

การบรรจุเนื้อสัตว์และสัตว์ปีก

เนื้อสัตว์ทั้งสัตว์บกและสัตว์ปีกเป็นแหล่งของโปรตีน ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยของกรดแอมิโนชนิดต่างๆ ที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุต่าง เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอน ไฮโดรเจนและซัลเฟอร์ และมีวิตามินและแร่ธาตุที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้ อาจแบ่งประเภทผลิตภัณฑ์ตามค่า a_w ได้เป็น

- ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มี a_w สูง ได้แก่ เนื้อสดและเนื้อปรุงสุกพร้อมบริโภค ซึ่งมักพบการเสื่อมเสียได้อย่างรวดเร็วภายใน 3-10 วัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น การปนเปื้อนก่อนการบรรจุและปิดผนึก และสภาวะในการขนส่ง เป็นต้น
- ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ประมงแปรรูปที่มี a_w ปานกลางหรือต่ำ เช่น การแช่เยือกแข็ง การฆ่าเชื้อด้วยความร้อนและปิดผนึกในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท เช่น บรรจุภัณฑ์กระป๋อง ขวดแก้ว และถุงรีทอร์ท (retort pouch) การหมักแบบต่างๆ เช่น หมักดอง หมักเกลือ และการทำแห้ง

เนื้อสัตว์ที่มี a_w ต่ำจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงมักไม่พบปัญหาการเสื่อมเสียจากแบคทีเรีย แต่อาจพบการเจริญเติบโตของเชื้อราบริเวณผิวหน้าที่สัมผัสกับความชื้นในบรรยากาศ โดยเฉพาะการเก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง และมักพบการเสื่อมเสียที่ไม่ใช่จุลินทรีย์ประเภทอื่นๆ เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเสียสภาพของโปรตีน การเกิดออกซิเดชันของไขมัน เป็นต้น ซึ่งทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัส เช่น สี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนแปลงไป

ลักษณะการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และสัตว์ปีก

- การสูญเสียน้ำและความชื้น
 - ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้ง (Surface desiccation) ซึ่งมักพบในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เช่น เนื้อสัตว์แช่เย็นหรือแช่เยือกแข็ง
 - การสูญเสียของเหลว (Drip, purge) ซึ่งเกิดจากกล้ามเนื้อของสัตว์สูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ เนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีน ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มของโปรตีน (protein aggregation) และกระทบต่อการยอมรับของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะสัตว์เนื้อแดง ทำให้ผู้บริโภคเห็นน้ำสีแดงฉ่ำเยิ้มในบรรจุภัณฑ์ บ่งชี้ถึงการสูญเสียคุณภาพ นอกจากนี้ ของเหลวดังกล่าวยังอุดมด้วยสารอาหารที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้เร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้อีกด้วย โดยอาจช่วยบรรเทาปัญหาการฉ่ำเยิ้มของของเหลวดังกล่าวโดยใช้แผ่นดูดซับของเหลว (liquid absorber pad) ซึ่งนิยมใช้กับบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บรรจุสุก
- การเกิดออกซิเดชันของไขมันในเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะเนื้อสัตว์บริเวณติดมัน เช่น คอหมู เนื้อวัว อาหารทะเล ซึ่งการเกิดออกซิเดชันดังกล่าวจะทำให้เกิดสารระเหยประเภทแอลดีไฮด์และคีโตน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์อีกด้วย
- การเสียสภาพของโปรตีนและการเกิดออกซิเดชันของโปรตีน ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกล้ามเนื้อ เช่น เนื้อสัมผัสเหนียวแข็ง (tough) การสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ

- การเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และจุลินทรีย์ก่อโรค ซึ่งมีหลากหลายประเภท เช่น
 - แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต
 - แบคทีเรียกลุ่มกรดแลคติก
 - จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน เช่น *Clostridium* spp.
 - ออกซิเจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากในเนื้อสัตว์ อาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ประเภทต่างๆ ทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต การกำหนดปริมาณออกซิเจนทางการบรรจุ จำต้องคำนึงถึงการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ประเภทต่างๆ เช่นกัน ทั้งนี้ การบรรจุแบบสุญญากาศจึงยังอาจพบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน เช่น จุลินทรีย์กลุ่มกรดแลคติก ซึ่งอาจปนเปื้อนจากกระบวนการผลิต รวมถึงจุลินทรีย์กลุ่ม *Clostridium* เป็นต้น

