

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปูนิ่มทอดสุญญากาศ

Development of Vacuum Fried Soft Shell Crabs

คำนำ

ปูทะเล (*Scylla serrata*) เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยงมากทางภาคใต้ และภาคตะวันออก ปูนิ่มเป็นขั้นตอนหนึ่งของการเจริญเติบโตของปู ซึ่งก่อนที่ปูจะลอกคราบ 2-3 วัน ปูจะไม่กินอาหาร และอาหารที่มีอยู่ในกระเพาะอาหารระหว่างนั้น จะถูกย่อยเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการลอกคราบ ดังนั้นกระเพาะปูจะมีอาหารที่ว่าง ถ้าใส่สะอาดไม่มีกากอาหารหรือสิ่งปฏิกูลเหลืออยู่ มีคุณค่าทางอาหารสูง มีปริมาณแคลเซียมสูง และเป็นช่วงที่ปูมีปริมาณโคเลสเตอรอล น้อยที่สุด (บรรจง และ บุญรัตน์, 2545) ปัจจุบันผู้บริโภคนิยมบริโภคปูนิ่มกันอย่างแพร่หลาย ในปี 2543 ปูนิ่มที่ผลิตได้ทั่วประเทศ มีประมาณ 52,000 ตัน โดยบริโภคภายในประเทศ 35,000 ตัน และส่งออกไปต่างประเทศประมาณ 17,000 ตัน (บรรจง, 2547)

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งออกปูนิ่มในรูปแช่เยือกแข็งไปยังต่างประเทศ และส่งปูดไปยังร้านอาหารหรือภัตตาคารเพื่อนำไปประกอบอาหาร แต่ผลิตภัณฑ์ปูนิ่มที่อยู่ในรูปที่พร้อมบริโภคนั้นยังมีไม่มากนัก ดังนั้นเพื่อเพิ่มมูลค่าและความต้องการในท้องตลาดของปูนิ่มให้มีมากขึ้น จึงได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปูนิ่มให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ที่พร้อมบริโภคขึ้น โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปูนิ่มทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ ถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปูนิ่มพร้อมรับประทาน

การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นการทอดในสภาวะที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ โดยต่ำกว่า 50 Torr (6.65 kPa) เนื่องจากความดันที่ต่ำ ทำให้จุดเดือดของน้ำมันและความชื้นในอาหารต่ำกว่าปกติ การทอดแบบสุญญากาศจะให้ผลดีคือ สามารถลดปริมาณน้ำมันในอาหาร สามารถถนอมสีและรสชาติเดิมของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำและปริมาณออกซิเจนในกระบวนการน้อย และมีผลต่อคุณภาพน้ำมันน้อย (Shyu *et al.*, 1998) ดังนั้นจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับ และถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สามารถนำออกจำหน่ายได้ ทำให้ผลผลิตที่ผ่านการแปรรูปแล้วมีมูลค่าสูงขึ้น

ผลิตภัณฑ์ป่นมทอด จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในประเภทของอาหารกึ่งแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในรูปของอาหารพร้อมบริโภคและสามารถเก็บรักษานานในระหว่างการเก็บรักษา จึงได้ศึกษาสถานะต่างๆที่ใช้ทอด เพื่อลดความชื้น และลดปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.85 พร้อมทั้งศึกษาสถานะการบรรจุ เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระยะความเป็นเชื้อโรคที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ป่นมทอดสุญญากาศ
2. เพื่อศึกษากรรมวิธีและสภาวะการทอดด้วยเครื่องทอดสุญญากาศที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ป่นมทอด
3. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ป่นมทอดสุญญากาศ
4. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ป่นมทอดสุญญากาศบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ และสภาวะสุญญากาศ ร่วมกับสารดูดออกซิเจนที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การตรวจเอกสาร

ปูทะเลและปูน้ำจืดจากปูทะเล

1. ลักษณะทางอนุกรมวิธานของปูทะเล

Barnes (1968) ได้จำแนกปูทะเลทางอนุกรมวิธานไว้ดังนี้

Phylum Arthropoda

Superclass Crustacea

Class Malacostraca

Subclass Eumalacostraca

Superorder Eucarida

Order Decapoda

Suborder Pleocyemata

Infraorder Branchyura

Section Branchyura

Superfamily Portunoidae

Family Portunidea

Genus *Scylla*

Species *serrata* (Forskäl, 1775)

2. ลักษณะโครงสร้างของปูทะเล

2.1 ลักษณะโครงสร้างภายนอก

มาโนช และ บุญส่ง (2512) บรรยายลักษณะทั่วไปของปูทะเลว่าร่างกายแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนหัว (head) อก (thorax) และท้อง (abdomen) ส่วนหัวและอกจะติดกันรวมเรียกว่า Cephalothorax มีกระดอง (carapace) หุ้มอยู่ด้านบน

ลักษณะภายนอกของปูที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน (บรรจง และบุญรัตน์, 2545) ได้แก่

สี่ กระดองด้านบนมีสีน้ำตาลปนเขียวหรือน้ำตาลปนเทา มีจุดขาวในเล็กน้อย บริเวณปากมีสีฟ้าเขียว ครึ่งบนด้านหน้าของก้ามไม่มีจุดสี ครึ่งล่างด้านหน้าของก้ามมีสีน้ำตาล น้ำตาลแดง หรือแดง ขาวาย่น้ำมีสีน้ำตาลอมเขียว มีลายร่างแหไม่ชัดเจน

หนาม หนามคู่กลางที่ขอบกระดองระหว่างช่องตา มีลักษณะมนป้าน มีฐานกว้างครึ่งวงกลม หนามอันกลาง (middle carpus spine) บนด้านนอกของปล้องกลาง (carpus) ของก้ามไม่ชัดเจน หรือจะมีเพียงร่องรอยหรือแผลเป็น

