำหรับพิซซ่าก็พบปัญหาการเกิด moisture migration จากซอสมะเขือเทศด้านบนไปสู่ส่วนแป้งด้านล่างซึ่งแก้ไขได้โดยการพ่น shortening บนผิวของส่วนแป้ง (Cauvain ,1998) สำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุก่อนการแช่แข็ง สามารถลดการสูญเสียความชื้นของผลิตภัณฑ์และลดการเกิด freeze burn ที่บริเวณผิวได้ (Cauvain and Young, 2000)

2.3 การทำอาหารให้ร้อนด้วยไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ คือ พลังงานที่เกิดจากการแผ่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มี λ = 75 cm – 3 mm และ มีความถี่ของช่วงคลื่น 300 MHz - 300 GHz แต่สำหรับการนำมาใช้เพื่อให้พลังงานความร้อนในระบบอุตสาหกรรมและการใช้ในบ้านเรือน ได้กำหนดให้ใช้เพียงแค่ 2 ระดับความถี่คือ

915 และ 2450 MHz (สายสนม ประดิษฐดวง, 2540) คลื่นไมโครเวฟ เดินทางเป็นเส้นตรง ทะลุผ่านอากาศ แก้ว กระดาษ และ ถูกดูดซับได้ในสารประกอบที่มีสมบัติเป็น dielectric เมื่อวัตถุดูดซับคลื่นไมโครเวฟแล้วจะทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นในสารนั้น โดยสารที่ดูดซับคลื่นได้มาก คือ สารที่โมเลกุลภายในเป็นอิสระและเกิดการเคลื่อนที่ได้ง่าย เรียกสารที่มีคุณสมบัตินี้ว่ามี lossy หรือ lossiness สูง (Mudgett, 1982) การเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ เกิดได้ 2 แบบร่วมกัน คือ

- ionic polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า โดยแต่ละไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่จึงทำให้เกิดการเสียดสีกันขึ้นกับไอออนอื่นๆ แล้วพลังงานจลน์จะเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งจะกระจายไปสู่ส่วนอื่นต่อไป

- dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนจากสารประกอบที่มีขั้ว ได้แก่ น้ำ โดยเมื่อสารเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวก และ ลบจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบการเคลื่อนที่หมุนตัวไปมาจะเกิดอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้น

2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารที่ทำให้ร้อนด้วยไมโครเวฟ

- <u>อาหาร</u> ได้แก่ สมบัติ dielectric ซึ่งถูกกำหนดโดยค่า dielectric constant และ dielectric loss factor โดยค่า dielectric constant แสดงถึงความสามารถในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าของสาร และ dielectric loss factor เป็นค่าของพลังงานที่สูญเสียเพื่อเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งถ้าสารใดมี 2 ค่านี้สูง จะก่อให้เกิดพลังงานความร้อนได้มากกว่า (สายสนม ประดิษฐดวง, 2540) น้ำที่อยู่ในรูปอิสระ และ เกลือแร่ที่อยู่ในรูปแตกตัว จะสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีกว่าน้ำและเกลือแร่ที่อยู่ในรูปรวมกับสารอื่น (Mudgett, 1982) สำหรับอาหารที่เป็นชิ้นหนา และ มีขนาดใหญ่ ทำให้การดูดซับคลื่นเกิดขึ้นได้เฉพาะที่บริเวณผิว แล้วความร้อนจะเข้าสู่ด้านในด้วยการนำความร้อน ซึ่งต้องใช้เวลาในการทำให้ร้อนทั่วทั้งชิ้นนานกว่าอาหารที่มีขนาดเล็กและบาง

- <u>เตาไมโครเวฟ</u> ได้แก่ ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ โดยที่ความถี่ 915 MHz จะทะลุเข้าไปในชิ้นอาหารได้ลึกกว่าที่ 2450 MHz ในขณะที่ขนาดของเตามีผลต่อการสะท้อนของคลื่น ส่วน stirrer และ จานหมุนอาหารในเตาไมโครเวฟ จะช่วยกระจายคลื่น และ ทำให้อาหารได้รับคลื่นอย่างทั่วถึง (Datta and Anantheswaran, 2001)

ดังนั้นการทำอาหารแต่ละชนิดให้ร้อนด้วยไมโครเวฟจะมีระยะเวลาที่ใช้เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนไม่เท่ากัน Fakhouri และ Ramaswamy (1993) แนะนำว่าการทำอาหารแช่-