ตารางที่ 6.1 แสดงจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียประเภทต่างๆ ที่พบในปลาคอดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและสภาวะการบรรจุประเภทต่างๆ

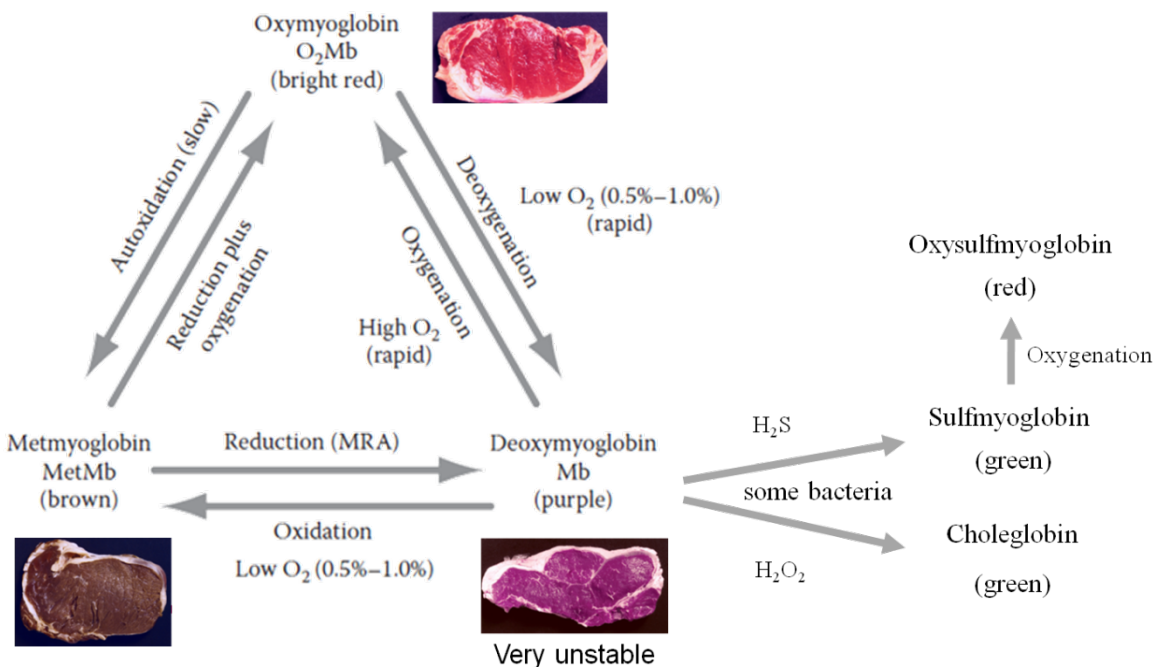
Storage temperature (°C)	Packaging atmosphere	Dominating microflora
0	Aerobic	Gram-negative psychrotrophic, nonfermentative rods (<i>Pseudomonas</i> spp., <i>S. putrefaciens</i> , <i>Moraxella</i> , <i>Acinetobacter</i>)
0	Vacuum	Gram-negative fermentative rods with psychrophilic character (<i>Photobacterium</i>) Gram-positive rods (<i>Lactobacillus</i> spp.)
5	Aerobic	Gram-negative psychrotrophic rods (<i>Vibrionaceae</i> , <i>S. putrefaciens</i>)
5	Vacuum	Gram-negative psychrotrophic rods (<i>Vibrionaceae</i> , <i>S. putrefaciens</i>)
5	MAP with CO ₂	Gram-negative psychrotrophic rods (<i>Vibrionaceae</i>)
5	MAP with high CO ₂ (>90%)	<i>Lactobacillus</i> spp.