รยางค์ ปู่ทะเลมีขา 5 คู่ ขาคู่แรกอยู่หน้าสุดมีขนาดใหญ่มากเป็นพิเศษเรียกว่า “ก้ามปู” (cheliped) ปลายก้ามปูแยกออกเป็น 2 ง่าม มีลักษณะคล้ายคีม ใช้จับเหยื่อกินและป้องกันตัว ปลายสุดของขาเดินคู่ที่ 2-4 มีลักษณะปลายแหลมเรียกว่า “ขาเดิน” (walking legs) เพื่อทำหน้าที่ในการเดิน ส่วนขาคู่ที่ 5 เรียกว่า “ขาว่ายน้ำ” (paddle legs) มีลักษณะคล้ายใบพาย เพื่อความสะดวกในการว่ายน้ำ ลำตัว จะมีแผ่นบางๆ เรียกว่า “จับปิ้ง” พับอยู่ใต้กระดอง

ในปูเพศผู้ ลักษณะของจับปิ้งจะมีรูปร่างเรียวยาวและแคบ เมื่อเปิดจับปิ้งออกจะพบขาคู่ที่ 1-2 ได้พัฒนาและเปลี่ยนรูป ทำหน้าที่ช่วยในการผสมพันธุ์ คู่แรกยาวมีรูปร่างคล้ายกริช คดงอ ปลายเรียวยาวแหลม มีหนามเล็กๆ และจะมีขนาดเล็กมากที่ส่วนปลาย อวัยวะเพศผู้ยาวนี้มีหน้าที่ช่วยส่งน้ำเชื้อตัวผู้เข้าไปในช่องเปิดของปูเพศเมีย ซึ่งอยู่ในบริเวณอกปล้องที่ 3 มีลักษณะเป็นรูปขอบรีหนา คู่ที่ 2 สั้นมีความยาวประมาณครึ่งหนึ่งของคู่แรก ที่โคนมีหนามเล็กๆ จำนวนมาก มีหน้าที่สำหรับยึดเหนี่ยวเพศเมีย ในขณะที่จับคู่ รยางค์คู่นี้จึงมีชื่อเฉพาะตามหน้าที่ว่า gonopod (บรรจง และบุญรัตน์, 2545)

ในปูเพศเมีย จับปิ้งมีลักษณะกว้าง ปลายมน มีรยางค์รูปสามเหลี่ยมเพียงคู่เดียว เพื่อจับน้ำเชื้อสืบพันธุ์ โดยขาว่ายน้ำคู่ที่ 2-5 ได้เปลี่ยนไปทำหน้าที่ในการอุ้มไข่ รยางค์แต่ละคู่มีสองแขนง คือ แขนงอันนอก (exopodites) และแขนงอันใน (endopodites) แขนงแต่ละคู่มิมีลักษณะคล้ายแผงขนนกเพื่อยึดไข่ที่ผ่านการผสมกับน้ำเชื้อแล้ว

2.2 ลักษณะโครงสร้างภายใน

เมื่อเปิดกระดองปูทะเลออกจะเห็นว่าที่ด้านในของกระดองมีเยื่อบางๆ กรออยู่ทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของกระดอง จะมีช่องว่างเป็นโพรงซึ่งจะเก็บความชื้นได้ดีในบ้างฤดูช่องว่างนี้จะเป็นที่เก็บสะสมอาหารจำพวก fat glycogen และธาตุจำพวกหินปูน ในปูเพศเมียช่วงฤดูสืบพันธุ์ช่องว่างดังกล่าวจะเป็นที่เก็บไข่ (egg mass) ที่สร้างขึ้น ที่ลำตัวปูภายในจะเห็นอวัยวะส่วนหนึ่งได้ชัดเจน คือ เหงือก (gill) อยู่ 2 ข้างของลำตัวมีลักษณะคล้ายขนนก ซึ่งทำหน้าที่ช่วยหายใจ นอกจากนี้จะเห็นโครงร่างค่อนข้างแข็งสอดแทรกอยู่ทั่วไปเพื่อเป็นที่ยึดของกล้ามเนื้อในลำตัวปูจะมีอวัยวะของระบบต่างๆ ได้แก่ระบบย่อยอาหาร ระบบประสาท ระบบหมุนเวียนโลหิต ระบบขับถ่ายและระบบสืบพันธุ์ (มานอนซ์ และบุญส่ง, 2512)

3. การลอกคราบ

บรรจง และ บุญรัตน์ (2545) กล่าวว่า เมื่อปูจะลอกคราบ สังเกตได้จากกระดองจะเริ่มแยกจากเยื่อหุ้มตัว เป็นระยะที่ปูเคลื่อนไหวได้ช้า ระยะนี้สารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต และไคตินที่มีอยู่ในเปลือกเก่าส่วนหนึ่งจะใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ เปลือกเดิมจึงเปราะ ระยะนี้ความดันของเลือดภายในตัวปูได้เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งก็จะดันให้เปลือกเก่าแตกออกตามรอยประสานได้เชิงกระดอง และที่โคนก้าม ระยะนี้ปูจะผลิตน้ำเมือกออกมาหล่อเลี้ยงผนังเยื่อหุ้มตัว เพื่อช่วยให้ร่างกายต่างๆ สามารถลอกข้อต่างๆ ได้ง่ายขึ้น ปูจะสลัดตัวเองออกจากคราบเก่าด้วยวิธีดันกระดองด้านบนเพื่อให้กระดองส่วนบนตรงรอยต่อระหว่างส่วนหัวและอกกับท้องเผยออก จากนั้นปูจะค่อยๆ ดันตัวเองที่น้อยๆ โดยมีขาหลังออกมาก่อน เมื่อร่างกายส่วนนั้นได้ปรับสภาพเข้ากับสภาพแวดล้อมภายนอกแล้ว ปูจึงถอดอวัยวะส่วนอื่นๆ ออกมา โดยมีก้ามเป็นร่างกายสุดท้าย ขณะที่ลอกคราบใหม่ๆ ผิวของกระดองจะขุ่น หลังจากทีปูปรับระดับความเข้มข้นของเกลือแร่และปริมาณน้ำในตัวให้เข้าสู่ระดับปกติแล้วเปลือกใหม่จะค่อยๆ ตึงและเพิ่มขนาดตามส่วน ระยะนี้เป็นช่วงที่ปูมีความอ่อนแอมากที่สุด เคลื่อนไหวไม่ได้ จึงต้องหาที่หลบซ่อนศัตรู