แข็ง ให้ร้อนด้วยไมโครเวฟ ควรให้อุณหภูมิสูงกว่า 70°C ทั่วทั้งผลิตภัณฑ์ก่อนรับประทาน เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ผู้บริโภครู้สึกว่าอาหารร้อน และ เพื่อความปลอดภัยทางจุลินทรีย์

2.3.2 ปัญหาที่พบในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบให้ร้อนด้วยไมโครเวฟ

ไมโครเวฟถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบทั้งเพื่ออบโดให้สุก และ เพื่ออุ่นให้ผลิตภัณฑ์ร้อนอีกครั้ง สำหรับการนำไมโครเวฟมาใช้เพื่ออบโดให้สุกยังต้องมีการศึกษา และพัฒนาทั้งด้านวัตถุดิบ สูตร และ วิธีการผลิต เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้อบด้วยไมโครเวฟสั้นจึงทำให้สตาร์ชเกิดเจลาทิไนซ์น้อย และ อากาศรอบๆ ผลิตภัณฑ์ในเตาไม่ร้อนพอที่จะทำให้เกิดสีน้ำตาลที่ผิว ส่วนการนำไมโครเวฟมาใช้เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนอีกครั้ง เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว คุณค่าทางอาหารเปลี่ยนแปลงน้อย ประหยัดพื้นที่มากกว่าการใช้เตาอบแบบดั้งเดิม แต่ปัญหาที่พบคือลักษณะเนื้อสัมผัสจะเปลี่ยนแปลงในผลิตภัณฑ์ขนมอบบางชนิด เช่น ขนมปัง พิซซ่า และ พัฟเพสตรี ดังนี้

การเกิด toughness ใน ขนมปัง และ พิซซ่า โดยผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะ rubbery และ leathery chewy ทำให้ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค Higo และ คณะ (1983) ได้อธิบายการเกิด toughness ว่า ในระหว่างทำให้ร้อนด้วยไมโครเวฟ อะไมโลสสามารถออกมาจากเม็ดสตาร์ชได้มากกว่าปกติเนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสถูกกระตุ้น ผลิตภัณฑ์จึงนิ่ม จากนั้นอะไมโลสจะเรียงตัวเป็นผลึกทำให้ผลิตภัณฑ์หลังให้ความร้อนมีเนื้อสัมผัสเหนียว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า amylose leaching ส่วน Rogers, Doescher และ Hoseney (1990) ได้อธิบายเพิ่มว่าปัญหา toughness ยังเกิดจากการ cross-linking ระหว่างโปรตีนในขนมปังอีกด้วย ซึ่งจำนวนพันธะที่เกิดขึ้นนี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับระยะเวลาที่ทำให้ร้อนด้วยไมโครเวฟ และนักวิจัยกลุ่มยังนี้ได้ทดลองเพื่อเปรียบเทียบลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่นำมาอุ่นให้ร้อนด้วยเตาไมโครเวฟและเตาอบแบบดั้งเดิม พบว่า ขนมปังหลังจากอุ่นให้ร้อนด้วยเตาไมโครเวฟเป็นเวลา 20 วินาที และอุ่นด้วยเตาอบแบบดั้งเดิม 3 นาที ทั้ง 2 แบบเกิดการสูญเสียความชื้น 7% เท่ากัน แต่ขนมปังที่อุ่นด้วยเตาอบไมโครเวฟจะมีเนื้อสัมผัสเหนียว ซึ่งการเติม emulsifier และ น้ำเพิ่มขึ้นจะช่วยลดการเกิด toughness ในขนมปังได้

การเกิด moisture migration ใน multicomponent food โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ไส้มีความชื้นสูงอยู่ตรงกลางและถูกห่อหุ้มด้วยส่วนที่แห้ง กรอบ เนื่องจากส่วนที่มีความชื้นสูงสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากและเกิดความร้อนได้เร็วกว่า โดยความร้อนส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอ แล้วไอจะเคลื่อนที่ไปสะสมอยู่ที่ผิวด้านนอก อีกทั้งอุณหภูมิของอากาศรอบๆ อาหารไม่สูงพอที่จะทำให้น้ำระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ความกรอบของผลิต-

ภัณฑ์จึงลดลง Datta และ Ni (2002) ได้นำคลื่นอินฟราเรด และอากาศร้อนมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ความชื้นที่ผิวระเหย ดังนั้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะยังคงแห้งและกรอบ