ที่มา: Venugopal (2006)

- การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์สัตว์เนื้อแดง

ไมโอโกลบิน (myoglobin, Hb) เป็นโปรตีนที่จับกับออกซิเจนและเหล็ก เป็นรงควัตถุทำให้เกิดสีแดงหรือชมพูในสัตว์เนื้อแดง เช่น หมู วัวและปลาบางชนิด เช่น ทูน่า โดยสีดังกล่าวจะไม่คงตัวและจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 1

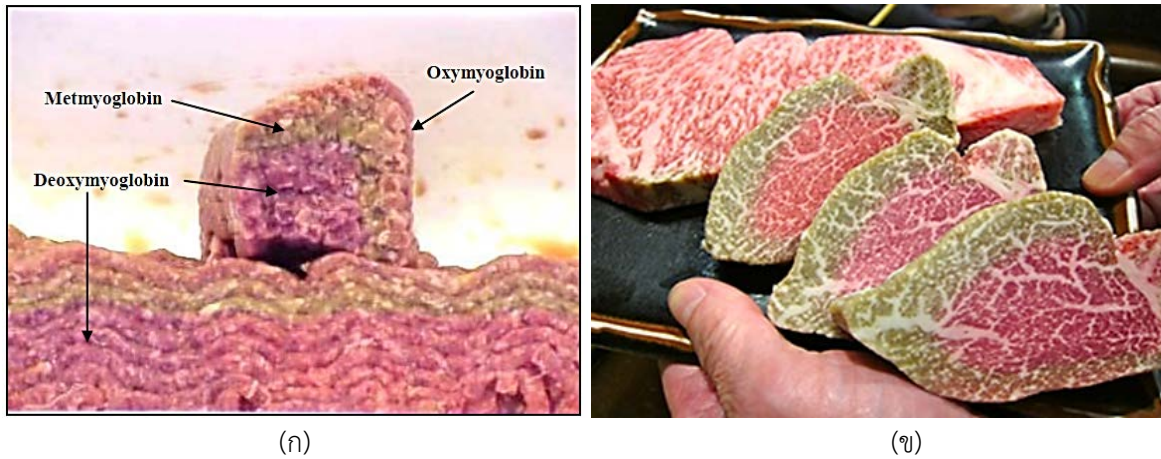
ในสภาวะที่มีออกซิเจนไมโอโกลบินจะอยู่ในรูปออกซีไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) ซึ่งมีสีแดงสด (bright red) ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (0.5 -1.0%) ออกซีไมโอโกลบินจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปดีออกซีไมโอโกลบิน (deoxymyoglobin) อย่างรวดเร็วซึ่งมีสีม่วงคล้ำ หรืออาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างช้าๆ ไปอยู่ในรูปเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) ซึ่งมีสีน้ำตาล ทั้งนี้ ดีออกซีไมโอโกลบินจะไม่เสถียรและเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปเมทไมโอโกลบินได้ง่าย ดังนั้น ปริมาณออกซิเจนจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของสัตว์เนื้อแดง การบรรจุแบบตัดแปรบรรยากาศในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำและการบรรจุสุญญากาศจึงอาจส่งผลให้สีของเนื้อสัตว์คล้ำขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินในเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสีแดงกล่าวจะผันกลับได้ กล่าวคือ เมื่อปริมาณออกซิเจนเพียงพอ เมทไมโอโกลบินจะเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปออกซีไมโอโกลบินได้ ทำให้เนื้อสัตว์กลับมามีสีแดงสดอีกครั้ง



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินจากสภาวะแวดล้อมต่างๆ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Robertson (2013)

นอกจากนี้ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ยังทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไมโอโกลบินไปอยู่ในรูป ซัลฟไมโอโกลบิน (sulfmyoglobin) และโคเลโกลบิน (choleglobin) ตามลำดับ ซึ่งเป็นสารที่มีสีเขียว ดังนั้น เนื้อสัตว์เน่าเสีย จึงสังเกตเห็นสีเขียวปรากฏบนเนื้อจากรงควัตถุดังกล่าว นอกจากนี้ เมื่อซัลฟไมโอโกลบินผ่านกระบวนการออกซิจีเนทจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปออกซีซัลฟไมโอโกลบิน (oxysulfmyoglobin) ซึ่งมีสีแดง