การลอกคราบของปูทะเล สามารถแบ่งออกได้ 5 ระยะ (บรรจง และบุญรัตน์, 2545) คือ

ระยะที่ 1 กระดองนุ่ม: Stage A (newly molt) เป็นระยะที่ปูเพิ่งเสร็จจากการลอกคราบ กระดองใหม่นุ่ม เหนียว ลื่น ชั้นเคลือบผิว ชั้นเม็ดสีและเชื่อบต่างๆ จะติดเป็นชั้นเดียวกัน ระยะนี้ปูจะไม่กินอาหาร

ระยะที่ 2 กระดองเริ่มแข็ง: Stage B (paper shell) ระหว่างที่เริ่มมีการพัฒนา เคลือบผิว ชั้นในมีลักษณะหนาและแข็ง ชั้นเม็ดสีเริ่มมีการลอกกลับ ซึ่งระยะนี้ปูยังไม่กินอาหาร

ระยะที่ 3 เปลือกแข็ง: Stage C (intermolt) กระดองมีความแข็งเต็มที่ ผิวชั้นนอกของเปลือกสมบูรณ์ ชั้นเม็ดสีลอกกลับไปอยู่บริเวณฐานปลายสุดของขน (saetae) เก่า ผิวชั้นนอกมีการหดกลับ เปลือกปูเริ่มแข็ง ถ้าเอามือกดเปลือกจะแตกง่าย ในระยะนี้ปูจะเริ่มกินอาหาร

ระยะที่ 4 ก่อนการลอกคราบ: Stage D กระดองมีความแข็งเต็มที่ เปลือกสมบูรณ์ เป็นระยะที่ปูสะสมอินทรีย์สารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการลอกคราบ เช่น แคลเซียม เพื่อใช้ในการลอกคราบครั้งต่อไป ระยะนี้ปูจะกินอาหารได้น้อย เคลื่อนไหวได้ช้า มีปริมาณน้ำในตัวประมาณร้อยละ 50-60

ระยะที่ 5 ลอกคราบ: Stage E (molting) เป็นระยะที่ปูสลัดกระดองเก่าทิ้ง น้ำถูกดึงเข้าตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อให้เปลือกเก่าปริออก ระยะนี้ปูจะไม่เคลื่อนที่ ไม่กินอาหาร เป็นช่วงเวลาที่วิกฤตที่สุดของปูทะเล เพราะปูอ่อนแอ

บุญรัตน์ (2547) ได้จัดระดับเยื่อกระดาษ (paper shell) ของปูนิ่มจากการแข็งตัวของเปลือกและความสาก เป็น 5 ระดับ ได้แก่

- ระดับ 0 นุ่มมากและผิวลื่น ไม่สาก
- ระดับ 1 นุ่มปานกลางและผิวลื่น ไม่สาก
- ระดับ 2 นุ่มปานกลางและผิวสากเล็กน้อย
- ระดับ 3 กระด้างและผิวสากเล็กน้อย
- ระดับ 4 กระด้างและผิวสากปานกลาง
- ระดับ 5 กระด้างและผิวสากมาก

4. ลักษณะทั่วไปของปูนิ่ม

ปูนิ่ม หมายถึง ปูที่ลอกคราบเสร็จสิ้นไม่นาน ซึ่งกระดองของปูยังไม่มีความแข็ง กระดองใหม่นิ่ม เหนียว ลื่น ชั้นเคลือบผิว ชั้นเม็ดสีและชั้นเยื่อต่างๆ จะติดเป็นชั้นเดียวกัน ในช่วงนี้ปูยังไม่สามารถกินอาหารและป้องกันตัวเองได้ ปูก่อนลอกคราบจะเป็นระยะที่มีความสมบูรณ์เต็มที่ ก่อนที่ปูจะลอกคราบ 2-3 วัน ปูจะไม่กินอาหาร อาหารที่มีอยู่ในกระเพาะอาหารระหว่างนั้นจะถูกย่อยไปใช้ในกระบวนการลอกคราบ กระเพาะอาหารจะว่าง ถ้าใส่จะสะอาดไม่มีกากอาหารหรือสิ่งปฏิกูลเหลืออยู่ กระดองและรยางค์ต่างๆ เช่น ขาว่ายน้ำ และก้ามจะนิ่มสามารถบริโภคได้ทั้งตัว มีคุณค่าทางอาหารสูง มีปริมาณแคลเซียมสูง เป็นช่วงที่ปูมีปริมาณโคเลสเตอรอลน้อยที่สุด (บรรจง และ บุญรัตน์, 2545)

5. การเพาะเลี้ยงปูนิ่ม

บรรจง และ บุญรัตน์ (2545) กล่าวว่า โดยทั่วไปปูที่นิยมนำมาเลี้ยงเป็นปูนิ่ม คือ ปูทะเล (*Scylla serrata*) เนื่องจากมีความทนทานต่อโรค และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง สามารถรวบรวมจากธรรมชาติได้มากกว่าปูชนิดอื่นๆ และที่สำคัญคือเนื้อมีความปลอดภัยเป็นที่ต้องการของตลาด โดยขนาดของปูที่นิยมนำมาทำเป็นปูนิ่ม เป็นปูขนาด 15-20 ตัวต่อกิโลกรัม และหลังจากลอกคราบครั้งหนึ่งแล้วจะเป็น 10-12 ตัวต่อกิโลกรัม ปูมีการเลี้ยง 4 แบบ คือ

5.1 การเลี้ยงในกระชัง

ปูนิ่มสามารถเลี้ยงในกระชัง ในแหล่งน้ำบริเวณป่าชายเลน แหล่งน้ำกร่อย หรือน้ำเค็ม บริเวณชายฝั่ง ที่กำบังคลื่นลม กระแสน้ำไม่แรงนักระดับน้ำต่ำสุดไม่เกิน 2 เมตร สำหรับทำเลที่มีน้ำลึก กระชังอาจจะวางอยู่บนแพไม่มีทุ่นลอยสามารถลอยขึ้นลงตามระดับน้ำ ยกกระชังก็มีที่สำหรับวางตะกร้าไม้ไผ่หรือตะกร้าที่ทำด้วยโพลีเอทิลีนขนาด 30x45x20 เซนติเมตร ภายในตะกร้าแบ่งออกเป็นช่องละตัว ตะกร้ามีฝาปิดเปิดได้ สำหรับให้อาหารและป้องกันปูหนี กระบะที่เลี้ยงปูส่วนหนึ่งจะจมอยู่ในน้ำประมาณ 15 เซนติเมตร