2.4 ความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นต่ำ

ความกรอบ (crispness) เป็นลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทธัญพืช และขนมขบเคี้ยวที่มีค่า a_w ต่ำ โดยความกรอบเป็นลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เกิดร่วมกันระหว่างการล้มเหลวทางกล (mechanical failure) และเสียงที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับแรงกัดหรือ กด (Peleg, 1998) Vincent (1998) ทดสอบความกรอบของอาหารแห้งด้วยเครื่อง Instron 4202 table top universal machine เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทาง พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะขรุขระ (jaggedness) โดยแรงที่ตกลงเกิดเนื่องจาก failure event และ ถ้าค่า a_w ของอาหารเพิ่มขึ้น กราฟที่ได้จะเรียบมากขึ้น ในขณะที่ Vickers และ Bourne (1976) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกรอบ และ เสียงที่เกิดขึ้น ด้วยวิธี acoustic sensation โดยบันทึกเสียงที่เกิดขึ้นในระหว่างการกัด และนำมาแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูป frequency spectra ในช่วงความถี่ 0 – 10 KHz และ amplitude – time pattern ซึ่งพบว่าข้อมูลที่อ่านได้จาก frequency spectra สามารถรายงานผลได้เพียงแค่ว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบ แต่ไม่สามารถบอกระดับความกรอบของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่ข้อมูลที่อ่านได้จาก amplitude – time pattern แสดงถึงเสียงที่เกิดจากเซลล์ถูกทำลายในระหว่างการกัด จึงสามารถบอกระดับความกรอบของผลิตภัณฑ์ และบอกความแตกต่างในด้านความกรอบของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้

ความกรอบมีความสัมพันธ์กับความชื้น และ ค่า a_w ภายในผลิตภัณฑ์ โดย Labuza (1968) เสนอว่าในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่แห้ง มีความชื้น และค่า a_w ต่ำ จะมีความกรอบมาก เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตจะแข็งแรงและอยู่ในลักษณะผลึก เมื่อเคี้ยวจึงต้องใช้แรงในการทำลายผลึกส่วนนี้ แต่เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้น น้ำจะทำลายพันธะของโมเลกุลเป็นผลให้ส่วนที่เป็นผลึกลดลง และน้ำยังทำหน้าที่ของ plasticizer จึงทำให้โครงสร้างเคลื่อนที่เมื่อได้รับแรงกัด ดังนั้น ผลิตภัณฑ์จึงเหนียว ไม่กรอบ ในขณะที่ Nelson และ Labuza (1993) อธิบายว่า ผลิตภัณฑ์ธัญพืชที่แห้ง จะอยู่ในภาวะ glassy state ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสเปราะและกรอบ เมื่อความชื้นหรืออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนไปอยู่ในภาวะ rubbery state จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนิ่ม และ เหนียว จากหลักการนี้สามารถนำมาใช้เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความกรอบ โดยการปรับสูตรผลิตภัณฑ์ เช่น เติมน้ำตาล ลด plasticizer เพื่อเพิ่มค่า Tg ให้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Nikolaidis และ Labuza (1996) ที่พบว่า เมื่อความชื้นของแครก-

เกอร์เพิ่มขึ้นจาก 3.14 เป็น 10.7% โดยน้ำหนักเปียก ทำให้ผลิตภัณฑ์จากที่อยู่ในภาวะ glassy state เปลี่ยนไปอยู่ในภาวะ rubbery state จึงเป็นผลให้ความกรอบของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่การทดลองนี้ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Li, Kloeppel และ Hsieh (1998) ซึ่งรายงานว่าผลิตภัณฑ์ corn cake ที่มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 2 % เป็น 9%โดยน้ำหนักแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงจากกรอบเป็นนิ่ม และ เหนียว ทั้งที่ผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ในสภาวะ glassy state ซึ่ง Li และ คณะ (1998) ได้สรุปว่า ทฤษฎีของ glass transition ไม่สามารถนำมาใช้เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสจากกรอบไปเป็นนิ่มของผลิตภัณฑ์ได้ Katz และ Labuza (1980) ได้ตรวจสอบโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากได้รับความชื้นด้วย scanning electron microscopy พบว่าเมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้น โครงสร้างของ pop corn จะยุบตัวลง แต่ในขณะที่โครงสร้างของมันฝรั่งทอด saltine และ puffed corn curl ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