ภาพที่ 6.4 การเปลี่ยนแปลงสีของ (ก) เนื้อวัวบด และ (ข) เนื้อวัวแช่เยือกแข็ง เนื่องจากไมโอโกลบินในรูปแบบต่างๆ

ปัจจัยที่เร่งการดื้อออกซิจีเนทของเม็ดสีในเนื้อสัตว์ ได้แก่

- pH ต่ำ (< 5.4)
- อุณหภูมิสูง
- แสงยูวี
- เกลือ
- ปริมาณออกซิเจนต่ำ

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะจับกับไมโอโกลบินทำให้ได้คาร์บอกซีไมโอโกลบินซึ่งมีสีแดงสด หรือบลูม (bloom) ที่มีความเสถียรมาก จึงมีการใช้เทคโนโลยีการรมด้วยแก๊สดังกล่าวกับสัตว์เนื้อแดงเพื่อให้ได้สีแดงของเนื้อสัตว์ที่มีความคงตัวสูงและอาจบดบังการเสื่อมเสียของเนื้อสัตว์ ทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในสหภาพยุโรปไม่อนุญาตให้ใช้แก๊สดังกล่าว แต่ในประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้แก๊สดังกล่าว โดยให้ข้อมูลความระบุนบรรจุกฎเกณฑ์ว่า สีของผลิตภัณฑ์ไม่อาจใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันความเข้าใจผิดของผู้บริโภค นอกจากนี้ สารประกอบไนไตรต์ก็ช่วยรักษาสีแดงของเนื้อสัตว์ได้เป็นอย่างดีเช่นกัน

บรรจุกฎเกณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ประมง

บรรจุกฎเกณฑ์ที่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์นอกเหนือจากความต้องการด้านการรักษาคุณภาพและความปลอดภัยแล้ว เนื่องจากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีความชื้นสูงจึงควรเลือกใช้บรรจุกฎเกณฑ์ที่ช่วยป้องกันการเกิดฝ้าหรือไอน้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะบนผิวฟิล์ม โดยการเติมสารต้านการเกิดฝ้า (antifogging) ลงในฟิล์ม ทั้งนี้ปริมาณไอน้ำที่อึดตัวในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้น อุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาจึงมีอิทธิพลต่อปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำในบรรจุกฎเกณฑ์

ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปมักวางเป้าหมายอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน เนื่องจากกระบวนการแปรรูปทำลายเชื้อจุลินทรีย์หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร การเสื่อมเสียของอาหารจึงมักพบมาจากการเสื่อมเสียทางกายภาพหรือเคมี ซึ่งป้องกันได้โดยการใช้บรรจุกฎเกณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านต่างๆ ได้สูง รวมถึงมีโครงสร้างที่แข็งแรงปกป้องอาหารจากการเสื่อมเสียทางกายภาพ บรรจุกฎเกณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปมีความหลากหลายตามประเภทของการแปรรูป ตารางที่ 6.3 แสดงลักษณะและข้อดีของบรรจุกฎเกณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป ได้แก่

- फिल्मชั้นเดียว (single ply film) เช่น PE หรือ PP ซึ่งนิยมใช้กับอาหารทะเลแช่เย็นหรือแช่แข็ง หรือเนื้อสัตว์แช่เย็น อายุการเก็บรักษาสั้น โดยอาจมีการเคลือบผิววัสดุเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการซึมผ่าน เช่น PVdC ซึ่งช่วยลดการซึมผ่านของแก๊สได้เป็นอย่างดี
- วัสดุลามิเนต ที่มีการใช้วัสดุเป็นแผ่นหลายชั้นช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านการซึมผ่าน เช่น PET/PE หรือ OPA/PE
- ถ้วยหรือถาด เช่น PS, EPS, PVC ซึ่งใช้ฟิล์มปิดผนึกถาดหรือฟิล์มหดรัด นอกจากนี้ ยังมีการใช้ถ้วยที่มีการลามิเนต วัสดุหลายชั้น เช่น PE/EVOH/PE เพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการซึมผ่านและยืดอายุการเก็บรักษา
- ฟิล์มหดรัด จากวัสดุ PE โดยการให้ความร้อนเพื่อให้ฟิล์มหดตัวแนบกับผิวผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยลดช่องว่างเหนืออาหาร ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการแปรรูปเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากลดช่องว่างระหว่างอาหารกับตัวกลาง (medium) ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงในกระบวนการให้ความร้อนหรือทำให้เย็นเกิดได้ดีขึ้น ทั้งนี้ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีคม เช่น กระจุก ชากสัตว์ เปลือก ควรเลือกใช้ฟิล์มที่มีความเหนียวทนทานต่อการเจาะทะลุจากความแหลมคมดังกล่าวได้ดี ทั้งนี้ อาจมีการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มหดรัดโดยลามิเนตกับวัสดุที่ช่วยป้องกันแก๊สออกซิเจน เช่น EVOH ดังแสดงในภาพที่ 6.7
- ฟิล์มยืด เช่น PE PVC พันรอบอาหาร ใช้กับอาหารที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากการพันรอบอาหารอาศัยแรงคนหรือเครื่องจักรซึ่งไม่ต้องผ่านความร้อน
- การบรรจุสุญญากาศ ด้วยฟิล์มพอลิเอสเตอร์ เช่น OPA เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นหืน
- การบรรจุแบบแอคทีฟ ซึ่งมีการปลดปล่อยหรือดูดซับสารต่างๆ เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เช่น วัตถุดูดซับความชื้น วัตถุปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ วัตถุปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ เป็นต้น

เทคโนโลยีการบรรจุเพื่อยืดอายุผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ประมง

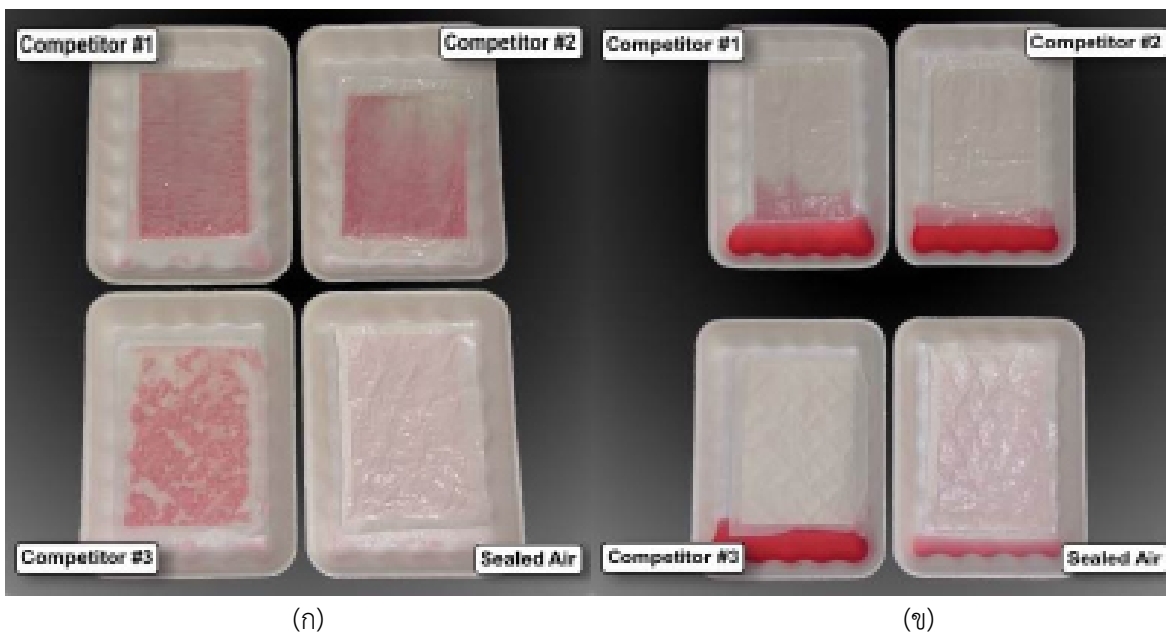
- การบรรจุในสภาพดีดแปรบรรยากาศ

การบรรจุในสภาพดีดแปรบรรยากาศสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์แช่เย็นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีฤทธิ์ด้านการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพต้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ร้อยละ 20 ขึ้นไปของปริมาตรแก๊สทั้งหมด ทั้งนี้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ละลายได้ดีในองค์ประกอบอาหาร ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการยุบตัวของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดคุณลักษณะไม่พึงประสงค์ต่อผู้บริโภค ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องเติมแก๊สไนโตรเจนเข้าไป เพื่อทำหน้าที่รักษาปริมาตรให้บรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ การละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลงในองค์ประกอบอาหาร อาจทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารลดลง ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนในอาหาร

โดยทั่วไป แก๊สออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร อย่างไรก็ตาม ออกซิเจนช่วยรักษาสีแดงสดให้แก่ผลิตภัณฑ์เนื้อแดง และยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (anaerobic bacteria)

- การใช้แผ่นดูดซับของเหลว

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่เย็น และผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งที่ผ่านการทำละลาย มักพบปัญหาการไหลเยิ้มของน้ำออกจากถ้ำเนื้อของสัตว์เนื่องจากการเสียดสภาพของโปรตีนซึ่งทำให้เกิดคุณลักษณะไม่พึงประสงค์ต่อผู้บริโภคและเร่งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ การใช้วัสดุดูดซับของเหลวจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ทั้งนี้ การศึกษาประสิทธิภาพแผ่นดูดซับของเหลวต้องสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่ไหลเยิ้มออกของผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถดูดซับของเหลวที่แยกออกจากผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการวางจำหน่ายหรือเก็บรักษา นอกจากนี้ ผู้ผลิตในปัจจุบันมีการพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุดังกล่าวให้สอดคล้องกับการใช้งาน ทั้งในแง่การบดบังสีแดง (ภาพที่ 2 ก) และประสิทธิภาพการดูดซับในรูปแบบการวางจำหน่ายแบบเอียง 45 องศา (ภาพที่ 2 ข)



ภาพที่ 2 ลักษณะแผ่นดูดซับของเหลวสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เปรียบเทียบ (ก) ประสิทธิภาพของการบดบังสีแดง และ (ข) ประสิทธิภาพการดูดซับของเหลวเมื่อวางเอียงทำมุม 45 องศา

ที่มา: <http://www.cryovac.com/AP/EN/food-packaging-products/premier-driloc.aspx>

การใช้บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์

การบรรจุสารต้านจุลินทรีย์ลงในบรรจุภัณฑ์ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เอทานอล ไนซิน สารระเหยจำพวกน้ำมันหอมระเหย เครื่องเทศบางชนิด รวมถึงสารสังเคราะห์ต่างๆ ทั้งนี้ ปริมาณและชนิดสารต้านจุลินทรีย์นั้น มีความจำเพาะเจาะจงต่อจุลินทรีย์แต่ละประเภท การเลือกใช้สารดังกล่าวจึงต้องสอดคล้องกับชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในเนื้อสัตว์แต่ละประเภท อีกทั้งต้องศึกษาปริมาณสารต้านจุลินทรีย์ที่เหมาะสมเพียงพอต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าว บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์อาจอยู่ในรูปของ

- พอลิเมอร์ที่มีฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์ เช่น ไคโตซาน

- สารต้านจุลินทรีย์บรรจุในซอง (sachet) ที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์อาหาร เพื่อปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา
- สารต้านจุลินทรีย์ที่ผสมลงในวัสดุบรรจุภัณฑ์
- การเคลือบผิวบรรจุภัณฑ์ด้วยสารต้านจุลินทรีย์
- การเคลือบผิวอาหารด้วยสารต้านจุลินทรีย์

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐคนัย หาญการสุจริต. (2559). เอกสารประกอบการสอนวิชาการบรรจุในอุตสาหกรรมอาหาร. ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Dixon, J. (2011). Packaging materials: 9. Multilayer packaging for food and beverages. ILSI Europe a.i.s.b.l. Brussels, Belgium
- Robertson, G. L. (2013). Food packaging: principles and practice. CRC press.
- Venugopal, V. (2006). Seafood processing: adding value through quick freezing, retortable packaging and cook-chilling. CRC press.