5.2 การเลี้ยงในคอก

เกษตรกรจะใช้ฟากที่ทำด้วยไม้ไผ่มาทำเป็นคอกเพื่อกันปูหนี โดยปักไปในดินประมาณ 1 เมตร และสูงจากพื้นดินประมาณ 1 เมตร ในคอกจะมีแคร่ไม้กรุด้วยไม้ไผ่สำหรับปล่อยปู แคร่ไม้ในเวลาน้ำขึ้นน้ำจะท่วมกรงปู แต่ในเวลาน้ำลง แคร่ไม้จะแห้งเพื่อสะดวกในการทำความสะดวกวิธีนี้มีข้อเสียคือ ผลผลิตปูที่มีคุณภาพไม่ดี ตัวปูมีรอยขีดหรือรอยกัด จี๋ขาด นอกจากนี้ปูที่ยังไม่ลอกคราบจะกินตัวที่กำลังลอกคราบ ทำให้อัตราการรอดต่ำ

5.3 เลี้ยงในบ่อดิน

บ่อดินที่มีระบบถ่ายเทน้ำดีก็สามารถเลี้ยงปูได้ บ่อดินอาจจะใช้บ่อเก่าที่ทิ้งร้างหรือจะขุดขึ้นใหม่ก็ได้ หรือขุดใหม่ก็ได้

5.4 การเลี้ยงในบ่อซีเมนต์

การเลี้ยงปูนั้นต้องการความเอาใจใส่และการดูแลค่อนข้างมาก อาหารที่ให้อาจเป็นอาหารที่มีคุณภาพสูง พื้นบ่อต้องสะอาด น้ำที่ใช้เลี้ยงต้องมีคุณภาพดี การเลี้ยงปูในกระชังในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือบ่อนั้นค่อนข้างยุ่งยากในเรื่องการจัดการ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนาการเลี้ยงปูในบ่อซีเมนต์ขึ้น โดยนำเอาระบบเพิ่มอากาศในน้ำมาช่วยรักษาคุณภาพน้ำ จะทำให้ความสามารถในการผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูงขึ้น บ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงปูนั้นอาจจะสร้างด้วยอิฐมอญ อิฐบล็อกก็ได้ ผิวด้านในและด้านนอกฉาบปูนเรียบเพื่อกันน้ำไม่ให้ซึมเพื่อสะดวกในการจัดการ บ่อเลี้ยงปูนั้นควรมีระดับน้ำประมาณ 25-30 เซนติเมตร ควรมีหลังคาคลุมและฝาเพื่อสะดวกในการควบคุมความเค็ม อุณหภูมิ แสงและการรบกวนจากภายนอก

6. การเก็บเกี่ยวปู

ในการเพาะเลี้ยงปูทะเลเพื่อนำไปทำปูนึ่ง ผู้เพาะเลี้ยงจะทำการตรวจสอบหาปูเกิดการลอกคราบเป็นปูนึ่งทุก 2-3 ชั่วโมงตลอดทั้งวัน เนื่องจากหากปูมีการลอกคราบแล้วนานเกินกว่า 3 ชั่วโมงขึ้นไป ปูจะเริ่มแข็งเป็นกระดาก โดยสังเกตจากภายในกล่องที่เลี้ยงปู จะพบว่าปูที่ลอกคราบแบ่งออกเป็นสองตัว คือส่วนตัวที่เป็นคราบ และส่วนของปูนึ่ง ผู้เพาะเลี้ยงจะทำการตรวจสอบว่าปู

มีความเป็นกระดาษหรือไม่ ถ้าไม่มีความเป็นกระดาษก็จะเก็บขึ้นมาและแช่ลงในน้ำจืด เพื่อชะลอการแข็งตัวของปูและให้ปูลดความเค็มภายในตัวลง ประมาณ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำการคัดขนาดและแปรรูปต่อไป (สุดาพร ,2547)

กระบวนการทอด

การทอด (frying) เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่อาหาร เพื่อให้อาหารสุก โดยใช้น้ำมันเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ขณะทำการทอด อุณหภูมิที่อยู่ผิวหน้าอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารตามลักษณะ โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของอาหาร ทำให้น้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำเคลื่อนที่ออกไป (Fellow, 1990)

1. วิธีของกระบวนการทอด

การทอด แบ่งออกเป็น 2 วิธี (Fellow, 1990) ได้แก่

1.1 การทอดแบบ Shallow (contact) frying

เป็นกระบวนการทอดที่เกิดขึ้นเมื่อความร้อนจากผิวกระทะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบางๆ ไปยังอาหาร ซึ่งความหนาของชั้นน้ำมันที่แตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับความไม่สม่ำเสมอของผิวหน้าอาหาร ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้อุณหภูมิที่ต่างกันในการทอดทำให้เกิดลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอของการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอดนี้ ความหนาของชั้นน้ำมันร่วมกับการที่ไอน้ำจากอาหารเคลื่อนที่ ส่งผลให้อาหารลอยตัวขึ้น ทำให้อุณหภูมิขณะทอดเปลี่ยนแปลง วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรสูง เช่น ไข่ดาว แสม เบอร์เกอร์และพายบางชนิด เป็นต้น

1.2 การทอดแบบ Deep fat frying

การทอดแบบ Deep fat frying เป็นกระบวนการทอดที่มีการถ่ายเทความร้อนทั้งการพาและการนำความร้อนเข้าสู่อาหาร (Fellow, 1990) โดยที่ความร้อนถ่ายจากน้ำมันไปยังอาหาร และอาหารจะดูดซับน้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำที่ได้เคลื่อนที่ออกจากอาหารเมื่อได้รับความร้อน(Hui,

1996) ผิวหน้าของอาหารจะได้รับความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ (Fellow, 1990) เหมาะกับอาหารทุกรูปทรง

2. การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นการทอดในสภาวะที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ โดยต่ำกว่า 50 Torr (6.65 kPa) เนื่องจากความดันที่ต่ำ ทำให้จุดเดือดของน้ำมันและความชื้นในอาหารต่ำกว่าปกติ การทอดแบบสุญญากาศจะให้ผลดีคือ สามารถลดปริมาณน้ำมันในอาหาร สามารถถนอมสีและรสชาติเดิมของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำและปริมาณออกซิเจนในกระบวนการน้อย และมีผลต่อคุณภาพน้ำมันน้อย (Shyu *et al.*, 1998)

Forkner (1966) ได้สร้างเครื่องทอดความดันต่ำแบบ Semicontinuous และทำการศึกษาทดลองทอดผลบลูเบอร์รี่แช่เยือกแข็งในน้ำมันฝ้าย โดยแบ่งอุณหภูมิที่ใช้ทอดแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกทอดที่อุณหภูมิ 182 องศาเซลเซียส ความดัน 700 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 5 นาที ช่วงที่ 2 ทอดที่อุณหภูมิ 90.5 องศาเซลเซียส ความดัน 700 มิลลิเมตรปรอทเป็นเวลา 10 นาที โดยขณะทอดมีตะแกรงกดผลบลูเบอร์รี่ให้จมอยู่ใต้น้ำมันตลอดเวลา จากนั้นทำการเหวี่ยงน้ำมันออกจากเนื้ออาหาร ที่ความดัน 700 มิลลิเมตรปรอทเป็นเวลา 3 นาที การทอดจากเครื่องทอดนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี กลิ่นรสที่ดี ผิวหน้าแห้ง เครื่องมือแบบนี้สามารถใช้กับอาหารหลายชนิดทั้งผลไม้แช่แข็ง ผลไม้สด ผัก ธัญพืช เนื้อสัตว์และอาหารทะเล แต่ถ้าเป็นผลไม้ขนาดใหญ่ ควรมีการตัดแต่ง หั่นหรือสไลด์เป็นชิ้นหนาไม่เกิน 5/8 นิ้ว และน้ำหนักแต่ละชิ้นไม่เกิน 10 กรัม จึงจะใช้กับเครื่องมือได้

Salunkhe (1976) ได้ทดลองทอดแอปเปิ้ลแผ่นบาง (slices) ที่มีความกรอบเหมือนกับมันฝรั่งทอดกรอบ และมีกลิ่นรสเหมือนผลแอปเปิ้ลสด โดยเริ่มจากการตัดแต่งชิ้นแอปเปิ้ลให้มีความหนา 0.08-0.10 นิ้ว นำไปแช่ในสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายน้ำตาลก่อนนำไปทอดที่ความดันต่ำ ซึ่งการแช่สารละลายน้ำตาลก่อนการนำไปทอดเป็นการดึงน้ำในวัตถุดิบออกมาบางส่วนดังนั้นระยะเวลาในการทอดจะน้อยลงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณน้ำมันลดน้อยลง หลังจากนั้นนำแอปเปิ้ลแผ่นบางมาทอดที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ประมาณ 685.8-736.6 มิลลิเมตรปรอทอุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ทอด 98.9-104.0 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าเมื่อเติม DE maltro dextrin 10 % จะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณ

น้ำมันในผลิตภัณฑ์แอปเปิ้ลแผ่นบาง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบ และรสชาติมีความเข้มข้นประมาณ 2 เปอร์เซนต์

Oka and Ueoka (1981) ทดลองทอดอาหารหลายประเภทเช่น หัวบุก มันมือเสือ มันฝรั่ง แอปเปิ้ล สตรอเบอรี่ ไม้กระบอกปลา เส้นก๋วยเตี๋ยว และผักชนิดต่างๆ โดยผักที่ใช้ทดลอง คือแครอท พริกหยวก ถั่วลันเตา ผักปวยเล้ง แดงกวา มะเขือยาว เห็ดหอม ฯลฯ ด้วยเครื่องทอดแบบ Batch-type vacuum fryer และใช้แก๊สเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนกับน้ำมันและทำการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการพิจารณาจากสี ความกรอบ และรสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ชำนาญในการทดสอบชิม พบว่าอาหารส่วนใหญ่ที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ จะให้สี กลิ่นรสและคุณภาพดีกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์จากกระบวนการทอดสุญญากาศ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับน้ำมันในอาหาร คือ

3.1 คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน

สมบัติของน้ำมันที่แตกต่างกันนั้นอาจทำให้อาหารมีคุณภาพที่แตกต่างกันออกไป เช่น กลิ่นรสและอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Rossell, 2001) องค์ประกอบของน้ำมัน มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอด และการดูดซับน้ำมัน การเสื่อมเสียของน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาทอดเพิ่มขึ้น (Saguy and Pinthus, 1995)

ปริมาณกรดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันทำให้อาหารมีคุณภาพและอายุการเก็บรักษาที่แตกต่างกันออกไป (Rossell, 2001) Dorsey *et al.* (1965) กล่าวว่าน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการทอดอาหารเพราะน้ำมันปาล์มมีปริมาณไอโอดีนต่ำ (iodine value) ประมาณ 55-56 กรดไขมันไม่อิ่มตัวปริมาณต่ำ (polyunsaturated fatty acid) ซึ่งกรดไขมันชนิดนี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและกลิ่นเหม็นหืนในอาหาร น้ำมันปาล์ม (palm oil) จัดเป็นน้ำมันที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทอด เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเนื่องจาก มีความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงเมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่นๆ และมีคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากมีองค์ประกอบ

ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ 50% โดยมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด linolenic acid ปานกลาง และมี tocopherol ซึ่งเป็นสารกันหืนธรรมชาติ (Hui, 1996)

3.2 รูปร่างของอาหาร

พื้นที่ผิวของอาหารกับปริมาณน้ำมันมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้น อาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อมวลมากจะทำให้มีการดูดซับน้ำมันเพิ่มมากขึ้นและ อาหารที่มีพื้นที่ผิวที่ขรุขระทำให้มีพื้นที่ผิวน้ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณของน้ำมันเพิ่มมากขึ้นด้วย (Saguy and Pinthus, 1995)