2.5 เสาวรส

เสาวรส (passion fruit) เป็นพืชในสกุล (genus) *Passiflora* มีมากกว่า 400 สายพันธุ์ แต่ที่บริโภคได้มีประมาณ 50 - 60 สายพันธุ์ ที่นิยมทางการค้ามี 2 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ผลสีม่วงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Passiflora edulis* และ สายพันธุ์ผลสีเหลืองมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Passiflora edulis* ,var. *flavicarpa* (Luh, 1980) เสาวรสเป็นพืชที่ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรเพาะปลูกเนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่ายให้ผลตอบแทนเร็ว ผลผลิตต่อไร่สูงและต้องการการดูแลรักษาน้อย ด้านการตลาดพบว่ามีแนวโน้มที่ดีโดยเฉพาะการแปรรูปเป็นน้ำผลไม้และเครื่องดื่มชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ (ธงชัย เนมขุนทด,2531)

ผลเสาวรสจัดเป็นผลประเภทอวบน้ำ มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือรูปไข่ ภายในผลประกอบด้วย embryo sac ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ด (juicy arillus tissue) มีสีเหลืองปนส้มห่อหุ้มเมล็ด (seed) ซึ่งมีสีดำหรือสีน้ำตาลแก่มากมาย ส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ดมีรสเปรี้ยวจัด (Luh, 1980) (รูปที่ 2.3) การเก็บผลเสาวรสที่อุณหภูมิ 25°C สามารถเก็บได้นาน 1 - 2 สัปดาห์ แต่การเก็บผลเสาวรสที่อุณหภูมิต่ำพอเหมาะและมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะสามารถยืดอายุการเก็บได้นานกว่าปกติ เนื่องจากที่ภาวะนี้ช่วยชลออัตราการหายใจและกระบวนการเมตาบอลิซึมอื่นๆ ภายในผล และ ยังลดอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ อาภัสรา แสงรุ่งเรือง (2531) ศึกษาการเก็บรักษาเสาวรสพันธุ์ผลสีเหลือง พบว่า ผลเสาวรสที่สุกแล้ว เมื่อนำมาเก็บที่อุณหภูมิ 5°C สามารถเก็บได้นานกว่า 28 วัน โดย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และกรดลดลงเพียงเล็กน้อย

รูปที่ 2.3 ผลเสาวรสพันธุ์ผลสีเหลือง

เสาวรสพันธุ์ผลสีเหลือง สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขต อบอุ่นถึงร้อน เหมาะสำหรับการเพาะปลูกในประเทศไทย ผลที่สุกแล้วเปลือกมีสีเหลืองนวลเข้มผิวเป็นมัน เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.0 - 7.5 cm น้ำหนักต่อผลประมาณ 72.0 $\pm$ 7.0 g ประกอบด้วยส่วนเปลือก เนื้อเยื่อหุ้มเมล็ด และ เมล็ด เท่ากับ 50 31 และ 19% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำเสาวรส 15.8 - 16.0^{o}Brix (Lipitoa and Robertson,1977 ; จารุตม์ บรรเจิด-ประยูร, 2532)

2.5.1 ส่วนประกอบของผลเสาวรส

ผลเสาวรสประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- <u>เปลือกของผลเสาวรส</u> มีปริมาณเพกตินอยู่ประมาณ 15 - 20 %โดยน้ำหนัก ส่วนเปลือกนี้สามารถนำมาแปรรูป เช่น เปลือกเสาวรสกวนปรุงรส แช่อิ่ม หรืออาจใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากเปลือกของผลเสาวรสมีคาร์โบไฮเดรตสูง โดยนำเปลือกมาตากแห้งแล้วผสมกับอาหารอื่น สามารถนำไปใช้เลี้ยงวัว ควาย ได้ (Luh, 1980)

- <u>embryo sac</u> ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เนื้อเยื่อหุ้มเมล็ด และ เมล็ด

เนื้อเยื่อหุ้มเมล็ด เมื่อนำส่วนนี้ไปผ่านการกรองด้วยตะแกรงขนาด 200 mesh ทำให้ได้ส่วนน้ำเสาวรส (juice) และ ส่วนเนื้อ (pulp) (Boyle, Shaw and Herman, 1955) จากการรายงานผลการวิเคราะห์น้ำเสาวรส ของ ประเสริฐ สายสิทธิ์ (2531) พบว่ามีความชื้น 74.6% โปรตีน (N $\times$ 6.25) 0.88% ไขมัน 0.35% เถ้า 0.68% คาร์โบไฮเดรต 23.45% วิตามินซี 11.2 mg / 100 g น้ำตาลที่พบ คือ น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส กรดอินทรีย์ประมาณ 3.4% ส่วนใหญ่เป็นกรดซิตริก รองลงมาคือกรดมาลิก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 16.5^{o}Brix และปริมาณกรด (titratable acidity ในรูป citric acid) 3.6 g / 100 ml สีของเสาวรสเกิดจากสาร

xanthophylls , β - carotene , phytofluene เป็นต้น Chan (1978) ได้ตรวจสอบสารให้กลิ่นรสที่สำคัญในเสาวรสทั้งพันธุ์ผลสีเหลืองและพันธุ์ผลสีม่วงโดยวิธี standard controlled distillation - extraction ร่วมกับการใช้ liquid - solid chromatography และ capillary GC - MS พบว่า มีสารประกอบเอสเทอร์ 25 ชนิด ได้แก่ ethyl และ hexyl esters ของ butyric acid และ hexanoic acid และสารประกอบพวกแอลกอฮอลล์ ซึ่งมีทั้ง secondary alcohol , unsaturated alcohol , monoterpene alcohols กลิ่นหอมของเสาวรสส่วนใหญ่เกิดจากสาร volatile oils เช่น n - hexyl caproate , n - hexyl butyrate , ethyl caproate และ ethyl butyrate องค์ประกอบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สายพันธุ์ สภาพภูมิอากาศ ความสุกดิบของผลเป็นต้น

เมล็ด มีความชื้น 7.26% เถ้า 1.25% โปรตีน 10.92% ไขมัน 24.05% คาร์โบไฮเดรต 8.91% ไฟเบอร์ 47.61% จากการวิเคราะห์น้ำมันจากเมล็ดเสาวรสพบว่าประกอบด้วย กรดไขมันชนิด oleic acid , linoleic acid และ linolenic acid เท่ากับ 22.19 , 62.88 และ 0.25% (Jagendra, 1980) เมล็ดของเสาวรสเมื่อได้รับความร้อนเพียงพอจะกรอบเคี้ยวได้ง่าย จึงสามารถใช้เมล็ดเสาวรสเป็นเครื่องตกแต่งและปรุงรสขนมเค้ก แยม เช่น ในประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ นิยมผสมเมล็ดเสาวรสลงในผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสด้วย

2.5.2 การแปรรูปผลเสาวรส

นิยมใช้ส่วนน้ำเสาวรสมาแปรรูป ซึ่งเตรียมโดย นำผลเสาวรสมาล้างน้ำ ผ่าครึ่งผลเพื่อแยกเอา embryo sac ออกจากเปลือกแล้ว นำส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดและเมล็ดผ่านเข้าเครื่องแยกเมล็ด หรือ นำมาปั่นในเครื่องผสมเพื่อทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดฉีกขาด จากนั้นกรองเพื่อแยกน้ำเสาวรสออกจากเนื้อและเมล็ด อาจเพิ่มประสิทธิภาพการแยกน้ำเสาวรสโดยใช้เครื่องเหวี่ยง หรือใช้ pectinnolytic enzyme เป็นต้น น้ำเสาวรสที่ได้นำไปเข้ากระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป หรืออาจนำไปเก็บรักษาซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี ได้แก่ โซเดียมเบนโซเอต 0.1% โพแทสเซียมซอร์เบท 0.1% โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.02% (Casimir , Kefford and Whitfield, 1981) การเก็บน้ำเสาวรสอาจเก็บในรูปน้ำเสาวรสสดหรือน้ำเสาวรสเข้มข้น แต่การให้ความร้อน เช่น การพาสเจอร์ไรซ์จะทำให้น้ำเสาวรสเสื่อมคุณภาพด้านรสชาติอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเสื่อมคุณภาพเร็วหรือช้าเพียงไรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาด้วย สำหรับการเก็บรักษาน้ำเสาวรสไว้ในลักษณะผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีความจำเป็นอย่างมาก เพราะ ถ้าเก็บเสาวรสไว้ทั้งผลจะเปลืองเนื้อที่และคุณภาพของผลไม้จะเสื่อมลงอย่างรวดเร็ว ผลไม้ที่ยังสดอยู่เท่านั้นจึงจะได้น้ำที่มีคุณภาพดี จึงจำเป็นต้องรีบสกัด หรือ แยกเอาน้ำออกมาขณะที่ผลยังสดอยู่มากที่สุด