3.3 ปริมาณความชื้นในอาหาร

จากการศึกษาของ Gamble *et al.* (1987) พบว่าปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณน้ำมันที่ดูดซับ น้ำมันจะเริ่มดูดซับเข้าไปในชั้นอาหารเมื่อมีการสูญเสียน้ำออกไประหว่างการทอด ถ้าวัตถุดิบมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำมันสูง

3.4 อุณหภูมิและเวลาในการทอด

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอดมีผลต่อการดูดซับน้ำมันและการพองตัว การใช้อุณหภูมิในการทอดสูง เวลาสั้นทำให้การดูดซับน้ำมันต่ำ เพราะขณะที่น้ำมันร้อนความหนาแน่นของน้ำมันจะต่ำลงทำให้น้ำมันส่วนน้อยถูกดูดซับในเวลาจำกัด อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดอาหารโดยทั่วไปภายใต้สภาวะสุญญากาศจะอยู่ในช่วง 80-130 องศาเซลเซียส (วิจิตร, 2537) การเลือกอุณหภูมิที่ใช้สำหรับทอดอาจพิจารณาจากข้อกำหนดลักษณะและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของผู้บริโภค

3.5 ความดัน

การทอดที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศทำให้น้ำในอาหารระเหยได้เร็วขึ้น การทอดอาหารที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศประมาณ 600-มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 80-130 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการทอดปกติ (วิจิตร, 2537) Dorsey *et al.* (1965) ได้

เสนอว่าควรใช้ความดันเริ่มต้นประมาณ 600-735 มิลลิเมตรปรอทสำหรับการทอดอาหาร โดยที่สถานะความดันต่ำนี้จะช่วยลดจุดเดือดของน้ำภายในอาหาร การทอดจะใช้น้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 38-94 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้เนื้ออาหารที่ดีและสีไม่เข้ม ภายหลังการทอดให้ลดความดันเหลือ 759 มิลลิเมตรปรอทเพื่อลดปริมาณน้ำมันที่ค้างอยู่ในเนื้ออาหาร จากนั้นได้ทดลองทอดแอปเปิ้ลแผ่นบางหนา 3/8 นิ้ว โดยมีความชื้นเริ่มต้น 85 % และทอดในน้ำมันมะพร้าว โดยใช้อุณหภูมิน้ำมัน 94 องศาเซลเซียส ความดัน 735 มิลลิเมตรปรอทเป็นเวลา 10 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเพียง 0.5 % (โดยน้ำหนัก)

3.6 กรรมวิธีก่อนการทอด

กรรมวิธีก่อนการทอดที่แตกต่างกันจะมีความสามารถในการลดปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกันไปด้วย กระบวนการลวกหรือกระบวนการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นลดลง ก่อนที่จะนำไปทอดพบว่ามีผลทำให้ปริมาณของน้ำมันหลังทอดลดลง การทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เปียกด้วยน้ำมันจากนั้นนำไปทำการให้ความร้อนโดยไอน้ำและทำอย่างนี้ซ้ำไปซ้ำมาหลายครั้งพบว่าวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการลดการดูดซึมของน้ำมัน (Saguy and Pinthus, 1995)

3.7 การหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมัน

ภายหลังการทอดควรมีการหมุนเหวี่ยงสลัดน้ำมันออกจากเนื้ออาหารเพื่อลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทอด Forkner (1966) ทดลองทอดผลบลูเบอร์รี่แช่เยือกแข็งในน้ำมันฝ้าย พบว่าภายหลังจากการทอดควรมีการหมุนเหวี่ยงน้ำมันออกจากอาหารที่ความดัน 755 มิลลิเมตรปรอทเป็นเวลา 3 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี และกลิ่นรสที่ดี

3.8 ปัจจัยอื่นๆ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น การเคลือบผิวด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อยับยั้งการอมน้ำมันระหว่างทอด หรือการเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วย batter ก่อนการทอดมีผลทำให้มีการสูญเสียความชื้นน้อยลง ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันที่ดูดซับไว้น้อยลงด้วย

4. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของอาหารจากระบวนการทอด

4.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอาหาร

อาหารที่ผ่านการทอดเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในส่วนของไฮโดรพลาสซึมและโปรตีนโดยเกิดการแยกตัวออกจากกันของเซลล์อย่างรวดเร็ว ในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของผลิตภัณฑ์ การซึมผ่านของน้ำมันมีความสำคัญมากต่อการพัฒนาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์ค่อนข้างแข็งกรอบ น้ำมันจะเคลือบที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ก่อนเคลื่อนเข้าไปในผลิตภัณฑ์เมื่อความร้อนภายในเพิ่มขึ้น ความชื้นในอาหารระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนตัวออกจากผลิตภัณฑ์ผ่านทางรูเปิด (Beckett, 1995)

การทอดทำให้อาหารมีสี กลิ่น รสชาติ และความกรอบเพิ่มขึ้น รวมถึงปริมาณน้ำลดลง และยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น แต่จะสูญเสียสารอาหารระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะวิตามินที่ละลายได้ในไขมันเช่น วิตามินอี จะถูกออกซิไดส์ระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) เนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มอะมิโนอิสระของกรดอะมิโน เปปไทด์หรือโปรตีนทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอลดีไฮด์ น้ำตาลรีดิวซ์และสารประกอบคาร์บอนิลอื่นๆ ทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลของเมลานินซึ่งละลายน้ำได้และนอกจากนี้ยังทำให้เกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นและรสชาติอีกด้วย ปฏิกิริยานี้มักเกิดในอาหารแห้ง และสารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Maillard reaction สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำและไขมันได้ (Leszkowiat *et al.*, 1990)

4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทอด

ในระหว่างการทอด น้ำมันได้รับความร้อนที่สูงเป็นเวลานาน ความชื้นและออกซิเจนเกิดการเคลื่อนที่ออกจากอาหาร ทำให้เกิดการออกซิเดชันของน้ำมัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ carbonyls, hydroxyl acid, ketone acid, epoxy acid ทำให้อาหารมีกลิ่นรสผิดปกติ มีกลิ่นเหม็นหืนและน้ำมันมีสีคล้ำ เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลน้ำมัน (polymerization) คือออกซิเจนจะสลายตัวเป็นสารประกอบ cyclic compound และโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Fellow, 1990)

4.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอด

4.3.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ออกซิเจนที่อยู่ในน้ำมันเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำมันจะได้องค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ อนุมูลอิสระ สารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) เป็นต้น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดสารประกอบทั้งที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ สารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งแรก (primary oxidation products) จะมีสมบัติที่ไม่เสถียร สามารถเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันครั้งที่สอง (secondary oxidation products) ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้จากกระบวนการทอด (Warner, 1997)

4.3.2 การเกิดสารอะโครลีน

ไขมันและน้ำมันที่ได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะเกิดการไฮโดรไลซ์สารกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งจะสลายตัวให้สารอะโครลีนที่อุณหภูมิสูง อะโครลีนเป็นสารพิษที่อันตราย โดยจะทำให้สารประเภทไขมันเกิดการเสื่อมเสียและไม่สามารถบริโภคได้ หรือหากนำน้ำมันไปใช้ในกระบวนการทอดอาหารจะทำให้เกิดสารพิษนี้ได้เช่นกัน (รุ่งนภา, 2544)

4.3.3 การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไขมัน

การให้ความร้อนแก่อาหารประเภทไขมันเป็นเวลานานในสภาพที่มีออกซิเจนจะทำให้ไขมันไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เป็นผลให้โมเลกุลของไขมันเกิดเป็นสายยาว ซึ่งเมื่อเย็นลงก็จะทำให้ไขมันหรือน้ำมันมีลักษณะข้นเหนียว หากนำน้ำมันนี้ใช้ในครั้งต่อไปก็จะเกิดวันอย่างรวดเร็ว (รุ่งนภา, 2544)

5. การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของอาหารทอด

5.1. การเกิดการหืน

ปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดอาหารเกิดการหืน เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหารที่ผ่านกระบวนการทอด ซึ่งเกิดจากสาเหตุ 3 ประการคือ (Saguy and Dina, 2003)

5.1.1 Hydrolytic rancidity

เกิดจากโมเลกุลของน้ำมันหรือไขมันถูกไฮโดรไลซ์ที่ตำแหน่ง พันธะเอสเทอร์ ในน้ำมันนั้น แล้วแตกตัวเป็นโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กลีเซอรอล เกิดเป็นกรดไขมันอิสระในปริมาณที่สูงกว่าปกติ จึงทำให้มีกลิ่นคล้ายสบู่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ น้ำ ความชื้น อุณหภูมิที่เก็บรักษา หรืออยู่ในสารละลายตัวกลางที่เป็นน้ำ กรดหรือด่าง และอาจมีเอนไซม์ lipolytic enzyme ซึ่งมีอยู่แล้วตามธรรมชาติในอาหาร

5.1.2 Oxidative rancidity

การเกิด oxidative rancidity เกิดขึ้นเนื่องจากออกซิเจนเข้าไปแทนที่ตำแหน่งที่มีพันธะคู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้เองโดยไม่ต้องมีสารอื่นมาเกี่ยวข้อง เรียกปฏิกิริยานี้ว่า autoxidation (Proudft and Robinson, 1958) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองตลอดเวลา เสมือนปฏิกิริยาลูกโซ่ ส่งผลให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งจัดเป็นสารที่ไม่เสถียรและจะสลายตัวให้สารที่มีจำนวนของคาร์บอนอะตอมน้อยลงเป็นสารประกอบแอลดีไฮด์ คีโตน และกรด สารกลุ่มนี้จะระเหยให้กลิ่นเหม็นหืนในอาหาร อิทธิพลที่มีผลต่อการเกิด oxidative rancidity ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ทองแดง สังกะสี โลหะในกลุ่มทรานซิชันเป็นต้น

5.1.3 Ketonic rancidity

การเกิด ketonic rancidity เกิดจากจุลินทรีย์ในอาหารทำปฏิกิริยา β -oxidation ของไขมันหรือน้ำมัน ทำให้ได้สารประกอบคีโตน การหืนแบบนี้มักเกิดในน้ำมันมะพร้าวที่ขึ้นรา โดยมีความชื้นและสารอาหารพวกไนโตรเจนเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อการเจริญของรา เมื่อเกิดปฏิกิริยา

จะได้สารประกอบ methyl-amyl ketone นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดกับผลิตภัณฑ์นม การหั่นแบบนี้พบได้น้อยมากในอาหารที่ผ่านการแปรรูป บรรจุภาชนะบรรจุที่ดีและถูกสุกสุกสุก การป้องกันอาจทำได้โดยการกำจัดเชื้อรา หรือกำจัดสิ่งที่จะช่วยส่งเสริมการเจริญของเชื้อรา เช่น อากาศ ความชื้น สารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น

5.2 การเปลี่ยนสี

สีของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งความร้อนและการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการทอดส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ โดยมีตัวแปรที่เป็นปัจจัยสำคัญเช่น ชนิดของน้ำมัน อุณหภูมิของน้ำมัน และตัวอย่างที่ทอด (Krokida *et al.*, 2001) ในระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์อาจเกิดการเปลี่ยนสีขึ้นเนื่องจากปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) (Birch *et al.*, 1970)

5.3 การเจริญของจุลินทรีย์

เป็นที่ทราบกันว่า การเจริญของจุลินทรีย์จะมีความสัมพันธ์กับค่า a_w ดังนั้นสิ่งแรกที่จะต้องควบคุมคือ การลดค่า a_w ของอาหารให้อยู่ในช่วง 0.7-0.85 (Brockmann, 1970) ซึ่งที่สภาวะเช่นนี้ยีสต์และราก็ยังสามารถเจริญได้ Frazier (1967) รายงานว่า ยีสต์และราบางชนิดอาจถูกยับยั้งที่ a_w 0.88 และ 0.80 ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อราชอบที่แห้ง (xerophilic mold) และ osmophilic yeast จะสามารถอยู่ได้ที่ a_w 0.65 และ 0.60 ตามลำดับ ดังนั้นปัญหาของผลิตภัณฑ์ที่แห้งก็คือ การเจริญของเชื้อราซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษา

6. ภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุ ทำหน้าที่ในการบรรจุผลิตภัณฑ์ ป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอก ยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และใช้ในการโฆษณาเพื่อส่งเสริมการขาย (Moreira *et al.*, 1990)

ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอาหารทอด เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน โดยใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน เพื่อลดความชื้นและอาหารมีความกรอบ ผลิตภัณฑ์จึง

มีกระบวนการที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพลงคือ การเกิดกลิ่นหืนของไขมันและการสูญเสียความกรอบเนื่องจากอาหารไวต่อความชื้น (Moreira *et al.*, 1990)

จิตติมา และคณะ (2538) กล่าวถึง บรรจุภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น ควรมีคุณสมบัติดังนี้

6.1 ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ

อาหารที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 1-8 เช่น นมผง เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผง ชุปผง ขนมหั้วกรอบ จะไวต่อความชื้นมากกว่าอาหารพวกผลไม้แห้ง แป้ง แยม ลูกกวาด ปลาเค็ม ซึ่งมีความชื้นร้อยละ 6-40 จึงต้องการภาชนะบรรจุที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีมาก เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของอาหาร

6.2 ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

อาหารแห้งที่มีไขมันสูงจะเหม็นหืนได้ง่าย หากสัมผัสกับอากาศ เนื่องจากไขมันจะถูกออกซิไดส์ การบรรจุอาหารเหล่านี้จึงต้องกำจัดก๊าซออกซิเจนออกไปก่อนปิดผนึกภาชนะ วัสดุบรรจุที่ใช้ต้องป้องกันการซึมผ่านเข้ามาของก๊าซออกซิเจนได้ดีด้วย

6.3 ทึบแสง

เนื่องจากแสงช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดเหม็นหืน และทำลายวิตามิน หากไม่มีข้อจำกัดทางการตลาดที่ต้องการให้เห็นผลิตภัณฑ์ การใช้ภาชนะบรรจุทึบแสงจะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารแห้งได้ดีกว่าภาชนะบรรจุโปร่งแสง

6.4 ด้านทานการซึมผ่านของไขมันได้ดี

เพื่อป้องกันคราบน้ำมันบนภาชนะบรรจุ ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดคิดว่าเป็นของเก่า ไขมันที่ซึมผ่านออกมาอาจละลายหมีกิมพ์ ทำให้ดูสกปรก นอกจากนี้อาจทำให้เกิดการลอกชั้นของฟิล์มที่ประกอบติดกันได้

6.5 ป้องกันการซึมผ่านของกลืน

อาหารที่มีไขมันสูงจะดูดซับกลืนจากภายนอกได้ดี ภาชนะบรรจุที่ใช้จะต้องไม่มีกลืน และช่วยป้องกันกลืนจากภายนอกได้ด้วย

6.6 ทนทานจากรอยขีดข่วนได้ดี

อาหารแห้งบางชนิดมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมหรือมุมแหลมคมที่สามารถขีดขีดหรือทิ่มทะลุ ภาชนะบรรจุได้ ทำให้สูญเสียคุณสมบัติการป้องกันไอน้ำ ก๊าซและกลืนอาหารจะเน่าเสียเร็วขึ้น ถึงแม้รอยขีดขีดมิได้ทำให้ภาชนะรั่ว แต่อาจทำให้เป็นรอยถูเกาสำหรับผู้บริโภคอาจไม่ยอมรับได้

6.7 ป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นชิ้นบางๆ และกรอบ

ภาชนะบรรจุจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่ป้องกันแรงกระทำต่างๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการแตกหัก โดยทั่วไปนิยมใช้ภาชนะคงรูป เช่น กล่องกระดาษ กระป๋องโลหะ และกระป๋องกระดาษหลายชั้น

6.8 เหมาะกับการบรรจุด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ

สำหรับอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมใหญ่การบรรจุใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ การเลือกวัสดุบรรจุ จะต้องให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักรด้วย

6.9 ออกแบบสวยงามและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค

อาหารแห้งบางชนิดเช่น อาหารว่าง จะมีการแข่งขันในด้านการตลาดสูง จึงต้องพยายามออกแบบภาชนะบรรจุให้มีความโดดเด่นและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคได้ ภาชนะบรรจุจะต้องเปิดออกง่ายหรือสามารถปิดได้อีกเมื่อใช้ครั้งเดียวไม่หมด เพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้บริโภคในการใช้งานและการเก็บรักษา

7. สารดูดซับออกซิเจน

มีการใช้สารดูดซับออกซิเจนเพื่อลดระดับออกซิเจนให้เหลือน้อยกว่า 100 ppm และช่วยให้อายุการเก็บรักษาอาหารนั้นนานขึ้น องค์ประกอบส่วนใหญ่ของสารดูดซับออกซิเจนเป็น active iron oxide เมื่อดูดซับออกซิเจนแล้วจะเปลี่ยนเป็น oxidized iron และ iron hydroxide ที่เสถียร และอาจมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) เป็นองค์ประกอบด้วย (Labuza, 1987) Lin and Chang (1987) รายงานว่า การใช้สารดูดซับออกซิเจนบรรจุรวมในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์เนื้อหมูกึ่งแห้งที่มี a_w อยู่ในช่วง 0.78-0.85 จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาโดยไม่มีเชื้อราที่ผิวอาหารได้นานกว่า 4 เดือนโดยไม่ต้องใช้สารกันเชื้อรา ขณะที่ตัวอย่างอาหารที่ไม่ใช้สารดูดซับออกซิเจนมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 2 สัปดาห์เท่านั้น

การใช้สารดูดซับออกซิเจนรวมในภาชนะบรรจุอาหาร นอกจากจะช่วยป้องกันการเสื่อมคุณภาพและเน่าเสียจากเชื้อราแล้ว ยังช่วยในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนอื่นๆ รวมทั้งแมลงต่างๆ ขณะเดียวกันก็สามารถลดอัตราการเปลี่ยนแปลงสีได้อีกด้วย