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำเสาวรสพร้อมดื่มควรอยู่ระหว่าง 12 - 15^{o}Brix และ ปริมาณกรด (titratable acidity ในรูป citric acid) 0.7 - 0.8% ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์

ได้รับการยอมรับสูงสุด การเติม carboxymethyl cellulose ปริมาณ 0.3% ในน้ำเสาวรส แล้วผ่านเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์ที่ความดัน 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หลังจากนั้นจึงนำไปพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 1 นาที แล้วปิดผนึกทันที ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำเสาวรสพร้อมดื่มที่มีการกระจายตัวของเนื้อผลไม้สม่ำเสมอ ไม่เกิดการแยกชั้น เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 7 สัปดาห์ (จารุตม์ บรรเจิดประยูร, 2532)

ภาวะในการผลิตน้ำเสาวรสเข้มข้นชนิดหวานที่เหมาะสม คือ เติมน้ำเชื่อมลงในน้ำเสาวรสสดก่อนการระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 60°C และ ปรับปรุงกลิ่นรสด้วยสารให้กลิ่นรสจนได้ 55° Brix มีปริมาณกรด (titratable acidity ในรูป citric acid) 3.06 g / 100 ml สามารถนำไปเจือจางได้ 5 เท่า ส่วนการทำน้ำเสาวรสเข้มข้นชนิดธรรมดาจากน้ำเสาวรสสดสามารถทำให้เข้ม-ข้นจนได้ 52° Brix มีปริมาณกรด (titratable acidity ในรูป citric acid) เท่ากับ 4.45 g/ 100 ml สามารถเจือจางได้ 15 เท่า (จิราภา จิระอนันต์กุล และ สุนทรี วราอุบล ,2534)

การเตรียมแยมเสาวรส ทำโดยเตรียมน้ำเสาวรสเจือจางโดยนำน้ำเสาวรสที่ผ่านการแยกเมล็ดออกแล้ว มาเติมน้ำในอัตราส่วน น้ำเสาวรส : น้ำ = 1 : 1 แล้วนำไปใช้ต่อในอัตราส่วนของน้ำเสาวรสเจือจาง : เปลือก : น้ำตาล เท่ากับ 25 : 20 : 55 ให้ความร้อนและกวนจนอุณหภูมิเท่ากับ 104 - 105°C จึงเติมเพกตินและกรด กวนต่อจนแยมเดือดจึงยกลงตักฟองที่ลอยบนผิวหน้าแยมออก ปล่อยไว้จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 93°C บรรจุแยมลงในขวดที่สะอาดแยมที่ผลิตได้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 67 °Brix (จารุตม์ บรรเจิดประยูร ,2532)

2.6 ไส้ผลไม้ (fruit filling)

โดยทั่วไปวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ทำไส้ในผลิตภัณฑ์เพสตรี ได้แก่ ผลไม้ และ เนื้อสัตว์ ซึ่งการผลิตไส้แต่ละชนิดจะมีวิธีการผลิตและส่วนผสมที่แตกต่างกัน สำหรับไส้ผลไม้ประกอบด้วยส่วนผสมที่สำคัญ ได้แก่ ผลไม้ น้ำตาล น้ำ สารทำให้ข้นหนืด (อรอนงค์ นัยวิกุล และ จิตธนา แจ่มเมฆ, 2541)

ผลไม้ ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบหลักช่วยทำให้เกิดเป็นเนื้อ (body) ของไส้ ให้กลิ่น สี และ รสชาติ ซึ่งอาจนำมาใช้ได้ทั้งรูปของผลไม้สด ผลไม้กระป๋อง ผลไม้แช่แข็ง หรือ ผลไม้ตากแห้ง (Sultan, 1989)

น้ำ โดยปกติใช้ 75 - 100% โดยน้ำหนักของผลไม้สด ถ้าปริมาณน้ำมากเกินไปทำให้ไส้ผลไม้ที่ได้เหลว และ มีคุณภาพไม่ดี

น้ำตาล โดยปริมาณที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดและความหวานตามธรรมชาติของผลไม้ (Sultan, 1989)

สารทำให้ข้นหนืด (thickener) ทำหน้าที่ ให้ความข้นหนืด และ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัว เนื้อผลไม้สามารถแขวนลอย และ ไม่เกิดการแยกชั้น รวมทั้งต้องมีคุณสมบัติไม่เกิด syneresis ทนต่อกรด ความร้อน แรงเฉือน ให้เจลที่มีลักษณะใส เลื่อมมัน และ ควรมีคุณสมบัติ freeze-thaw stability สำหรับไส้ที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบแช่แข็งด้วย โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้แป้งดัดแปร เช่น แป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยการเชื่อมข้าม (cross-linking) ซึ่งทนต่อความร้อนและแรงเฉือนดี Minkema (1964) รายงานว่า waxy sorghum starch ที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีการเชื่อมข้ามด้วย sodium trimetaphosphate แล้วทำให้เกิดเจลาทิไนซ์ และ ทำแห้งด้วยเครื่องอบแบบลูกกลิ้งจะทำให้ได้แป้งที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการทำไส้ผลไม้ เนื่องจากละลายได้ในน้ำเย็นจึงลดระยะเวลาในการผลิตและยังให้ลักษณะปรากฏของเจลดี มี freeze–thaw stability บางครั้งอาจใช้กัมร่วมด้วย เช่น low methoxy pectin , sodium alginate และ carboxymethyl cellulose เป็นต้น (Glicksman, 1969)

สำหรับไส้ผลไม้ที่ใช้ใส่เป็นไส้ในผลิตภัณฑ์พัฟเพสตรี ควรจะมีความข้นหนืดพอเหมาะที่สามารถตักใส่ในโด และ คงอยู่ในพัฟเพสตรีโดได้ ไส้ต้องไม่เดือดหรือแห้งในขณะที่อบ ซึ่งไส้ผลไม้ที่ดีควรจะมีค่า a_w หรือ ความชื้นต่ำ เนื่องจากถ้าไส้ผลไม้มีความชื้นสูง ทำให้เกิดไอน้ำมากภายในผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบ ไอน้ำจะดันให้พัฟเพสตรีส่วนบนและฐานแยกออกจากกัน แล้วไส้จะไหลทะลักออกมาด้านนอก (Sultan, 1989)

2.7 ค่า water activity (a_w)

ค่า a_w เป็นอัตราส่วนของความดันไอ (vapour pressure) ของน้ำในระบบต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity หรือ ERH) ของอากาศรอบๆ ระบบ หารด้วย 100 ที่อุณหภูมิเดียวกัน (Scott, 1957 ; Fennema, 1996) สำหรับในผลิตภัณฑ์ขนมอบ พบว่า ค่า a_w มีความสัมพันธ์กับคุณภาพ และ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

ค่า a_w มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอบและขนมขบเคี้ยว โดยอาจทำให้เกิด moisture migration ซึ่งเป็นปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วย 2 ส่วน หรือมากกว่าโดยแต่ละส่วนมีค่า a_w ต่างกัน ทำให้ความชื้นจากส่วนที่มีค่า a_w สูงเคลื่อนที่ไปสู่ส่วนที่มีค่า a_w ต่ำกว่า จนกระทั่งทั้ง 2 ส่วนมีค่า a_w เท่ากัน (Marston,1983) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Robb (1991) ที่พบว่าพายไส้แอปเปิ้ล ซึ่งประกอบด้วยส่วนไส้ที่มีค่า a_w สูง ความชื้นจากส่วนนี้จึงเคลื่อนที่ไปสู่ส่วนแป้งที่มีค่า a_w ต่ำกว่า ทำให้แป้งส่วนเปลือกด้านบนและฐานของพายนิ่ม แฉะ และส่วนไส้จะแห้งมากขึ้น สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวซึ่งมีค่า a_w ต่ำจะ

ดูดซับความชื้นจากอากาศที่มีค่า ERH สูง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง (Katz and Labuza, 1981) นอกจากนั้นค่า a_w ยังมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ เช่น เค้กที่มีค่า a_w ต่ำจะมีระยะเวลาเก็บที่ปลอดจากเชื้อรา (mold-free shelf life) เพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของราน้อย

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า a_w ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ได้แก่ วัตถุดิบ และ วิธีการผลิต โดยสารที่มีความสามารถจับกับน้ำได้มากจะมีประสิทธิภาพในการลดค่า a_w ได้มากกว่า เช่น เกลือมีความสามารถจับกับน้ำด้วยพันธะไอออนิก ซึ่งพันธะนี้แข็งแรง จึงมีอิทธิพลอย่างมากต่อ water holding power ในขณะที่สารอื่น เช่น น้ำตาลจะเกิดพันธะโควาเลนท์กับน้ำ แต่พันธะไม่แข็งแรงเท่ากับพันธะไอออนิก (Cauvain and Young, 2000) และเมื่อพิจารณาน้ำตาลแต่ละชนิด พบว่ามีผลต่อค่า vapour pressure ได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่ –OH และตำแหน่งของ –OH ภายในโมเลกุล ดังนั้นสารละลายอิ่มตัวของน้ำตาลแต่ละชนิดจึงมีค่า ERH ต่างกัน ส่วนสตาร์ช โปรตีน และ ไฟเบอร์ เมื่ออยู่ในสารละลาย สามารถอุ้มน้ำได้ แต่เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของสารเหล่านี้มีค่ามากจึงมีผลต่อค่า a_w น้อยกว่าสารประเภทอื่นที่กล่าวมา Cauvain และ Young (2000) ได้กล่าวสรุปไว้ว่า ตัวถูกละลายแต่ละชนิดมีความสามารถลดค่า a_w แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกละลาย มวลโมเลกุล ปริมาณการแตกตัวเป็นไอออน และ ปริมาณที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ เช่น เกลือ และ กลีเซอรีน สามารถลดค่า a_w ได้มากกว่าน้ำตาล นอกจากนี้ Cauvain และ Young (1999) ได้กล่าวว่า ขั้นตอนการผลิตขนมอบก็มีผลต่อค่า a_w ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายเช่นกัน โดยเฉพาะขั้นตอนการอบจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียความชื้นสูงที่สุดประมาณ 62% ของการสูญเสียความชื้นทั้งหมด ดังนั้นจึงมีผลทำให้ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในช่วงนี้ด้วย ในขณะที่ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ การทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิลดลงหลังออกจากเตาอบ และ การขนส่งจนถึงมือผู้บริโภค ทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นเท่ากับ 10 25 และ 14 %ของการสูญเสียความชื้นทั้งหมด ตามลำดับ

สารที่นำมาใช้เพื่อลดค่า a_w ในงานวิจัยนี้ คือ

กลีเซอรีน (glycerine) มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ เป็นของเหลว ใส ไม่มีสี มีรสหวานปนขม (bitter sweet) ทำหน้าที่เป็น humectant สารปรับสภาพการตกผลึก และ plasticizer ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Igoe, 1989) สำหรับการนำกลีเซอรีนมาใช้เพื่อลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์ขนมอบสามารถใช้ได้ทั้งเพื่อลดการเกิด moisture migration และ เพิ่มอายุการเก็บ Robb (1991) รายงานว่า การเติมกลีเซอรีน 16% โดยน้ำหนัก ในไส้แอปเปิ้ลทำให้ค่า a_w ลดลงจาก 0.86 เป็น 0.80 จึงสามารถลดปัญหา การแฉะของส่วนเปลือกพายได้ ส่วนการเติมกลีเซอรีนในเค้ก 3%โดยน้ำหนัก ทำให้ระยะเก็บที่ปลอดเชื้อรา (mold-free shelf life) เพิ่มขึ้น 3 วัน (Cauvain and Young ,2000) จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 (2527) ระบุปริมาณกลีเซอรีนที่สามารถใช้

เป็นวัตถุเจือปนในอาหารได้ไม่เกิน 50,000 ppmในไอศกรีม และ 5,000 ppm ของส่วนผสมที่เป็นครีมของคอตเตจชีส

น้ำตาลซูโครส มีสูตรโมเลกุล $C_{12}H_{22}O_{11}$ มีความสามารถในการละลายสูงสุดที่ความเข้มข้น 67% โดยน้ำหนัก น้ำตาลซูโครสได้ถูกนำมาใช้เพื่อลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น แยม ผลไม้เชื่อม เป็นต้น แต่มีข้อจำกัด คือ ถ้าใช้ในปริมาณมากทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานเกินไป

การเลือกใช้ชนิด และ ปริมาณของสารเพื่อลดค่า a_w ในผลิตภัณฑ์อาหาร ควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค ไม่มีผลต่อ กลิ่น รส และ ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ราคาไม่แพง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสาร เช่น amino acid , protein hydrolysate , aliphatic diol เพื่อใช้ลดค่า a_w ในอาหารที่มีความชื้นปานกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย