บทที่ 2
การทบทวนเอกสาร

2.1 เทคโนโลยีเฮอร์เดิล (Hurdle Technology)

2.1.1 บทนำ

แนวคิดของเทคโนโลยีเฮอร์เดิล เป็นการประยุกต์ใช้ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารหรือเฮอร์เดิล (hurdle) หลายๆ เฮอร์เดิลมาใช้ร่วมกันเพื่อเพิ่มความคงตัว (stability) ความปลอดภัย (safety) และคุณภาพของอาหาร (quality) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร และยังสามารถคงคุณลักษณะที่ดีทางประสาทสัมผัสไว้ได้ แนวคิดนี้เริ่มต้นมาจากนักจุลชีววิทยาทางอาหารชื่อ Lothar Leistner ชาวเยอรมัน ซึ่งเป็นผู้ตั้งชื่อเทคโนโลยีเฮอร์เดิลเป็นคนแรกหลังจากเกษียณตนเองจากสถาบันวิจัยเนื้อสัตว์แห่งประเทศเยอรมัน (the German Meat Research Institute) โดยได้เผยแพร่แนวคิดดังกล่าว เพื่อประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารทั้งในประเทศอุตสาหกรรมและประเทศที่กำลังพัฒนา นักวิจัยอีกท่านหนึ่งที่มีบทบาทอย่างมากเกี่ยวกับเทคโนโลยีเฮอร์เดิล ได้แก่ Graham W. Gould ชาวเยอรมัน ซึ่งได้อธิบายหลักการของเฮอร์เดิลเทคโนโลยีโดยใช้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้การใช้เฮอร์เดิลต่างๆ ร่วมกันในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้อธิบายกลไกเกี่ยวกับ โฮมีโอสเตซีส (homeostasis) ปฏิกิริยาความเครียด (stress reactions) การตอบสนองในระยะคงที่ (stationary phase response) และการอ่อนแรงเนื่องจากเมตาโบลิซึม (metabolic exhaustion) ซึ่งกลไกเหล่านี้สามารถอธิบายผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการใช้เทคโนโลยีเฮอร์เดิลได้เป็นอย่างดี (Leistner, 2000; เอกสารวิชาการคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์ และนำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล ส่วนใหญ่จะสามารถยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์รวมทั้งการทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตช้าลง แบ่งออกได้ดังนี้

1. ปัจจัยภายใน (intrinsic factors) ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพและเคมี ที่อยู่ในตัวอาหาร ซึ่งสัมผัสกับจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ โดยที่จุลินทรีย์ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ปัจจัยกระบวนการผลิต (processing factors) ได้แก่ วิธีการต่างๆ ที่จงใจนำมาใช้กับอาหารเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร

3. ปัจจัยภายนอก (extrinsic factors) ได้แก่ ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อจุลินทรีย์ในอาหารที่ใส่เข้าไปจากภายนอกอาหารและมีประสิทธิภาพในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร

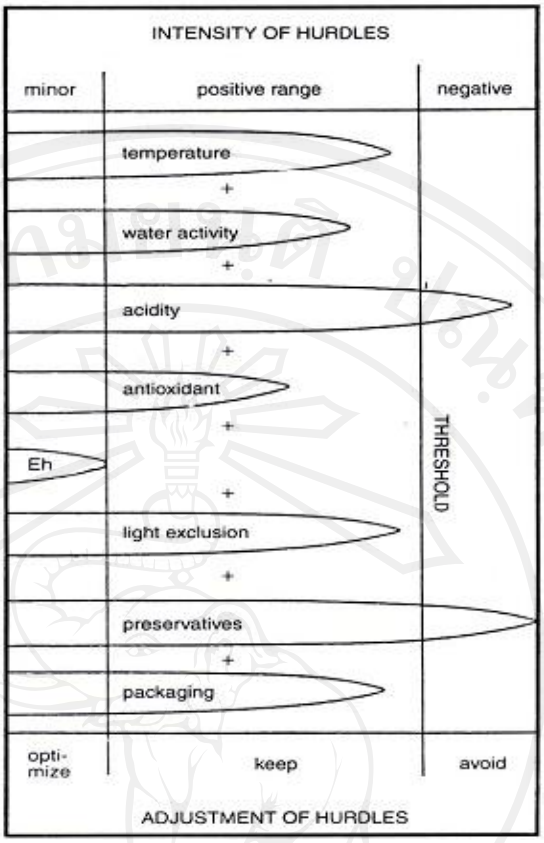
4. ปัจจัยที่มีอยู่ (implicit factors) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวของกับธรรมชาติของจุลินทรีย์ที่ปรากฏและมีปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน ภายในสภาพแวดล้อมที่จุลินทรีย์นั้นสัมผัสในระหว่างการเจริญเติบโต

5. ปัจจัยของผลโดยรวม (net effects) ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดการรวมกัน (combinations) ของปัจจัยที่อาจจะไม่สามารถทำนายผลได้แน่นอนแต่คาดว่าอาจจะมีผลมากกว่าปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงปัจจัยเดียว

การเลือกใช้เฮอร์เดิลที่เหมาะสม นอกจากจะช่วยปรับปรุงความคงตัวและความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์แล้ว ยังช่วยทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์เพิ่มขึ้นอีกด้วย ตัวอย่างเช่น ปริมาณน้ำที่มีในผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงตัว ถ้าค่า a_w ที่เพิ่มขึ้นถูกชดเชยด้วยเฮอร์เดิลอื่นๆ เช่น ค่า pH หรือค่ารีดอกซ์โพเทนเชียลจะมีผลทำให้สามารถลดต้นทุนหรือเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในด้านการผลิตผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

เฮอร์เดิลที่มีในอาหารอาจมีผลต่อความคงตัวและความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ เทคโนโลยีและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์และอาจมีผลทั้งด้านลบ (negative) หรือด้านบวก (positive) ต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้ม (intensity) ของเฮอร์เดิลที่เลือกใช้ ยกตัวอย่างเช่น ค่า pH ของไส้กรอกหมัก (fermented sausages) ซึ่งควรจะต้องมีค่าที่ต่ำเพียงพอที่จะยับยั้งเชื้อโรคได้ แต่ต้องไม่ทำให้เกิดรสเปรี้ยวมากเกินไปจนผู้บริโภคไม่ยอมรับ เป็นต้น ดังนั้นถ้าความเข้มของเฮอร์เดิลแต่ละชนิดมีมากหรือน้อยเกินไป จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (optimal range) โดยคำนึงถึงทั้งความปลอดภัยและคุณภาพของอาหาร (เอกสารวิชาการคณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2546) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

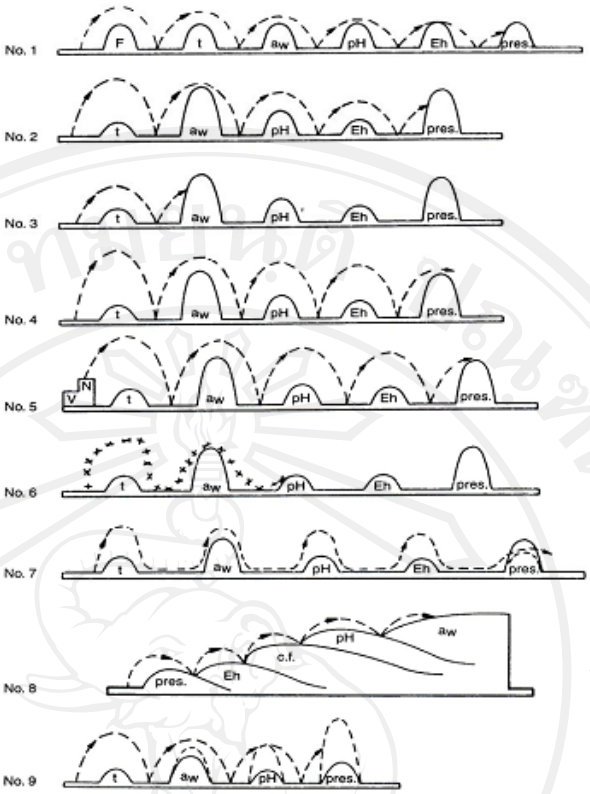


ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างเฮอร์เดิลคุณภาพ ซึ่งควรอยู่ในช่วงบวก (positive range) หรือการปรับลดหรือเพิ่มความเข้มของเฮอร์เดิลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม
ที่มา : เอกสารวิชาการคณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร (2546)

2.1.2 ผลของเฮอร์เดิล (Hurdle effect)

ผลของเฮอร์เดิลเป็นความสำคัญพื้นฐานในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เฮอร์เดิลหรือปัจจัยที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารนั้น จะต้องสามารถควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารแต่ละชนิดไว้ได้ การใช้ผลของเฮอร์เดิลอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถก้าวข้ามปัจจัยที่นำมาใช้ ไม่เช่นนั้นอาหารจะเกิดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และอาจทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้ ตัวอย่างผลของเฮอร์เดิลแสดงดังภาพที่ 2.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างผลของเฮอร์เดิล (F-การใช้ความร้อน, t-การแช่เย็น, a_w-ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้, pH-ความเป็นกรด, Eh-รีดอกซ์โพเทนเชียล, pres.-การใช้สารกันเสีย, V-วิตามิน, N-สารอาหาร, c.f.-จุลินทรีย์คู่แข่ง)
ที่มา : เอกสารวิชาการคณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร (2546)

จากภาพที่ 2 ตัวอย่างที่ 1 แสดงให้เห็นถึงอาหารที่มีความคงตัวเมื่อใช้เฮอร์เดิลจำนวน 6 เฮอร์เดิล ได้แก่การใช้ความร้อนสูง (ค่า F) ในระหว่างการแปรรูป การใช้อุณหภูมิต่ำ (t) ในระหว่างการแช่เย็น การปรับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) การปรับความเป็นกรด (pH) และการปรับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Eh) ของอาหาร ตัวอย่างนี้เป็นเพียงทฤษฎีเท่านั้นเนื่องจากกำแพงมีความสูงเท่ากันหรือความเข้ม (intensity) ของเฮอร์เดิลทุกเฮอร์เดิลมีค่าเท่ากัน ซึ่งกรณีนี้จะเกิดขึ้นหรือพบได้ยากในอาหาร ในตัวอย่างที่ 2 จะเห็นว่าความคงตัวของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับเฮอร์เดิลที่มีความเข้มแตกต่างกัน โดยจะเห็นว่าเฮอร์เดิลที่สำคัญหรือเป็นเฮอร์เดิลหลัก ได้แก่ ค่า a_w และสารกันเสีย ส่วนเฮอร์เดิลที่มีความสำคัญรองลงมาได้แก่การแช่เย็น ค่า pH และรีดอกซ์โพเทนเชียล โดยจะเห็นว่าการใช้เฮอร์เดิลทั้ง 5 ชนิดจะเพียงพอในการทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดที่มีอยู่ในปริมาณปกติเดิมในอาหารได้ ตัวอย่างที่ 3 แสดงการใช้เฮอร์เดิลเพียงเล็กน้อยและความเข้มต่ำ ซึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถทำให้อาหารมีความคงตัวทางจุลินทรีย์ได้ ตัวอย่างเช่น การบรรจุแบบปลอดเชื้อของอาหารที่เสื่อมเสียง่าย (perishable foods) ซึ่งลดการปนเปื้อนซ้ำของอาหารที่ผ่านการให้ความร้อน เช่น ในการลดปริมาณเชื้อเริ่มต้นของเนื้อสัตว์หรือในผลไม้ที่มีความชื้นสูง โดยอาจใช้ความร้อนจากไอน้ำ ซึ่งจะทำให้มีจุลินทรีย์ที่เหลือลดน้อยลงและทำให้ง่ายต่อการยับยั้งเชื้อปริมาณที่มีอยู่ดังกล่าว แต่ในทางตรงกันข้ามในตัวอย่างที่ 4 แสดงถึงการมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในผลิตภัณฑ์ที่สูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการผลิตที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ทำให้เฮอร์เดิลที่มีอยู่ไม่สามารถกีดขวางการเจริญของเชื้อที่ปนเปื้อนดังกล่าวได้ ในส่วนของตัวอย่างที่ 5 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสารอาหาร (nutrients) และวิตามิน (vitamins) ที่อุดมสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีจนสามารถข้ามเฮอร์เดิลต่างๆ ได้ และเรียกผลที่เกิดขึ้นว่า ผลบูสเตอร์ (booster) หรือผลแทรมโพลิน (trampoline effect) การที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นี้เกิดความคงตัวจากจุลินทรีย์ จึงต้องเพิ่มเฮอร์เดิลหรือความเข้มของเฮอร์เดิลให้มากขึ้น ตัวอย่างที่ 6 แสดงพฤติกรรมของจุลินทรีย์ที่บาดเจ็บ เช่น สปอร์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งเมื่อเกิดการงอกของเซลล์ขึ้นมาแล้วจะพบว่าเซลล์ใหม่นั้น ขาดความมีชีวิต (vitality) หรือในกรณีที่เซลล์ปกติ (vegetative cells) ของเชื้อได้รับความร้อนและเกิดการบาดเจ็บขึ้น จะทำให้ง่ายต่อการยับยั้งหรือทำลายจากเฮอร์เดิลที่มีหรือใช้ในอาหาร เช่น สารกันเสีย ซึ่งธรรมชาติของการบาดเจ็บของจุลินทรีย์ดังกล่าวจะทำให้ทนต่อความเครียดได้ต่ำลง จึงสามารถถูกยับยั้งได้โดยการใช้เฮอร์เดิลเพียงไม่กี่ชนิดหรือใช้เฮอร์เดิลที่ความเข้มต่ำ เฮอร์เดิลบางชนิดอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ปริมาณความชื้นของอาหารที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษา จะทำให้เฮอร์เดิลวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w hurdles) สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ความคงตัวทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น แต่ในกรณีของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่เติมสารไนไตรท์และบรรจุกระป๋อง (canned cured meat) พบว่าเฮอร์เดิลสารกันเสีย (preservative hurdles) จะลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น แสดงในตัวอย่างที่ 7 ทั้งนี้เนื่องจาก หลังจากที่ไนไตรท์สลายตัวลงจนหมดจะทำให้สปอร์ที่ยังคงอยู่อาจเริ่มงอกและเจริญขึ้นมา ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียและอาจทำให้เสี่ยงต่อโรคอาหารเป็นพิษได้ ตัวอย่างที่ 8 แสดงเฮอร์เดิลที่ให้ผลตามลำดับ (sequencial action) ในไส้กรอกหมัก (fermented sausages) และในตัวอย่างที่ 9 แสดงผลของเฮอร์เดิลที่ให้ผลเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกันในอาหาร (เอกสารวิชาการวิชาการคณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 การตอบสนองของจุลินทรีย์ต่อเฮอร์เดิล

การถนอมรักษาอาหารด้วยเทคโนโลยีเฮอร์เดิล เป็นการทำให้จุลินทรีย์อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมหรือเป็นอุปสรรคต่อการเจริญ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญ ความสามารถในการรอดชีวิตต่ำลง หรือทำให้จุลินทรีย์ตาย การตอบสนองของจุลินทรีย์ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมดังกล่าว อาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์สร้างกลไกบางประการเพื่อให้สามารถรอดชีวิตและเจริญได้ โดยเรียกกลไกเหล่านี้ว่าโฮมีโอสเตซิส (homeostasis) (Leistner, 2000)

2.1.3.1โฮมีโอสเตซิส (homeostasis)

กลไกโฮมีโอสเตติก (homeostatic mechanisms) เป็นกลไกที่ทำให้กิจกรรมและตัวแปร (parameters) ทางสรีรวิทยาที่สำคัญในจุลินทรีย์ยังคงดำเนินต่อไปเสมือนปกติ ซึ่งเป็นผลทำให้มีการเจริญต่อไปและสามารถดำรงชีวิตอยู่รอดได้ ดังนั้นเทคโนโลยีเฮอร์เดิลที่มีประสิทธิภาพจะต้องสามารถยับยั้งหรือเอาชนะกลไกที่ตอบสนองของจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่หรือโฮมีโอสเตซิสนี้ได้

กลไกโฮมีโอสเตติกส่วนใหญ่ของจุลินทรีย์เป็นแบบแอคทีฟ (active) โดยเซลล์จุลินทรีย์จะใช้พลังงานในการผ่อนคลายหรือลดความเครียด (stress) ที่เกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น การสังเคราะห์องค์ประกอบใหม่ การซ่อมแซมองค์ประกอบของเซลล์ที่ถูกทำลาย การเพิ่มปริมาณสารหรือโมเลกุลเฉพาะชนิดเข้าและออกจากเซลล์เมมเบรน เป็นต้น ในทางตรงกันข้ามกลไกโฮมีโอสเตติกบางประเภทของจุลินทรีย์จะเป็นแบบพาสซีฟ (passive) ซึ่งหมายถึงกลไกนี้ได้สร้างขึ้นภายในเซลล์ก่อนที่เซลล์จะสัมผัสกับกับความเครียด ตัวอย่างเช่น refractory homeostasis เป็นกลไกที่สร้างขึ้นภายในสปอร์ของแบคทีเรียในระหว่างการสร้างสปอร์ ซึ่งเป็นผลทำให้สปอร์สามารถทนต่อความร้อนและสภาวะที่ไม่เหมาะสมอื่นๆ ที่เกิดขึ้นตามมา นอกจากนี้ยังมีกลไกโฮมีโอสเตติกอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า population homeostasis ซึ่งเป็นกลไกที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นเพื่อรักษาสัดส่วนของปริมาณเชื้อในสภาวะหนึ่งๆ ไว้ให้คงที่ แม้ว่าสภาพแวดล้อมภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยอาจเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างเชื้อแต่ละชนิด โดยอาจปรับตัวให้อยู่ร่วมกันได้หรือยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ไม่ให้เจริญจนกลายเป็นจุลินทรีย์คู่แข่ง เป็นต้น (Leistner, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3.2 การอ่อนแรงเนื่องจากเมตาโบลิซึม (metabolic exhaustion)

การอ่อนแรงเนื่องจากเมตาโบลิซึมเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญในจุลินทรีย์ และอาจนำไปสู่กระบวนการ ออโตสเตอริไลเซชั่น (autosterilization) เช่น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้ออาหารบรรจุกระป๋อง โดยที่สปอร์ที่เหลือหรือรอดชีวิตจะเริ่มงอก

แต่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม หรือรุนแรงมากพอที่จะสามารถยับยั้งหรือป้องกันการเจริญของเซลล์ปกติ (vegetative cell) จากสปอร์ที่งอกได้ เช่น การปรับลดค่า a_w ให้ต่ำลง จะเป็นผลให้สปอร์ที่เริ่มงอกค่อยๆ ตายลง เป็นต้น การที่ความเข้มของเฮอร์เดิลแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้ จุลินทรีย์ใช้พลังงานมากขึ้นจนทำให้เกิดการอ่อนแรงมากขึ้นจนกระทั่งจุลินทรีย์ถูกทำลาย ซึ่งอัตราการตาย (death rate) ของเชื้อในอาหารที่ยืดอายุการเก็บรักษาโดยการใช้เทคโนโลยเฮอร์เดิลจะมีค่าสูงสุดเมื่อความเข้มของเฮอร์เดิลใกล้เคียงกับความเข้มต่ำที่สุด (minimum hurdle intensity) ที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ โดยจากรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการอ่อนแรงเนื่องจากเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์อาจกล่าวได้ว่า การอ่อนแรงของเมตาโบลิซึมจะเกิดได้ดีขึ้น ถ้าใช้เฮอร์เดิลมากขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการรักษาโฮมีโอสเตซิสในเซลล์ไว้ ภายใต้สภาวะที่มีความเครียดเกิดขึ้นและในกรณีที่ความคงตัวของอาหารมีค่าเข้าใกล้ขีดเริ่มสำหรับการเจริญของเชื้อ (threshold) อุณหภูมิของการเก็บรักษาอาหารเพิ่มขึ้น การใช้สารยับยั้งจุลินทรีย์ การมีสภาวะไร้อากาศที่มากกว่า และการที่จุลินทรีย์เกิดการบาดเจ็บ จะส่งผลให้การอ่อนแรงของเซลล์ปกติ (vegetative cell) เกิดได้รวดเร็วยิ่งขึ้น จากการที่จุลินทรีย์ใช้พลังงานที่มีอยู่จนหมดและตายลงเพราะปรากฏการณ์การอ่อนแรงเนื่องจากเมตาโบลิซึม (Leistner, 2000)

2.1.3.3 ปฏิกิริยาความเครียด (stress reactions)

ปฏิกิริยาความเครียดของจุลินทรีย์เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สัมผัสกับเฮอร์เดิลที่มีในอาหาร หรือใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารและมีผลทำให้จุลินทรีย์เพิ่มความต้านทาน (resistance) ต่อความเครียดแต่ละอย่างที่เกิดขึ้น และในบางครั้งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ กล่าวคืออาจมีผลทำให้เพิ่มระดับหรือความสามารถในการก่อโรค (pathogenicity) ของเชื้อโรคได้ มีรายงานเกี่ยวกับกลไกการตอบสนองของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปที่เรียกว่า global response เช่น กลไกการตอบสนองของจุลินทรีย์ที่อยู่ในสภาพขาดแคลนอาหาร (starvation) ซึ่งมักเกิดขึ้นในการเลี้ยงเชื้อ โดยที่ธาตุอาหารเริ่มหมดลง ทำให้การเจริญของเชื้อเริ่มลดช้าลงและเซลล์เข้าสู่ระยะคงที่ (stationary phase) จึงเรียกกลไกที่เกิดขึ้นนี้ว่า การตอบสนองในระยะคงที่ (stationary phase response) กลไกนี้พบว่าถูกควบคุมโดย RpoS regulator ซึ่งควบคุมการแสดงออกของยีน (genes) ที่สำคัญหลายชนิดที่ทำให้เกิดการต้านทานความเครียดที่เกิดขึ้นในระยะคงที่ดังกล่าว กลไกการตอบสนองโดยทั่วไปของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของเซลล์จุลินทรีย์ เช่น การบาดเจ็บเนื่องจากความร้อน เช่น การสังเคราะห์โปรตีนที่เรียกว่า heat shock proteins และการสร้างสารอื่นๆ เนื่องจากการตอบสนองต่อความร้อนที่จุลินทรีย์ได้รับ เป็นต้น (Leistner, 2000)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 การยืดอายุการเก็บอาหารแบบหลายเป้าหมาย (multitarget preservation)

ในการใช้เทคโนโลยีเฮอร์เดิลเพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารที่มีประสิทธิภาพ ทำได้โดยการใช้เฮอร์เดิลหลายชนิดร่วมกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาความเครียด (stress reactions) และเกิดการปรับตัว (adaptations) โดยที่เฮอร์เดิลต่างๆ ที่นำมาใช้จะมีผลต่อเป้าหมาย (target) ที่แตกต่างกันภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยอุดมคติแล้วจะมีลักษณะในทางเสริมฤทธิ์ (synergistic) กันมากกว่าที่จะทำให้เกิดผลบวก (additive effects) ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแบบหลายเป้าหมายโดยใช้ไนซิน (nisin) ซึ่งมีผลในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้หลายชนิด รวมทั้งแบคทีเรียก่อโรค โดยการทำลายเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรีย ร่วมกับการใช้ไลโซไซม์ (lysozyme) และซิเตรท (citrate) ซึ่งทำให้เกิดการแตกออกของพันธะระหว่าง *N*-acetylmuramic acid และ *N*-acetylglucosamine ของเปบติโดไกลแคน (peptidoglycan) ในผนังเซลล์ (Ntzimani et al., 2010) ซึ่งแบคทีเรียไม่สามารถซ่อมแซมให้กลับคืนมาได้ เนื่องจากขอบเขตการออกฤทธิ์ที่กว้างของไนซิน และการเสริมฤทธิ์กันของสารที่ใช้ เป็นต้น

การเสริมฤทธิ์กันของเฮอร์เดิลชนิดต่างๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในอาหารนั้นจะเกิดขึ้นได้ดี ถ้าเฮอร์เดิลที่ใช้สามารถทำลายเป้าหมายหลายจุดหมายที่อยู่ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ในเวลาเดียวกัน เช่น เซลล์เมมเบรน (cell membranes) ดีเอ็นเอ (deoxyribonucleic acid, DNA) ระบบเอนไซม์ (enzyme systems) ที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ค่า a_w และค่ารีดอกซ์-โพเทนเชียล เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนโฮมีโอสเตซิสของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหาร ผลจากการใช้เฮอร์เดิลหลายชนิดดังกล่าว จะทำให้การซ่อมแซมระบบโฮมีโอสเตซิส และกระบวนการสร้างโปรตีนที่เกิดขึ้นจากการเกิดความเครียด (stress shock proteins) ยากลำบากมากขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดความคงตัวขึ้นได้ หรืออีกนัยหนึ่งในทางปฏิบัติอาจกล่าวได้ว่าการใช้เฮอร์เดิลหลายชนิดที่มีความเข้มต่ำนั้น พบว่ามีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารดีกว่าการใช้เฮอร์เดิลเพียงชนิดเดียวที่มีความเข้มสูง ถ้าเฮอร์เดิลต่างๆ ที่เลือกใช้มีผลในการเสริมฤทธิ์ซึ่งกันและกัน (Leistner, 2000)

2.2 คุณลักษณะทางเคมีของเนื้อไก่

2.2.1 องค์ประกอบและระดับสารอาหารของเนื้อสัตว์ปีก

เนื้อสัตว์ปีกเป็นแหล่งที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยโปรตีน วิตามิน บี และแร่ธาตุ โดยเฉพาะเนื้อไม่ติดมัน จัดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมในการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก โดยองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์ปีกจะขึ้นกับประเภทของสัตว์ สกุล เพศ อายุ และแหล่งอาหารที่สัตว์กิน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบและระดับสารอาหารของเนื้อสัตว์ปีกสดประเภทต่างๆ

แหล่งของเนื้อสัตว์			น้ำ	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เหล็ก	แคลอรี่
สายพันธุ์	เนื้อสัตว์	ผิวหนัง	(%)	(%)	(%)	(%)	(mg)	(kcal)
เนื้อไก่	เนื้อขาว	+	68.6	20.3	11.1	0.86	0.8	186
		-	74.9	23.2	1.6	0.98	0.7	114
	เนื้อดำ	+	65.4	16.7	18.3	0.76	1.0	237
		-	75.9	20.1	4.3	0.94	1.0	125
เนื้อไก่งวง	เนื้อขาว	+	69.8	21.6	7.4	0.90	1.2	159
	เนื้อขาว	-	73.8	23.5	1.6	1.00	1.2	115
	เนื้อดำ	+	71.1	18.9	8.8	0.86	1.7	160
	เนื้อดำ	-	74.5	20.1	4.4	0.93	1.7	125
	ทั้งหมด	+	70.4	20.4	8.0	0.88	1.4	160
เนื้อเป็ด	ทั้งหมด	+	48.5	11.5	39.3	0.68	2.4	400
เนื้อห่าน	ทั้งหมด	+	50.0	15.9	33.5	0.87	2.5	370
	ทั้งหมด	-	68.3	22.7	7.1	1.10	2.5	160
เนื้อนกกระทา	ทั้งหมด	+	69.7	19.6	12.1	0.9	3.9	192
เนื้อไก่ฟ้า	ทั้งหมด	+	67.7	22.7	9.3	1.3	1.1	180
เนื้อนกพิราบ	ทั้งหมด	+	56.6	18.5	23.8	1.4	- *	294

+/- = เนื้อสัตว์ 100 กรัม ที่มีหรือไม่มีหนัง

* = ไม่มีระดับของสารอาหารที่วิเคราะห์

ที่มา : Barbut (2002)

เนื้อไก่งวงโดยทั่วไปจะมีระดับไขมันต่ำกว่าเนื้อไก่ ในขณะที่เนื้อห่านและเนื้อเป็ดจะมีระดับไขมันที่สูงกว่า ระดับไขมันในส่วนผิวหนังจะสูงกว่าส่วนเนื้อ เนื่องจากไขมันจะสะสมอยู่บริเวณใต้ผิวหนังของสัตว์ เมื่อระดับไขมันสูงขึ้นจะส่งผลให้ความชื้นลดลง โดยเป็นความสัมพันธ์แบบผกผันซึ่งกันและกันระหว่างไขมันและความชื้น ระดับของโปรตีนจะไม่ได้รับผลกระทบจากความสัมพันธ์ดังกล่าว เนื้อสัตว์ที่มีระดับไขมันสูงกว่าความชื้นนั้น จะหมายรวมถึงระดับแคลอรี่ที่สูงกว่าด้วย แต่เนื้อจากสัตว์ปีกก็ยังถือว่าเป็นเนื้อที่มีไขมันต่ำกว่าเนื้อสุกรและเนื้อโค โดยเนื้อจากสัตว์ปีกจะมีระดับไขมันอิ่มตัวต่ำกว่าเนื้อสุกรและเนื้อโค และยังมีภาพลักษณ์ที่ดี (favorable image) หรือลักษณะที่มองเห็นชวนให้น่ารับประทานมากกว่า ระดับไขมันไม่อิ่มตัวจะส่งผลต่อจุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลอมเหลวของไขมันในเนื้อสัตว์ โดยเนื้อสัตว์ที่มีระดับไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะมีจุดหลอมเหลวของไขมันที่ต่ำกว่า (Barbut, 2002)

2.2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ (water holding capacity, WHC) หมายถึง ความสามารถของเนื้อสัตว์ ในการที่จะพยายามให้น้ำคงอยู่ภายในก้อนเนื้อระหว่างที่มีการใช้แรงจากภายนอกกระทำต่อเนื้อก้อนนั้น

ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน (myofibrillar protein) ได้แก่ แอคติน (actin) และไมโอซิน (myosin) มีบทบาทสำคัญในการทำให้กล้ามเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ดี เนื้อเยื่อของเนื้อจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากน้อยต่างกัน น้ำมีความสำคัญอย่างมากต่อโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ที่มีชีวิตทั้งหลาย จึงมีการทดลองหลายแบบเพื่อที่จะแสดงถึงความสำคัญของน้ำในสิ่งมีชีวิต ซึ่งการศึกษาทำโดยวิธี nuclear magnetic resonance และเป็นที่ยอมรับว่าน้ำในเนื้อเยื่อ (4-5% ของน้ำทั้งหมด) จะถูกตรึงอยู่ที่ผิวหน้าของโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งมีลักษณะคล้ายโครงสร้างของน้ำแข็ง และมีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำอิสระ (free water) น้ำอิสระเป็นน้ำส่วนที่อยู่ไกลจากประจุไฟฟ้าบนโมเลกุลของโปรตีน และแฝงอยู่ตามรูพรุนของกล้ามเนื้อ น้ำส่วนนี้จะถูกขับออกจากกล้ามเนื้อได้ง่ายที่สุดเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำต่อก้อนเนื้อ

มีน้ำอีกชนิดซึ่งเป็นน้ำที่ถูกจำกัดการเคลื่อนที่ หรือ “Immobilized water” ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ถัดออกไปจากส่วนที่ถูกตรึงด้วยประจุไฟฟ้าของโมเลกุลของโปรตีน น้ำส่วนนี้จะถูกขับออกจากกล้ามเนื้อได้ง่ายกว่าน้ำที่เกาะอยู่กับโครงสร้างของสารอื่น หรือส่วนประกอบอื่นในอาหารด้วยพันธะทางเคมี (bound water) ทั้งนี้การขับจะมากหรือน้อยย่อมขึ้นกับแรงภายนอกที่กระทำต่อกล้ามเนื้อ

ถ้าโปรตีนของกล้ามเนื้อมีคุณสมบัติเป็นขั้วไฟฟ้าที่ดี น้ำที่ถูกตรึงอยู่จะมีปริมาณมาก น้ำที่ถูกจำกัดการเคลื่อนที่ก็จะยังคงอยู่ภายในกล้ามเนื้อมากด้วย แต่น้ำอิสระจะมีการสูญเสียไปบ้าง เมื่อเป็นเช่นนี้ เนื้อจะมีคุณลักษณะอุ้มน้ำได้ดี เมื่อนำเนื้อไปทำให้สุกก็จะยังคงมีน้ำส่วนใหญ่อยู่เมื่อเราเคี้ยวเนื้อดังกล่าวจะรู้สึกว่าเนื้อมีความชุ่ม (juiciness) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคยอมรับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าคุณสมบัติการเป็นขั้วไฟฟ้าของโปรตีนกล้ามเนื้อสูญเสียไปความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อจะลดลง เพราะน้ำที่ถูกตรึงและน้ำส่วนที่ถูกจำกัดการเคลื่อนที่จะมีน้อย น้ำอิสระจะมีมากขึ้นเมื่อนำเนื้อลักษณะนี้ไปทำให้สุกจะมีการสูญเสียน้ำออกไปมาก เมื่อเคี้ยวเนื้อดังกล่าวจะขาดความชุ่มฉ่ำ ไม่น่ารับประทาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า โปรตีนแอคตินและไมโอซินมีบทบาทในการทำให้กล้ามเนื้ออุ้มน้ำได้ดี กล่าวคือโปรตีนทั้งสองจะประสานกันเป็นสามมิติ (Three-dimentional arrangement) และนอกจากโปรตีนทั้งสองนี้แล้ว โปรตีนโทรโบไมโอซิน (tropomyosin) ก็มีส่วนในบทบาทดังกล่าวด้วย และซาร์โคปลาสมิคเรทติคูลั่ม (sarcoplasmic reticulum) ก็มีผลต่อการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อเหมือนกัน เนื่องจากซาร์โคปลาสมิคเรทติคูลั่มสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “gelatinization” ของสารที่ถูกสกัดออกจากตัวมันเอง ถ้าหากการอุ้มน้ำในเนื้อหรือการพองตัวออก (swelling) ลดลง อาจเป็นเพราะน้ำจากส่วนไฟบริล (fibril) ถูกดูดออกไปสู่ช่องว่างระหว่างไฟบริล (ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2540)

2.2.3 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติการอุ้มน้ำของเนื้อ

ผลของ pH และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโปรตีน จะส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อและการพองตัวออกของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ โดยความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์เกิดจากโปรตีนในกล้ามเนื้อมีความเป็นประจุสูง จึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำไว้ได้ดี เมื่อกล้ามเนื้อเกิดการเกร็งตัวภายหลังจากสัตว์ถูกฆ่าตาย ค่า pH ของเนื้อค่อยๆ ลดลง เกิดกรดแลคติกขึ้น ทำให้โปรตีนเกิดการแปรสภาพไปจากเดิม (denature) ความเป็นกรดที่สูงขึ้นจากการมีประจุขั้วลบที่มากขึ้น ทำให้ประจุในเนื้อมีค่าเป็นกลาง (neutralization) โมลุกุลของน้ำที่ถูกจับไว้จึงหลุดออก เรียกจุดที่ประจุขั้วบวกมีจำนวนเท่ากับประจุขั้วลบว่า จุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point, pI) ประจุดังกล่าวนี้จะดึงดูดกันและกัน ซึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำหลุดออกเป็นอิสระ เนื้อมีความสามารถในการจับน้ำต่ำ จึงสูญเสียน้ำออกจากก้อนเนื้อสัตว์ เมื่อเนื้อถูกตัดออกจากซากเป็นชิ้นๆ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเมื่อเนื้อมีค่า pH ประมาณ 5.0 ที่เข้าใกล้ค่า pI ของแอคโตไมโอซิน (actomyosin) ซึ่งเป็นโปรตีนโครงสร้างที่สำคัญของกล้ามเนื้อ

การเกิด pale soft exudates (PSE) meat จะมีลักษณะน้ำเยิ้มที่ผิวหน้าของเนื้อ และถ้านำไปทำให้สุก เนื้อจะไม่มีลักษณะชุ่มฉ่ำและความนุ่ม (juiciness and tenderness) ส่วน dark firm dry (DFD) meat เกิดเพราะค่า pH สุดท้ายของกล้ามเนื้อค่อนข้างสูง (ประมาณ 6.5-6.8) ซึ่งห่างจาก isoelectric point ของโปรตีน จำนวนประจุลบและประจุบวกบนโมเลกุลโปรตีนต่างกัน ผลรวมของประจุทั้งสองไม่เท่ากับศูนย์มีประจุอิสระคงเหลือมากพอที่จะทำให้เกิดการดึงดูดกับน้ำได้ กล้ามเนื้อจะมีลักษณะการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และมีลักษณะอวบชุ่มฉ่ำขึ้นด้วย แต่ลักษณะที่มองเห็นด้วยตานั้นค่อนข้างแห้งเพราะการจับของน้ำเกิดขึ้นภายในก้อนเนื้อ

กรณีนำเนื้อไปทำผลิตภัณฑ์ เช่น นำไปหมักเกลือแบบต่างๆ นั้น เกลือจะแทรกซึมเข้าไปภายในเนื้อค่อนข้างยาก ทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ผลของเกลือ (NaCl) ต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อนั้นขึ้นกับค่า pH ของเนื้อเยื่อ ปริมาณเกลือจะทำให้ WHC เพิ่มขึ้นที่ pH สูงกว่า pI และเกลือจะทำให้ WHC ลดต่ำลงที่ pH ต่ำกว่า pI (ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2540)

2.2.4 ผลของความร้อนต่อเนื้อสัตว์

การทำให้อาหารสุก เป็นการใช้ความร้อนในการปรับปรุงลักษณะปรากฏ (appearance) ลักษณะเนื้อสัมผัสและรสชาติ (texture and flavour) ทั้งยังเป็นการทำให้อาหารน่ารับประทานมากขึ้น รวมทั้งทำให้ย่อยได้ง่ายด้วย

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นในเนื้อสัตว์เนื่องจากความร้อน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นในเนื้อสัตว์เนื่องจากความร้อน

อุณหภูมิ (^{o}C)	การเปลี่ยนแปลงในเนื้อสัตว์
20-30	เกิดการเปลี่ยนแปลงในเนื้อเยื่อ
30-50	มีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างในไมโอไฟบริลลาโปรตีน (แอคติน ไมโอซิน และอื่นๆ) ทั้งในด้านคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ และการหดตัวของเนื้อเยื่อมีการสลายตัวของ peptide chains เกิดการจับกัน (cross linkages) แบบไม่คงตัว กล้ามเนื้อจะแข็งตัวขึ้น
50-55	มีการเปลี่ยนแปลงในไมโอไฟบริลลาโปรตีน (rearrangement) ซึ่งมีผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมีน้อยลงหรือช้าลง ค่า pH เปลี่ยนแปลง โปรตีนรวมตัวกับแคลเซียมอิออน และแมกนีเซียมอิออนเกิด cross linkage ขึ้น โดยไม่สามารถแยกได้ด้วยกรดหรือด่างอ่อนๆ ไมโอ-โกลบินเริ่มเปลี่ยนสี
55-80	การเปลี่ยนแปลงยังคงดำเนินต่อไปเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 40 - 50 ^{o}C และที่ 65 ^{o}C โปรตีนส่วนใหญ่จะแข็งตัว โปรตีนคอลลาเจนจะเริ่มหดตัวที่อุณหภูมิประมาณ 63 ^{o}C และเริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นเจลาติน และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงของสีจะสมบูรณ์ในช่วงนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

อุณหภูมิ (^{o}C)	การเปลี่ยนแปลงในเนื้อสัตว์
สูงกว่า 80	เกิด disulfide bond เนื่องจากออกซิเดชั่นของ sulfhydryl groups ของแอคโตไมโอซิน โดยเริ่มที่ 70 - 90 ^{o}C และเกิดต่อเนื่องไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 90 ^{o}C แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จะแยกตัวออกจาก sulfhydryl groups และถ้าอุณหภูมิสูงถึง 120 ^{o}C ความสามารถในด้าน dye-binding basic group ของโปรตีนและความสามารถในการรวมตัวกันกับแคลเซียมอิออนและแมกนีเซียมอิออนลดลง คอลลาเจนเปลี่ยนเป็นเจลาติน เนื้อจะเพิ่มความนุ่มขึ้น

ดังนั้นผลของการทำให้เนื้อสุกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายประการในเนื้อ พอสรุปได้ดังนี้ (ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2540)

- เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน (denaturation of protein)
- โปรตีนคอลลาเจนถูกไฮโดรไลซ์เป็นเจลาติน (hydrolysis of collagen)
- เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี (colour change)
- เกิดการสูญเสียของเหลวในก้อนเนื้อ (formation of drip)
- การเกิดสีน้ำตาล (development of brown colour)
- เกิดการหดตัวของส่วนไขมัน และเกิดการกระจายตัวของไขมันในก้อนเนื้อ (rupture of fat cell and dispersion of fat through the meat)
- เกิดการสูญเสียวิตามินและคุณค่าทางอาหารของโปรตีน (decrease in vitamins and decrease in the nutritive value of the protein)

2.2.5 กรรมวิธีการปรุงสุกผลิตภัณฑ์จากสัตว์ปีก

ผลิตภัณฑ์จากสัตว์จะถูกนำมาบริโภคภายหลังจากผ่านกรรมวิธีการปรุงสุก การใช้ความร้อนในการปรุงสุกนั้น สามารถกระทำโดยอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนหลายรูปแบบ ได้แก่ น้ำ ไอน้ำ ไขมัน บรรยากาศที่ร้อน พลังงานอินฟราเรดและไมโครเวฟ เป็นต้น กรรมวิธีการปรุงสุกจะส่งผลที่ชัดเจนต่อเนื้อสัมผัสและการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส เนื่องจากการเสื่อมสลายของโปรตีนกล้ามเนื้อและการผลิตสารระเหยและสารประกอบที่ให้กลิ่นแตกต่างกัน ตามลำดับ

การต้ม (cooking in water boiling) เป็นวิธีการใช้ความร้อนเปียก (moist heat) ในการทำให้อาหารสุกโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าเมื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปรียบเทียบกับการใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน การต้มในหม้อหรืออ่างน้ำร้อนจะเหมาะสำหรับการปรุงสุกผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ทั้งตัว ในกรณีเนื้อสัตว์เป็นชิ้นที่ไม่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ สามารถต้มในน้ำหรือน้ำซุปได้โดยตรง เนื้อที่เหนียวหรือเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมาก ควรทำให้สุกโดยวิธีต้มในน้ำเดือด โดยใช้ความร้อนสูงในระยะแรก และใช้ไฟอ่อนเคี่ยวจนกว่าเนื้อจะเปื่อย (Barbut, 2002)

2.3 คุณลักษณะทางกายภาพของเนื้อสัตว์

2.3.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อ

ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของเนื้อไก่ คือลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อ (texture) ผู้บริโภคมักยอมรับเนื้อที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแบบละเอียด (fine texture) โดยที่เนื้อมีความแน่นพอเหมาะ มีการยึดระหว่างมัดกล้ามเนื้อพอสมควร และมีการยึดกันของกล้ามเนื้อแต่ละก้อนด้วย ขนาดของมัดกล้ามเนื้อมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสกล่าวคือ ถ้ามัดกล้ามเนื้อมีขนาดเล็กจะมีลักษณะเนื้อที่ละเอียดกว่าเนื้อที่ประกอบด้วยมัดกล้ามเนื้อขนาดใหญ่กว่า ส่วนของกล้ามเนื้อที่ใช้งานมากกว่าในขณะสัตว์มีชีวิตอยู่จะมีลักษณะเนื้อหยาบกว่ากล้ามเนื้อที่ใช้งานน้อยกว่า รวมทั้งเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ห่อหุ้มกล้ามเนื้อส่วนที่ใช้งานมากกว่า ก็จะมีปริมาณมากกว่าปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในส่วนกล้ามเนื้อที่มีการใช้งานน้อยกว่าด้วย ตัวอย่างเช่น กล้ามเนื้อบริเวณส่วนขาหลังของสัตว์จะมีลักษณะหยาบกว่ากล้ามเนื้อบริเวณส่วนสันหลัง เป็นต้น (ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2540)

2.3.2 ลักษณะความนุ่มของเนื้อสัตว์

ความนุ่มของเนื้อ (tenderness) เป็นลักษณะที่แสดงถึงความน่ารับประทานของเนื้อ ซึ่งมีการศึกษาในแง่ดังกล่าวมากมาย และเน้นละเอียดลงไปถึงองค์ประกอบต่างๆของกล้ามเนื้อที่มีความสำคัญในคุณลักษณะที่มุ่งถึงความนุ่มของเนื้อ และมีหลายจุดที่ไม่สามารถอธิบายให้เข้าใจแจ่มแจ้ง เนื่องจากปัญหาหลายประการ กล่าวคือ การที่คนเราจะให้ความกระจ่างกับความนุ่มของเนื้อนั้นทำได้ยาก หรือไม่มีเครื่องมือวิทยาศาสตร์ใดที่วัดได้อย่างถูกต้องเป็นที่น่าพอใจนั่นเอง (ลักขณา รุจนะไกรกานต์, 2540)

ความนุ่มของเนื้อ อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณไขมัน และความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน ดังนั้นจึงขึ้นกับชนิดของสัตว์อละชนิดของกล้ามเนื้อ รวมถึงวิธีการ ระยะเวลา และอุณหภูมิในการหุงต้มด้วยเช่นกัน (มาลัยวรรณ อารยะสกุล และวรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร, 2546) ความนุ่มของเนื้อเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ความแข็งแรงของเซลล์กล้ามเนื้อ
2. ความแข็งแรงและปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน
3. ปริมาณไขมันที่แทรกอยู่ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ
4. ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน

2.4 คุณลักษณะทางจุลชีววิทยาของเนื้อไก่

2.4.1 จุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์ปีกสด

ไก่ทั้งตัวมีแนวโน้มมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนน้อยว่าไก่ชิ้น จุลินทรีย์ชอบที่จะอยู่ตามผิวหนังของไก่มากกว่าในเนื้อ ดังนั้นการตรวจนับจุลินทรีย์บนผิวหนังของไก่จึงสอดคล้องตามข้อเท็จจริงมากกว่า โดยสุมณฑา วัฒนสินธุ์ (2549) ได้รายงานผลการศึกษาของ May ในปี ค.ศ. 1962 ที่ทำการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์บนผิวหนังของไก่ตามกระบวนการผลิตไก่ทั้งตัวจากโรงงาน 6 แห่ง พบค่าเฉลี่ยของจุลินทรีย์บนผิวหนังของไก่เท่ากับ log 3.30/cm^2 หลังชำแหละค่าเฉลี่ยของจุลินทรีย์บนผิวหนังเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น log 3.81/cm^2 และเพิ่มเป็น log 4.08/cm^2 หลังจากบรรจุ เมื่อทำการสำรวจเชื้อจุลินทรีย์บนสิ่งสัมผัสอาหาร เช่น สายพานส่งเนื้อไก่ พบค่าเฉลี่ยจุลินทรีย์บนผิวเท่ากับ log 4.76/cm^2 นอกจากนี้ May ยังเก็บตัวอย่างไก่ตามร้านค้าปลีก 5 แห่ง พบว่าค่าเฉลี่ยของจุลินทรีย์จากไก่ทั้งตัวอยู่ที่ log 3.18/cm^2 และเพิ่มขึ้นเป็น log 4.06/cm^2 หลังชำแหละและบรรจุ ส่วนเขียงที่ใช้หั่นไก่ พบค่าเฉลี่ยจุลินทรีย์เท่ากับ log 4.68/cm^2

2.4.2 การเน่าเสียของสัตว์ปีก

จากการศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียที่ทำให้เนื้อสัตว์เน่าเสีย ปรากฏผลตรงกันว่าเกิดจากแบคทีเรียจำพวก pseudomonads เป็นส่วนใหญ่ สามารถแยกเชื้อแบคทีเรียได้ 5,920 ไอโซเลทส์ (isolates) จากไก่ และสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

- แบคทีเรียในกลุ่ม pseudomonads 30.5%
- แบคทีเรียในกลุ่ม *Acinetobacter* 22.7%
- แบคทีเรียในกลุ่ม *Flavobacterium* 13.9%
- แบคทีเรียในกลุ่ม *Corynebacterium* 12.7%
- จุลินทรีย์อื่นๆ ได้แก่ ยีสต์ แบคทีเรียในตระกูล *Enterobacteriaceae* และแบคทีเรียชนิดอื่นๆ ซึ่งพบจำนวนน้อย

ลักษณะการเน่าเสียของสัตว์ปีก คือการเกิดเมือกบริเวณผิวหนัง ส่วนช่องท้องมักเกิดกลิ่นเปรี้ยว อันเนื่องมาจากแบคทีเรียไชทะลุผนังช่องท้องเข้าไปในลำไส้เล็ก ลักษณะอาการเช่นนี้จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เห็นชัดกับเนื้อสัตว์ปีกทั้งตัวที่เก็บเครื่องในไว้ในช่องท้อง ที่รู้จักกันว่า New York-dressed poultry การเน่าเสียแบบนี้จะมีกลิ่นเปรี้ยว เรียกว่า Visceral taint หรือ sours

ได้มีผู้ศึกษาโดยการนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ต้องการอากาศในขั้นตอนต่างๆ ของการเน่าเสียของไก่ ปรากฏว่าในขั้นที่เกิดกลิ่นเหม็นจะมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดราว log 7.2-8.0/cm^2 และหลังจากเกิดเมือก พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็น log 9.5/cm^2 แบคทีเรียจะเจริญเฉพาะบริเวณผิวหน้าก่อน ในขณะที่เนื้อเยื่อภายในซากไก่ยังคงปราศจากเชื้อ จากนั้นแบคทีเรียจะไชเจาะเข้าภายในเนื้อเยื่อพร้อมๆ กับเกิดอาการแห้งของโปรตีนในกล้ามเนื้อขึ้น (เกิดมากในเนื้อโค)

การที่เนื้อสัตว์เน่าเสียโดยเริ่มจากบริเวณผิวหน้าก่อน อธิบายได้ว่า ตามปกติภายในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อสัตว์จะปลอดเชื้อ หรือมีเชื้อจุลินทรีย์อยู่น้อยมาก และเชื้อเหล่านี้ส่วนมากไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น จุลินทรีย์ที่ทำให้เนื้อสัตว์ปีกเน่าเสียจึงได้แก่ แบคทีเรียที่อยู่บริเวณผิวหนังและซอกมุมตามร่างกายของสัตว์ และมักปนเปื้อนมาจากน้ำจากกระบวนการผลิตและกระบวนการเคลื่อนย้ายเนื้อสัตว์ ความชื้นบริเวณผิวหนังเอื้อต่อการเจริญของแบคทีเรีย โดยเฉพาะแบคทีเรียจำพวก pseudomonads (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549)

2.5 วัตถุเจือปนอาหาร

วัตถุเจือปนอาหาร (food additives) เป็นวัตถุที่ตามปกติมิได้ใช้เป็นอาหารหรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหารเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพและมาตรฐานหรือลักษณะของอาหาร และรวมถึงวัตถุที่มิได้ใช้เจือปนในอาหาร แต่ใช้รวมอยู่กับอาหารเพื่อประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นด้วย (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, 2532)

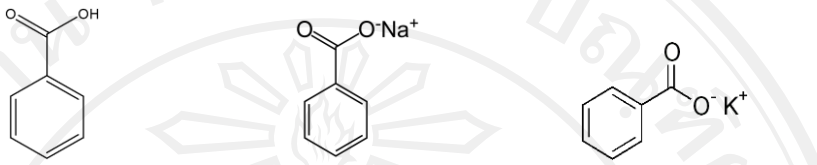
2.5.1 วัตถุกันเสีย

วัตถุกันเสีย (preservatives) เป็นสารประกอบเคมี หรือของผสมของสารประกอบเคมีที่ใช้เติมลงในอาหาร เพื่อชะลอการเน่าเสียหรือช่วยยืดอายุการเก็บอาหาร หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโต หรือทำลายจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่จะทำให้อาหารนั้นเกิดการเน่าเสีย การที่วัตถุกันเสียสามารถชะลอการเจริญเติบโต หรือทำลายจุลินทรีย์ได้นั้น เนื่องจากวัตถุกันเสียที่ใช้จะไปมีผลต่อผนังเซลล์ การทำงานของเอนไซม์ และกลไกทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์ โดยวัตถุกันเสียชนิดต่างๆ จะมีประสิทธิภาพดีเพียงใด ขึ้นกับความเข้มข้นของวัตถุกันเสีย ชนิด จำนวน อายุ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร อุณหภูมิ และคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของอาหาร (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) วัตถุกันเสียที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ ได้แก่ sodium benzoate เป็นต้น

2.5.1.1 กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต



benzoic acid **sodium benzoate** **potassium benzoate**

ภาพที่ 2.3 กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต

กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต เป็นวัตถุกันเสียที่มีการนิยมใช้กันในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปโซเดียมเบนโซเอต และนิยมใช้ในรูปของเกลือมากกว่ากรด เนื่องจากวัตถุกันเสียชนิดนี้จะละลายได้ง่ายกว่าในรูปของเกลือ ที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C และ 20 ^{o}C โซเดียมเบนโซเอตละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร ได้สูงถึง 74.2 กรัม และ 66.0 กรัม ตามลำดับ ส่วนในรูปของกรดนั้นจะละลายในน้ำได้น้อยมาก แต่จะละลายได้ดีขึ้นในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และน้ำมัน เบนโซอิกพบมากตามธรรมชาติในลูกพรุน (prune) แครนเบอร์รี (cranberry) พลัม (plum) อบเชย (cinnamon) แอปเปิล (apple) และมะกอกสุก (ripe papaya) กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตที่จำหน่ายในท้องตลาด จะอยู่ในรูปผงผลึกสีขาวหรือเป็นเกล็ด (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546)

2.5.1.2 ประสิทธิภาพของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต

วัตถุกันเสียชนิดนี้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งมีผลต่อผนังเซลล์และเอนไซม์ของจุลินทรีย์ โดยเบนโซเอตจะไปทำให้กระบวนการแทรกซึมของอาหารเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ผิดปกติไป ในขณะเดียวกันจะไปยับยั้งการสร้างเอนไซม์บางชนิดและปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้

ประสิทธิภาพของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต จะสูงที่สุดที่ช่วง pH 2.5-4.0 ซึ่งต่ำกว่ากรดซอร์บิกและกรดโพรพิออนิก และจะมีประสิทธิภาพสูงในรูปของกรดที่ไม่แตกตัว จึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูงหรือมีค่า pH ต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของวัตถุกันเสียที่ต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของรา 4 ชนิดที่ pH ต่างกัน

Preservatives	*Chaetomonium globosum* (%)	*Alternaria solani* (%)	*Penicillium citrinum* (%)	*Aspergillus niger* (%)
		ที่ pH 3		
Benzoic acid	0.08	0.10	0.10	0.04
Methyl p-hydroxybenzoate	0.06	0.06	0.05	0.08
Propyl p-hydroxybenzoate	0.008	0.015	0.005	0.02
Propionic acid	0.04	0.04	0.04	0.08
Sorbic acid	0.01	0.005	0.02	0.04
		ที่ pH 5		
Benzoic acid	0.10	0.15	0.20	0.20
Methyl p-hydroxybenzoate	0.06	0.08	0.08	0.10
Propyl p-hydroxybenzoate	0.10	0.02	0.01	0.03
Propionic acid	0.04	0.06	0.08	0.08
Sorbic acid	0.06	0.02	0.08	0.08
		ที่ pH 7		
Benzoic acid	+	+	+	+
Methyl p-hydroxybenzoate	0.10	0.10	0.15	0.15
Propyl p-hydroxybenzoate	0.04	0.05	0.06	0.05
Propionic acid	+	+	+	+
Sorbic acid	+	+	+	+
		ที่ pH 9		
Benzoic acid	+	+	+	+
Methyl p-hydroxybenzoate	0.10	0.10	0.15	0.15
Propyl p-hydroxybenzoate	0.04	0.05	0.06	0.05
Propionic acid	+	+	+	+
Sorbic acid	+	+	+	+

+ = ไม่สามารถออกฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้

ที่มา : ศิวาพร ศิวเวชช (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต จะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์และราได้ดีกว่าแบคทีเรียตามลำดับ ดังข้อมูลในตารางที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของกรดเบนโซอิกที่จะต้องใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะสูงกว่าของยีสต์และรา

ตารางที่ 2.4 ประสิทธิภาพของกรดเบนโซอิกในการยับยั้งการเจริญของยีสต์ รา และแบคทีเรีย

Organisms	pH	MIC* (ppm)
Yeasts		
Hansenula sp.	4.0	180
Sporogenic yeasts	2.6-4.5	20-100
Asporogenic yeasts	4.0-5.0	70-150
Saccharomyces sp.	3.0-6.0	100-7,000
Debaryomyces hansenii	4.8	500
Molds		
Aspergillus sp.	3.0-5.0	20-300
Rhizopus nigricans	5.0	30-120
Mucor racemosus	5.0	30-120
Penicillium glaucum	5.0	400-500
Cladosporium herbarum	5.1	100
Byssochlamys nivia	5.3	500
Bacteria		
Escherichia coli	5.2-5.6	50-120
Bacillus cereus	6.3	555
Lactobacillus sp.	4.3-6.0	300-1,800
Micrococcus sp.	5.5-5.6	50-100
Pseudomonas sp.	6.0	200-480
Streptococcus sp.	5.2-5.6	200-400
Listeria monocytogenes	5.6	3,000

*MIC = Minimal inhibition concentration

ที่มา : ดัดแปลงจาก Davidson et al. (2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1.3 การใช้กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตในผลิตภัณฑ์อาหาร

กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตจะมีประสิทธิภาพสูงที่ pH ต่ำกว่า 4.5 ฉะนั้นอาหารที่ควรใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษานั้นจึงควรเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูง ตัวอย่างเช่น เครื่องดื่มชนิดต่างๆ ทั้งชนิดที่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำหวานชนิดต่างๆ น้ำผลไม้ เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ แยม เยลลี ผักดอง ผลไม้ดอง น้ำสลัด ฟรุตสลัด และเนยเทียม เป็นต้น (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 นั้น ได้อนุญาตให้ใช้กรดเบนโซอิก หรือโซเดียมเบนโซเอต หรือโปแตสเซียมเบนโซเอต (potassium benzoate) ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 1,000 mg/ 1 kg อาหาร ทั้งนี้อาจจะใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับโปแตสเซียมซอร์เบต (potassium sorbate) หรือเอสเทอร์ของพาราไฮดรอกซิเบนโซอิกแอซิด (esters of p-hydroxybenzoic acid) ก็ได้ แต่เมื่อรวมกันแล้ว ปริมาณที่ใช้จะต้องไม่เกินปริมาณที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, 2527)

2.5.1.4 ความปลอดภัยในการใช้

สำหรับอันตรายที่จะได้รับจากกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตนั้น จากการศึกษาทดลองพบว่า จะไม่ทำให้เกิดการสะสมขึ้นในร่างกาย เนื่องจากร่างกายมีกลไกในการขจัดความเป็นพิษของกรดเบนโซอิก โดยกรดเบนโซอิกที่บริโภคเข้าไปจะไปรวมกับโคเอนไซม์เอ (coenzyme A) เกิดเป็นเบนโซอิลโคเอนไซม์เอ (benzoyl coenzyme A) โดยมีเอนไซม์ซิทีเทส (synthetase) เป็นตัวเร่งจากนั้นเบนโซอิลโคเอนไซม์เอจะรวมกับไกลซีน (glycine) เกิดเป็นกรดฮิพพิวริก (hyppuric acid) โดยมีเอนไซม์เอซิลทรานเฟอร์เรส (acyltransferase) เป็นตัวเร่งและถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะ ส่วนพวกที่เหลือที่มิได้ถูกร่างกายขับออกในรูปของกรดฮิพพิวริกนั้นจะถูกขจัดออกจากร่างกาย โดยการรวมตัวกับกรดไกลคิวโรนิก (glycuronic acid) แล้วขับออกทางปัสสาวะในรูปของกรดเบนโซอิลไกลคิวโรนิก (benzoyl glycuronic acid) โดยทั่วไปการขับถ่ายของกรดฮิพพิวริกทางปัสสาวะในคน จะประมาณ 1.0-2.5 กรัมต่อวัน ซึ่งจะเท่ากับกรดเบนโซอิกที่บริโภคเข้าไป 0.7-1.7 กรัม สำหรับความสามารถในการขจัดกรดเบนโซอิกนั้นจะแปรผันไปตามชนิดสัตว์ด้วย (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2 วัตถุกันหืน

วัตถุกันหืน (antioxidants) หมายถึง สารประกอบที่สามารถลดอัตราเร่งของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ของสารที่เกิดการออกซิไดซ์ตัวเองโดยเฉพาะการยืดระยะเวลาในขั้นเริ่มก่อปฏิกิริยา (induction period) ในการเกิดการหืน (สายสนม ประดิษฐดวง, 2546a)

ในกรณีของการชะลอหรือยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน ที่เกิดขึ้นในไขมันและน้ำมันหรืออาหารที่มีน้ำมันและไขมันเป็นส่วนประกอบ การที่วัตถุกันหืนสามารถที่จะยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน เนื่องจากวัตถุกันหืนที่เติมลงไปจะไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบลูกโซ่หยุดชะงักลงดังแสดงในสมการ

$$ROO\bullet + AH\ (antioxidant) \longrightarrow ROOH + A\bullet \text{ หรือ}$$

$$RO\bullet + AH \longrightarrow ROH + A\bullet \text{ หรือ}$$

$$R\bullet + AH \longrightarrow RH + A\bullet$$

เมื่อวัตถุกันหืนที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับอนุมลอิสระที่เกิดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเหลืออนุมูลของวัตถุกันหืน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุมูลอิสระมากและจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัวด้วยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

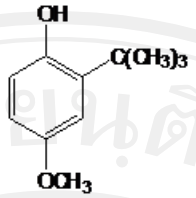
$$A\bullet + A\bullet \longrightarrow A_2$$

$$ROO\bullet + A\bullet \longrightarrow ROOA$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตามที่แสดงข้างต้น ทำให้วัตถุกันหืนสามารถช่วยป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมัน หรืออาหารที่มีน้ำมันและไขมันเป็นส่วนประกอบได้ นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าวัตถุกันหืนบางชนิดสามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าน้ำมัน จึงอาศัยคุณสมบัติข้อนี้ของวัตถุกันหืนช่วยชะลอการเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) ตัวอย่างของวัตถุกันหืนที่ใช้ในอาหาร เช่น butylated hydroxyl anisole (BHA) และ butylated hydroxyl toluene (BHT) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2.1 บีเอชเอ (BHA, Butylated hydroxyl anisole)



3-isomer

ภาพที่ 2.4 Butylated hydroxyl anisole

บีเอชเอ หรือ 3-tertiary-butyl-4-hydroxyanisole มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 180.24 จุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 48 – 55 °C และจุดเดือดอยู่ระหว่าง 264 – 270 °C บีเอชเอที่นิยมใช้กันจะเป็นสารผสมของ 2-*tert*-butyl-4-hydroxyanisole (2-BHA) และ 3-*tert*-butyl-4-hydroxyanisole (3-BHA) และมักจะมี 3-BHA อยู่ในปริมาณมากกว่า อาจจะถึง 90% หรือมากกว่านั้น (German, 2002) 3-BHA จะมีประสิทธิภาพดีกว่า 2-BHA และบีเอชเอจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นในไขมันและน้ำมันจากสัตว์ บีเอชเอจะมีความสามารถทนต่อความรุนแรงเนื่องจากกระบวนการผลิต (carry through) ได้แก่ ความร้อน แรงดัน และความชื้นได้ดีมาก โดยเฉพาะในไขมันสัตว์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอด เช่น โดนัทและมันฝรั่งทอด เป็นต้น ประสิทธิภาพของบีเอชเอจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของบีเอชเอที่ใช้ แต่จะสูงสุดที่ปริมาณความเข้มข้น 0.02% เท่านั้น แม้ว่าจะมีการใช้บีเอชเอในปริมาณที่สูงกว่าปริมาณที่กล่าวประสิทธิภาพก็จะไม่เพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.5

การใช้บีเอชเอร่วมกับแกลเลต (gallate) หรือบีเอชที จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นวัตถุกันหืนดีขึ้น เช่นเดียวกับการใช้กรดซิตริก (citric acid) และกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ร่วมกับบีเอชเอ จะช่วยให้ประสิทธิภาพของบีเอชเอดีขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.6 และ 2.7 บีเอชเอจะคล้ายกับวัตถุกันหืนในกลุ่มฟีนอลชนิดอื่นๆ คือจะมีประสิทธิภาพสูงในน้ำมันและไขมันสัตว์ และผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันและไขมันสัตว์เป็นส่วนประกอบ หรือน้ำมันที่มีการเติมไฮโดรเจน ดังแสดงในตารางที่ 2.8 ส่วนในน้ำมันพืชจะมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดี สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของบีเอชเอเปรียบเทียบกับสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดจากธรรมชาติ 4 ชนิด พบว่าไฮดรอกซิไทโรซอล (hydroxytyrosol) จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ กรดแคฟเฟอิก (caffeic acid) บีเอชเอโอลิยูโรเพน (oleuropein) ในน้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ และ ไทโรซอล (tyrosol) ตามลำดับ (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการใช้บีเอชเอเป็นวัตถุกันหืน ได้แก่ ไขมันและน้ำมันสัตว์ นมผง ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (pastries) และเนยแข็ง (cheese) เป็นต้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้ในปริมาณไม่เกิน 200 mg/kg ของอาหาร โดยอาจใช้เพียงบีเอชเออย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับวัตถุกันหืนชนิดอื่น เช่น แกลเลต (propyl gallate, octyl gallate และ dodecyl gallate) แต่ปริมาณของแกลเลตต้องไม่เกิน 100 mg/kg อาหาร (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, 2527)

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ BHA และค่า AOM stability (ชั่วโมง) ที่ 99°C ในน้ำมันหมู

BHA (%)	AOM* stability (ชั่วโมง)
ตัวอย่างควบคุม	4
0.005	18
0.01	25
0.02	29
0.04	28
0.1	24

*AOM stability = active oxygen method stability

ที่มา : ศิวาพร ศิวเวชช (2546)

ตารางที่ 2.6 การเสริมฤทธิ์กันระหว่าง BHA และ BHT ที่มีผลต่อค่า AOM stability (ชั่วโมง) ที่ 99°C ในน้ำมันหมู

Antioxidant (%)	AOM* stability (ชั่วโมง)
ตัวอย่างควบคุม	11
BHA 0.02	54
BHT 0.01	53
BHT 0.02	64
BHA 0.01 + BHT 0.005	80
BHA 0.01 + BHT 0.01	102

*AOM stability = active oxygen method stability

ที่มา : ศิวาพร ศิวเวชช (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.7 การเสริมฤทธิ์กันระหว่าง BHA และ citric acid, phosphoric acid หรือ thiodipropionic acid ที่มีผลต่อค่า AOM stability (ชั่วโมง) ที่ 99°C ในน้ำมันหมู

Antioxidant (%)	AOM* stability (ชั่วโมง)
ตัวอย่างควบคุม	8
BHA 0.01	32
BHA 0.01 + citric acid 0.005	39
BHA 0.01 + phosphoric acid 0.005	53
Thiodipropionic acid 0.01	50
BHA 0.01 + thiodipropionic acid	145

*AOM stability = active oxygen method stability

ที่มา : ศิวาพร ศิวเวชช (2546)

ตารางที่ 2.8 บทบาทของ BHA ในน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย (cotton seed oil) และน้ำมันจากเมล็ดฝ้ายที่เติมไฮโดรเจน (hydrogenated cotton seed oil) ที่มีผลต่อค่า AOM stability (ชั่วโมง) ที่ 99°C

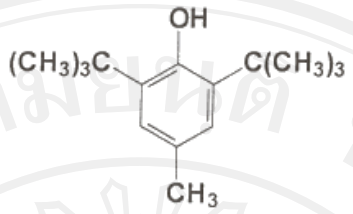
BHA (%)	AOM* stability (ชั่วโมง)
น้ำมันจากเมล็ดฝ้าย	
ตัวอย่างควบคุม	9
0.01	7
0.05	7
0.10	7
น้ำมันจากเมล็ดฝ้ายที่เติมไฮโดรเจน	
ตัวอย่างควบคุม	121
0.01	108
0.05	158
0.1	172

*AOM stability = active oxygen method stability

ที่มา : ศิวาพร ศิวเวชช (2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.2.2 บีเอชที (BHT, Butylated hydroxyl toluene)



ภาพที่ 2.5 Butylated hydroxyl toluene

บีเอชที หรือ 2,6-ditertiary-butyl-p-cresol มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 220.34 จุดหลอมเหลวที่ 70 °C และจุดเดือดที่ 265 °C เป็นสารประกอบที่เป็นผลึกหรือเกล็ดสีขาว มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายน้ำ และ propane-1,2-diol แต่ละลายในแอลกอฮอล์ (German, 2002)

บีเอชทีเป็นวัตถุกันหืนในกลุ่มฟีนอลิกอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับบีเอชเอ สามารถช่วยชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันในไขมันและน้ำมันสัตว์ได้ดีกว่าน้ำมันพืช บีเอชทีจะมีความสามารถทนต่อความรุนแรงเนื่องจากกระบวนการผลิต (carry through) ได้แก่ ความร้อน แรงดัน และความชื้นได้ดีมาก เมื่ออยู่ในไขมันหรือเนยขาวที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่นเดียวกับบีเอชเอ การใช้บีเอชทีร่วมกับบีเอชเอ โพรพิลแกลเลต (propyl gallate) หรือทีบีเอชคิว (Tert-butylhydroquinone, TBHQ) และกรดซิตริกจะช่วยให้ประสิทธิภาพดีขึ้น เนื่องจากโลหะ เช่น เหล็กและทองแดง ที่มักจะพบว่ามีการปนเปื้อนมาในผลิตภัณฑ์อาหารจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงต้องมีการใช้กรดซิตริก ซึ่งเป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน ไปช่วยทำปฏิกิริยากับโลหะดังกล่าว ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้วัตถุกันหืนผสมกันหลายชนิดร่วมกับกรดซิตริกจะให้ผลดีที่สุด เนื่องจากบีเอชทีไม่ละลายในโพรไพลีนไกลคอล (propylene glycol) เวลาใช้จึงมักจะใส่บีเอชทีลงไปโดยตรงในน้ำมันที่อุ่นให้ร้อนแล้ว (ประมาณ 60 °C) บีเอชทีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักอยู่ในรูปสารผสมของบีเอชทีในโพรไพลีนไกลคอลและโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) หรือบีเอชเอ บีเอชที และกรดซิตริกในโมโนกลีเซอไรด์

บีเอชทีอาจมีการสลายตัวโดยการระเหย หรือการกลั่นในระหว่างกระบวนการแปรรูปบางวิธี ตัวอย่างเช่น การทอด เป็นต้น บีเอชทีจะทำปฏิกิริยากับเหล็กที่ปนเปื้อนมา เกิดเป็นสารประกอบ stilbenequinone ซึ่งมีสีออกเหลืองๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองได้ บีเอชทีนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทไขมันสัตว์ น้ำมันสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์ปลา และน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) ตามประกาศกระทรวง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สาธารณสุข ฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้บีเอชทีได้ไม่เกิน 200 mg/kg อาหาร โดยอาจจะใช้เพียงอย่างเดียว หรือใช้รวมกับวัตถุกันหืนชนิดอื่น เช่น แกลเลต (propyl gallate, octyl gallate และ dodecyl gallate) แต่ปริมาณของแกลเลตต้องไม่เกิน 100 mg/kg อาหาร (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, 2527)

2.5.2.3 การใช้วัตถุกันหืนในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อสัตว์

ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อสัตว์ต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์จากหมู วัว และไก่ เป็นต้น ทั้งในรูปที่ยังมิได้มีการทำให้สุกหรือสุกแล้วก็ตาม มักจะมีการเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น เพราะในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อสัตว์ จะมีส่วนประกอบที่ประกอบด้วยไขมันอยู่ด้วยและบางผลิตภัณฑ์อาจมีอยู่สูงถึง 50% นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่าปัจจัยที่เร่งการเกิดออกซิเดชันให้เร็วขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อคือ รงควัตถุในเนื้อ หรือกรรมวิธีในการแปรรูป และภาชนะบรรจุ เป็นต้น

สำหรับการลดหรือชะลอปัญหาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น อาจทำได้โดยการใช้วัตถุกันหืน ร่วมกับวัตถุเจือปนอาหารชนิดต่างๆ ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในอาหาร โดยก่อให้เกิดผลที่เสริมฤทธิ์กัน ได้แก่ การใช้บีเอชเอร่วมกับกรดซิตริก สามารถช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ การใช้บีเอชเอและโพรพิลแกลเลต จะช่วยป้องกันการออกซิเดชันของไขมันและรงควัตถุในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ยังมิได้ผ่านการทำให้สุก และให้คุณสมบัติ carry through แก่ผลิตภัณฑ์เนื้อที่ผ่านการทำให้สุกแล้วด้วย และการใช้บีเอชเอร่วมกับโพรพิลแกลเลต และแอสคอร์บิลพาลมิเทต (ascorbyl palmitate) ในเนื้อบด พบว่าสารทั้ง 3 จะช่วยเสริมฤทธิ์กันในการยืดอายุของเนื้อบดได้อย่างดี

สำหรับในผลิตภัณฑ์ไก่ต่างๆ การใช้ทีบีเอชคิวจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ไก่จะเกิดออโทออกซิเดชัน (auto-oxidation) เนื่องจากไขมันภายในเนื้อไก่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นสารประกอบแอลดีไฮด์ (aldehyde compounds) และสารที่ได้จากการออกซิไดซ์อื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นหืน (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546)

2.6 การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ คือพลังงานที่เกิดจากการแผ่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงซึ่งแตกต่างไปจากคลื่นแสง และคลื่นวิทยุ เนื่องจากความยาวคลื่นและความถี่ของช่วงคลื่นไมโครเวฟจะอยู่ในช่วงระหว่าง 75 เซนติเมตรถึง 3 เซนติเมตร และระหว่าง 300 MHz ถึง 300 GHz ตามลำดับ ความถี่ช่วงคลื่นดังกล่าวใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุ และบางส่วนจะเข้าไปคาบเกี่ยวในคลื่นความถี่ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เรดาร์ จึงอาจไปรบกวนเครือข่ายของการติดต่อคมนาคมโดยเฉพาะการสื่อสารทางไกลที่ใช้ระบบเรดาร์หรือใช้ควบคุมการเดินเรือและการบิน จึงมีการจัดตั้งสถาบันระหว่างชาติขึ้นมาเป็นผู้ดูแลควบคุมการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปต่างๆ ให้เป็นไปอย่างมีระเบียบไม่ก้าวก่ายและรบกวนซึ่งกันและกัน สถาบันดังกล่าวคือ International Telecommunication Union ได้กำหนดระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่จะใช้ประโยชน์สำหรับงานให้พลังงานความร้อน ในระดับอุตสาหกรรมและการใช้ในบ้านเรือน ซึ่งมีอยู่ 2 ช่วงคือ 915 mHz และ 2,450 mHz (สายสนม ประดิษฐวง, 2546b)

คลื่นไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนซึ่งเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ โดยอาศัยการสั่นของโมเลกุลของน้ำในอาหาร เมื่ออยู่ในสนามไมโครเวฟ โมเลกุลของน้ำจะแสดงความเป็นขั้วขึ้นสองตำแหน่ง สนามไมโครเวฟทำให้ขั้วทั้งสองเกิดการสลับความเป็นขั้วกันในอัตราประมาณวินาทีละ 5×10^9 ครั้ง ขึ้นกับความถี่ที่ใช้ เป็นผลให้โมเลกุลน้ำเกิดการสั่นสะเทือน พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือนจะส่งต่อไปยังโมเลกุลใกล้เคียงทำให้เกิดความร้อนขึ้น อาหารที่มีปริมาณเกลือสูงความร้อนจะส่งผ่านอิออนและแผ่กระจายไปสู่บริเวณผิวหน้าของอาหารได้ดี การร้อนขึ้นของอาหารโดยกรณีนี้ถือว่ามีความสำคัญน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของน้ำ

แมกนิตรอน (magnetron) เป็นตัวทำให้เกิดคลื่นไมโครเวฟ มี 2 แบบ คือแบบการค้า (commercial) และแบบที่ใช้ตามบ้าน (domestic) ข้อเสียของไมโครเวฟที่ใช้ตามบ้านและร้านขายอาหารซึ่งใช้แมกนิตรอนแบบ domestic คือ ความร้อนกระจายไปไม่ทั่วถึงกัน เนื่องจากมีจุดบอด (cold spot) ภายในตู้อบ และสมบัติของอาหารเองที่มีความเป็นขั้วต่างกัน ด้วยเหตุนี้การบริโภคอาหารที่ทำให้สุกด้วยไมโครเวฟจึงมีความเสี่ยงสูง ดังนั้นในทางปฏิบัติไมโครเวฟจึงนิยมใช้กับการทำละลายอาหารแช่แข็ง ใช้อุ่นอาหาร หรือใช้ถนอมอาหารที่เป็นกรดมากกว่าใช้ทำให้อาหารสุก (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549)

การใช้ไมโครเวฟเพื่อการแปรรูปอาหาร ปัจจุบันไมโครเวฟมีบทบาทในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้นเรื่อยๆ การนำไมโครเวฟมาใช้ในวงการอาหารมีหลายแบบดังนี้

1. การอบ (baking) มีการนำไมโครเวฟมาใช้ร่วมกับการให้ความร้อนในอากาศภายนอกหรืออินฟราเรด เพื่อให้ได้สีน้ำตาล (crust) ที่ผิวของขนมอบ

2. การทำให้อาหารข้น (concentration) เหมาะกับอาหารที่เป็นของเหลว ซึ่งไวต่อความร้อน (heat-sensitive solutions) และอาหารเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำในระยะเวลาสั้น

3. การทำให้อาหารสุกทั่วไป (cooking) เหมาะสำหรับอาหารที่นำมาทำให้สุกแบบต่อเนื่อง (continuous cooking) และในปริมาณมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. การทำแห้ง (drying) เป็นการทำให้อาหารแห้งสม่ำเสมอกันและมีการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำด้วย

5. ทำให้เกิดการชะงักของปฏิกิริยาของเอนไซม์ (enzyme inactivation) อาจใช้ไมโครเวฟในการลวกผักและผลไม้ต่างๆ ซึ่งจะไม่ทำให้คุณค่าทางโภชนาการบางอย่างสูญเสียไปเนื่องจากความร้อนไม่ทำให้อาหารสุกเกินไป (overcook)

6. การใช้ไมโครเวฟช่วยเสริมการอบให้ดีขึ้น กล่าวคือเมื่ออบอาหารโดยวิธีทั่วไปแล้วไมโครเวฟจะช่วยให้ความชื้นที่เหลืออยู่ในปริมาณไม่มากนักภายในอาหาร สูญสลายไปได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ทำให้อาหารอยู่ในสภาพสุกเกินไป (overcook)

7. สำหรับระบบแช่แข็งแล้วทำให้อาหารแห้ง (freeze-drying) พลังงานไมโครเวฟจะทำให้เกล็ดน้ำแข็งในอาหารแช่แข็งค่อยๆ ระเหยออกไป และอาหารแห้งที่ได้จะมีลักษณะดี

8. การให้ความร้อนแก่อาหาร (heating) การให้ความร้อนแบบไมโครเวฟจะทำให้อาหารแห้งโดยปราศจากผลเสียเนื่องจากความร้อนที่สูงเกินไป

9. การให้ความร้อนแบบพาสเจอไรซ์ (pasteurizing) ไมโครเวฟจะทำให้อาหารร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วมากและสม่ำเสมอ

10. การอุ่นอาหาร (precooking) เหมาะสำหรับการอุ่นก่อนนำอาหารไปรับประทาน กล่าวคือ ไมโครเวฟจะไม่ทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสผิดแปลกไปจากเดิม

11. การพองและการเกิดโฟม (puffing and foaming) เป็นวิธีที่ดัดแปลงใช้กับอาหารขบเคี้ยวและอาหารอื่น เนื่องจากเป็นการให้ความร้อนภายในอาหารอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลให้ได้ลักษณะที่ฟูและขึ้นตัวดี

12. ไมโครเวฟช่วยในการระเหยตัวทำละลายบางชนิด (solvent removal) ในการใช้ไมโครเวฟจะทำให้ตัวทำละลายบางชนิดที่มีในอาหารระเหยออกไปได้ ทั้งนี้เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ

13. การฆ่าเชื้อ (sterilizing) ในอาหารบางชนิด เช่น อาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะใช้อุณหภูมิไม่สูงมาก แต่ก็สามารถเลือกใช้ที่อุณหภูมิต่างๆ กันได้ เช่น อุณหภูมิที่สูงถึงระดับอุณหภูมิน้ำเดือดเพื่อผลในการทำลายจุลินทรีย์บางชนิด โดยใช้กับภาชนะพวกแก้ว ฟิล์ม และพลาสติกต่างๆ ซึ่งจะต้องพิจารณาให้ดี เนื่องจากไอน้ำร้อนที่เกิดขึ้นอาจไม่เพียงพอที่จะสามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียนั้นๆ ได้

14. การปรับอุณหภูมิ (tempering) การใช้ไมโครเวฟสำหรับการปรับอุณหภูมิอาหารนั้นจะขึ้นกับปริมาณความชื้นในอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

15. การละลายน้ำแข็ง (thawing) ไมโครเวฟช่วยลดระยะเวลาในการทำละลายน้ำแข็งให้น้อยลง สามารถลดต้นทุนและพลังงานในการให้ความร้อนลง มีความยืดหยุ่นและสามารถควบคุมสุขลักษณะของอาหารได้ดีกว่า รวมทั้งลดพื้นที่ในการเก็บรักษาอาหารลงได้

2.7 การแช่เย็นอาหาร

อุณหภูมิต่ำจะมีผลในการลดปฏิกิริยาทางเคมีและการทำงานของเอนไซม์ ลดอัตราเมตาบอลิซึมของเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้ยับยั้งการเจริญ แต่ไม่ได้ฆ่าหรือทำลายจุลินทรีย์ วิธีนี้จึงใช้ในการถนอมผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อให้เก็บรักษาได้นานขึ้น (นงลักษณ์ สุวรรณพานิช และปรีชา สุวรรณพานิช, 2548)

การใช้อุณหภูมิต่ำสามารถควบคุมจุลินทรีย์ โดยแบ่งออกได้หลายช่วงคือ การใช้ช่วงอุณหภูมิ 10-20 ^{o}C ส่วนใหญ่อยู่ที่ 15 ^{o}C มักใช้กับอาหารพวกผักผลไม้ การใช้ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 4-12 ^{o}C ส่วนใหญ่อยู่ที่ 8 ^{o}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิของตู้เย็นทั่วๆ ไป ความเย็นระดับนี้จุลินทรีย์ที่เจริญได้คือ แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) (นงลักษณ์ สุวรรณพานิช และปรีชาสุวรรณพานิช, 2548) ซึ่งตามปกติอาหารแช่เย็น ไม่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียประเภทที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) แต่เหมาะสมกับแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) หรือแบคทีเรียที่ปรับตัวเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophs)

จุลินทรีย์สามารถเจริญที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากองค์ประกอบของไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ส่วนมากประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวและกรดไขมันโมเลกุลสั้น กรดไขมันเหล่านี้มีจุดหลอมเหลวต่ำ จึงคงสภาวะเป็นของเหลวแม้ว่าจะมีอุณหภูมิต่ำก็ตาม เป็นผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ยังทำงานได้และยอมให้สารอาหารและเอนไซม์บางชนิดผ่านเข้าสู่เซลล์ ในการทำลายจุลินทรีย์โปรตีนและเอนไซม์มักเป็นเป้าหมายสำคัญ เพราะเป็นส่วนที่ไวต่อความร้อน ยกเว้นแบคทีเรียบางชนิดที่ทนความร้อน เช่น แบคทีเรียจำพวก pseudomonads จะสร้างเอนไซม์ไลเปส (lipase) และโปรตีเอส (protease)ที่ทนความร้อนขึ้นมา นับเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้นมสดพาสเจอไรซ์ที่เก็บไว้นานเสื่อมคุณภาพ

สำหรับแบคทีเรียจำพวก mesophiles แม้ว่าจะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลางก็ตาม แต่ที่อุณหภูมิต่ำแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวจะเจริญช้าหรือหยุดเจริญโดยที่ยังไม่ตาย การแช่เย็นแบบเร็ว (rapid cooling) มีผลทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า cold shock หรือการได้รับความเย็นจัดในทันทีทันใดทำให้แบคทีเรียบาดเจ็บและตายได้มากกว่าการแช่เย็นแบบค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งแบคทีเรียมีโอกาสปรับตัวได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม ประสิทธิผลของ cold shock ยังขึ้นอยู่กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ชนิดของแบคทีเรียในอาหาร โดยแบคทีเรียแกรมลบจะไวต่อ cold shock มากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

2. ช่วงการเจริญเติบโต แบคทีเรียที่เจริญเติบโตหากอยู่ในระยะ exponential phase ก็จะไวต่อ cold shock มากกว่าในระยะ stationary phase

3. ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิและอัตราของการทำให้อาหารเย็นลง ถ้าสองปัจจัยดังกล่าวนี้สูง ก็จะยิ่งเพิ่มประสิทธิผลในการทำลายเซลล์มากขึ้นเท่านั้น

4. องค์ประกอบของอาหาร (growth medium) แบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีองค์ประกอบซับซ้อน จะสามารถทนต่อ cold shock ได้มากกว่าแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อธรรมดา

ผลของ cold shock ก่อให้เกิดการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไขมันเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้มีลักษณะเป็นรูพรุนที่ชอบน้ำ (hydrophilic pores) เป็นผลให้องค์ประกอบของเซลล์รั่วออกไปสู่ภายนอก เพิ่มการฉีกขาดของสาย DNA รวมทั้งการสังเคราะห์โปรตีนที่มีความจำเพาะกับสภาวะของ cold shock ด้วย

เนื่องจากเทคนิคการแช่เย็นแบบธรรมดาไม่ได้มุ่งทำลายแบคทีเรีย ดังนั้นจึงมีแบคทีเรียจำนวนหนึ่งรอดชีวิตอยู่ได้ ด้วยเหตุนี้การใช้วัตถุดิบที่มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนมาน้อย และการเคลื่อนย้ายอาหารอย่างถูกหลักสุขอนามัย จึงมีความจำเป็นต่อการผลิตอาหารแช่เย็นที่มีความปลอดภัย แบคทีเรียจำพวก mesophiles ที่รอดชีวิตจากกระบวนการแช่เย็นอาจบาดเจ็บ และต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งในการพักฟื้นกว่าจะแข็งแรงมีจำนวนพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค จึงต้องใช้เวลานาน และต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมด้วย ดังนั้น การแช่เย็นจึงเป็นเทคนิคหนึ่งในการถนอมอาหารที่สามารถป้องกันความเสี่ยงจากโรคอาหารเป็นพิษได้ในระดับหนึ่ง จากแบคทีเรียจำพวก mesophiles มิให้เพิ่มจำนวนขึ้นจนก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคได้ แต่การแช่เย็นอาหารไม่สามารถประกันได้ว่าจะปลอดภัยจากแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ เพราะไม่สามารถกำจัดแบคทีเรียออกไปได้หมด นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียบางสายพันธุ์ที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำด้วย ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตอาหารแช่เย็นจะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ และนำมาเป็นข้อพิจารณาในการจัดการความเสี่ยงสำหรับการจัดทำระบบคุณภาพ เพื่อเข้าถึงความปลอดภัยของอาหารในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีประเด็นที่ต้องคำนึงถึงอีก เช่น ธรรมชาติของอาหารบางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ หรือเกิดลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น อาทิ การช้ำเนื่องจากความเย็น (cold injury) การฉีกขาดของเนื้อเยื่อหรือการสูญเสียความคงตัวของอาหาร ซึ่งจะมีผลให้จุลินทรีย์เข้าทำลายได้ง่าย (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 การบรรจุแบบสุญญากาศ (Vacuum Packaging , VP)

เป□นการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารลงในฟ□ล□มที่มีความสามารถในการต□านทานการซึมผ่านของก□าซออกซิเจน (O_2) สูง จากนั้นดึงอากาศออกจากภาชนะบรรจุและป□ดผนึกเพื่อให□บรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีสภาพเป□นสุญญากาศ ซึ่งจะเกิดการยุบตัวของฟ□ล□มรอบๆ ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความดันภายในภาชนะบรรจุน□อยกว□าความดันบรรยากาศภายนอก ออกซิเจนที่ยังเหลืออยู่ใน บรรจุภัณฑ์จะถูกดูดซับออกไป โดยปฏิกิริยาทางเคมีจากองค์ประกอบอาหารและกิจกรรมการหายใจของจุลินทรีย์ในอาหาร โดยปกติปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในภาชนะบรรจุจะน□อยกว□า 1% ที่สภาวะนี้จะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย□ที่ต□องการอากาศ ดังนั้นการออกแบบรูปร่างของผลิตภัณฑ์อาหารจะช่วยให้เกิดรูปลักษณะที่พึงประสงค์ และไม่มีปัญหาการแทงทะลุแผ่นฟิล์มจากผลิตภัณฑ์ที่แหลมคม

เนื้อสัตว์ที่ผ่านการบรรจุภายใต้สภาวะสุญญากาศ สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ จากผลการยับยั้งเริ่มต้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศตามระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น เนื่องจากกิจกรรมการหายใจของเชื้อจุลินทรีย์ โดยปกติเชื้อแบคทีเรียแกรมลบจะไวต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก โดยพบว่าเชื้อ *Pseudomonas* จะมีความไวมากที่สุด ในขณะที่เชื้อ Lactic acid bacteria และเชื้อในกลุ่ม anaerobes จะมีความทนทานสูงที่สุด ผลการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ สามารถอธิบายได้โดย 2 กลไกคือ กลไกแรกเกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลต่อความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ของ lipid bilayer ในเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ และกลไกที่สองเกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดการหยุดชะงักของระบบ emzymatic decarbonization ภายในเซลล์แบคทีเรีย (Barbut, 2002)

การบรรจุสุญญากาศ ใช้กับอุตสาหกรรมผลิตเนื้อแดงหลังชำแหละในขั้นต้นมานานหลายปี ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้เนื้อมีคุณภาพดี การบรรจุแบบสุญญากาศทำให้เนื้อเก็บรักษาไว้ได้นานกว่าในสภาวะที่มีอากาศถึง 5 เท่า ตามปกติเนื้อมักเน่าเสียเนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบที่ต้องการอากาศ แต่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะถูกยับยั้งโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในบรรจุภัณฑ์ และในบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำที่เกิดขึ้นหลังปิดผนึกแล้ว ในสภาวะเช่นนี้จุลินทรีย์ที่เจริญได้ดีมักได้แก่ แบคทีเรียที่ให้กรดแลคติก แต่การเมตาบอลิซึมจะดำเนินไปช้า จึงไม่เกิดสารเมตาบอไลท์ (metabolite) ขึ้นมากพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเน่าเสียดังเช่นการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบบางชนิดในสภาวะที่มีอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อไม่นานมานี้มีการนำเทคนิคการบรรจุสุญญากาศ มาใช้กับผลิตภัณฑ์เนื้อปรุงสุก เช่น เนื้อปลา และสลัดพร้อมบริโภคเพื่อจำหน่ายปลีก เหตุที่การบรรจุแบบนี้ไม่นิยมใช้กับเนื้อแดงสดเพราะสภาวะไร้อากาศจะทำให้กล้ามเนื้อแดงที่เรียกว่า ไมโอโกลบิน (myoglobin) ขาดออกซิเจน ทำให้เนื้อมีสีม่วง แม้ว่าหลังจากเปิดบรรจุภัณฑ์ เนื้อจะเปลี่ยนเป็นสีแดงได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว เนื่องจากเกิดสารออกซิไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) ขึ้นก็ตาม แต่ผู้บริโภคยังใช้ลักษณะที่ปรากฏในบรรจุภัณฑ์ขณะวางจำหน่ายเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจซื้อ เนื่องจากปริมาณอากาศที่จำกัดมิอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่มีผลต่อการเกิดสารไนโตรโซไมโอโกลบิน (nitroso-myoglobin) ที่จะทำให้เนื้อมีสีแดง ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการขึ้น

การเก็บรักษาอาหารแช่เย็นในสภาพสุญญากาศ และการพัฒนาเครื่องบรรจุสุญญากาศที่ใช้กับสถานประกอบการอาหารขนาดเล็กและใช้ตามบ้าน มีความเสี่ยงสูงจากเชื้อโรคอาหารเป็นพิษที่มีสปอร์ (*Clostridium botulinum*) ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว ผู้ผลิตเครื่องบรรจุสุญญากาศจะต้องเตือนให้ผู้บริโภคระมัดระวังถึงเรื่องนี้ด้วย (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549)

2.9 เอกสารและงายวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาของ Hwang and Beuchat (1995) ที่รายงานถึงประสิทธิภาพของสารละลาย lactic acid/sodium benzoate ที่ใช้ในขั้นตอนการล้าง สามารถลดปริมาณการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) และ psychrotrophic bacteria (*Salmonella*, *Campylobacter jejuni*, *L. monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, หรือ *Escherichia coli* 0157:H7) ในเนื้อไก่ดิบที่ผ่านการเพาะด้วยเชื้อกลุ่มดังกล่าวลงได้ โดยพบว่าเนื้อไก่ส่วนปีกหลังผ่านการล้างด้วยสารละลาย 0.5% lactic acid/0.05% sodium benzoate (LB) (pH 2.64) เป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และ psychrotrophic bacteria ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม (ล้างด้วยน้ำ) เนื่องจากสารละลาย LB จะส่งผลในการฆ่าเชื้อ *Salmonella*, *C. jejuni* และ *E. coli* 0157:H7 ได้มากกว่าเชื้อ *L. monocytogenes* และ *S. aureus* ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C พบว่าประชากรเชื้อ *Salmonella*, *C. jejuni*, *L. monocytogenes* และ *E. coli* 0157:H7 ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการเจริญของเชื้อ psychrotrophic bacteria ในตัวอย่างที่มีการล้างด้วย LB มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นสารละลาย 0.5% lactic acid และ 0.05% sodium benzoate ส่งผลที่ดีในการลดจำนวนประชากรเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค และ psychrotrophic bacteria จึงสามารถใช้สารละลายดังกล่าวเพิ่มความปลอดภัยและยืดอายุการเก็บรักษาตัวอย่างได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้สาร BHT สามารถลดระดับของ thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ในเนื้อไก่และผลิตภัณฑ์จากเนื้อไก่ลงได้ เช่น เนื้ออกไก่บด (ground chicken breast, GCB) ที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลา 8 และ 24 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 °C เป็นเวลา 9 วัน ตัวอย่างที่เติม BHT 0.01% จะมีระดับของ TBARS ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่เติม (Miranda et al., 2012) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Naveena et al. (2008) ที่ใช้สาร BHT ในเนื้อไก่ปรุงสุก โดยผ่านการเก็บรักษาในสภาวะที่มีอากาศอุณหภูมิ 4 °C เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าระดับของ TBARS จะลดลงจาก 1.272 ในตัวอย่างควบคุม (เนื้อไก่ที่ไม่ผ่านการเติมสารต้านอนุมูลอิสระ) จนถึง 0.896 mg malonaldehyde (MDA)/kg ของตัวอย่างที่มีการเติม BHT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ Mohamed and Mansour (2011) พบว่าตลอดระยะเวลา 3 เดือนของการเก็บรักษาเนื้อวัวติดมันผสมกับเนื้อไก่เลาะกระดูก (mechanically deboned poultry meat, MDPM) ในอัตราส่วน MDPM 200 g/kg ของเนื้อวัว ที่อุณหภูมิ -18 °C ตัวอย่างที่ไม่เติมและเติม BHT มีระดับของ TBARS แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสาร BHT สามารถลดระดับของ TBARS ลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติม BHT และถ้าเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสาร BHT และ/หรือ BHA กับสาร antioxidant บางชนิดต่อการเกิด Lipid oxidation พบว่าสาร BHT และ/หรือ BHA สามารถให้ผลที่ดีกว่า ดังเช่นการศึกษาของ Selani et al. (2011) ที่ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดจากเมล็ดองุ่นและองุ่นปอกเปลือก ความเข้มข้น 60 mg ของ Total phenolic compounds ต่อกิโลกรัมของเนื้อสัตว์ (Isabel (IGE) and Niagara (NGE) grape seed and peel extracts) และ BHT 0.01% ต่อการเกิด Lipid oxidation ในเนื้อไก่ปรุงสุกที่อุณหภูมิ 72 °C นาน 5 นาที จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ -18 °C นาน 9 เดือน พบว่าเนื้อไก่ปรุงสุกมีระดับของ TBARS เฉลี่ยเป็น 6.88, 0.88, 1.95 และ 1.69 สำหรับตัวอย่างควบคุม, BHT, IGE และ NGE ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้ BHT ให้ประสิทธิภาพที่ดีในการยับยั้งการเกิด Lipid oxidation มากกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมหรือเติม IGE และ NGE การใช้ผลร่วมกันระหว่างสาร BHA และ BHT (200 mg/kg) ที่อัตราส่วน 1 : 1 จะให้ผลที่ดีกว่าการใช้สาร polyphenol สกัดจากใบโกโก้ (CL) (100, 200, 400 และ 800 mg/kg) ซึ่ง Hassan and Fan (2005) ใช้สารดังกล่าวในเนื้อไก่เลาะกระดูก (MDCM) ผ่านการปรุงสุกและเก็บรักษาที่ 4 °C เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าสามารถจัดลำดับประสิทธิภาพของสารได้ดังนี้คือ BHA/BHT > GT200,CL400,CL800 > CL200 > CL100 > ตัวอย่างควบคุม

การศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพทางจุลชีววิทยาผลิตภัณฑ์เนื้อไก่แช่เย็น ได้แก่ การศึกษาของ Hinton et al. (2004) ได้รายงานผลการติดตามเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสียจากกระบวนการผลิตไก่เชิงพาณิชย์และไก่แช่เย็น ตัวอย่างที่ใช้แบ่งเป็น ก่อนปรับขนาด (Prescaled carcasses) หลังปรับขนาด (Picked carcasses) ไก่ที่ผ่านการตัดหัว เท้า เอาอวัยวะภายในออกและล้างด้วยสเปรย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Eviscerated carcasses) และไก่ที่ผ่านการแช่เย็นในถังน้ำเย็น (Chilled carcasses) นำมาเพาะเชื้อและนับจำนวนเชื้อประจำถิ่นที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (Psychrotrophic bacteria) โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C เป็นเวลา 7, 10 และ 14 วัน จากนั้นสายพันธุ์ของแบคทีเรียที่วิเคราะห์จะนำมาทำการจัดจำแนกและทำแผนภูมิต้นไม้ (Dendrograms) ของโครงร่างกรดไขมัน เพื่อดูความสัมพันธ์กันในระหว่างสายพันธุ์ แม้ว่าบางขั้นตอนของกระบวนการผลิตทำให้ระดับของการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น แต่จำนวนเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสียที่พบในไก่หลังผ่านกระบวนการมีปริมาณน้อยกว่าจำนวนเชื้อแบคทีเรียที่พบในไก่ระหว่างขั้นตอนของการผลิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Ntzimani et al. (2010) พบว่าเนื้อไก่ไม่มีกระดูกกึ่งปรุงสุกที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 4 ± 0.5 ^{o}C เป็นระยะเวลา 18 วัน มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินขีดจำกัดทางจุลชีววิทยา (7 log cfu/g) ซึ่งเป็นระดับที่กำหนดไว้ตาม International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMFS) ปี 1998 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปประมาณ 15-16 วัน ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาออกไปได้ 5-6 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (เก็บในสภาวะที่มีอากาศ) เนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่สามารถใช้ได้ในส่วนบน (head space) สำหรับกระบวนการเมทาบอลิซึมของเชื้อจุลินทรีย์ถูกกำจัดออก ทำให้ปริมาณประชากรเชื้อมีการเจริญในอัตราที่ช้าลง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณยีสต์และราจะมีจำนวนที่ลดลง จนกระทั่งวันที่ 14 ของการเก็บรักษา และถ้าเกินจากช่วงวันนี้ไปพบว่าประชากรเชื้อดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีปริมาณสุดท้ายที่นับได้คือ ประมาณ 3-4 log cfu/g ซึ่งการเพิ่มขึ้นดังกล่าวบางส่วนอาจเกิดมาจากการอยู่รอดของเชื้อที่ทนความร้อน (thermo-tolerant species) ภายหลังผ่านกระบวนการทางความร้อน นอกจากนี้การศึกษาของ Linton et al. (2004) ในเนื้อไก่บดที่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ^{o}C พบว่าตัวอย่างมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นถึงระดับ 10^{7} cfu/g หลังจากการเก็บรักษาได้ประมาณ 8 วันและพบเชื้อแบคทีเรียในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จาก 1.17×10^{2} ถึง 5.75×10^{5} cfu/g ภายหลังจากเก็บรักษานาน 31 วัน คิดเป็น 44% ของเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่น (Microflora) ในเนื้อไก่บด

Patsias et al. (2008) ได้รายงานถึงผลของการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C นาน 9 วัน และ/หรือการใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (MAP) นาน 15 วัน ในเนื้อไก่ดิบไม่มีกระดูก ต่อคุณลักษณะทางจุลชีววิทยา พบว่าตัวอย่างมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินขีดจำกัดทางจุลชีววิทยา (7 log cfu/g) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปประมาณ 5-6 วัน และ 10-12 วัน สำหรับเนื้อไก่สดไม่มีกระดูกที่ผ่านการแช่เย็นเพียงอย่างเดียว (เก็บในสภาวะที่มีอากาศ) และเนื้อไก่แช่เย็นที่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ ตามลำดับ เนื้อไก่สดไม่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระดูกที่ผ่านการแช่เย็นเพียงอย่างเดียว (เก็บรักษาในสภาวะที่มีอากาศ) มีปริมาณเชื้อในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* และ Lactic acid bacteria อยู่ที่ประมาณ 6.5 และ 7.5 log cfu/g ภายหลังจากการเก็บรักษานาน 9 วันตามลำดับ ส่วนเนื้อไก่แช่เย็นที่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ มีปริมาณเชื้อในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* และ Lactic acid bacteria อยู่ที่ประมาณ 5.2 และ 7.4 log cfu/g ภายหลังจากการเก็บรักษานาน 15 วันตามลำดับ นอกจากนี้ระดับของ pH ในตัวอย่างที่ผ่านการแช่เย็นเพียงอย่างเดียวจะผันแปรระหว่าง 5.9 ถึง 6.1 สำหรับตัวอย่างแช่เย็นที่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศนั้น จะมีค่า pH ผันแปรระหว่าง 6.1 ถึง 5.6 อันเป็นผลเนื่องมาจากกรดแลคติกที่ผลิตในกระบวนการเมทาบอลิซึมของเชื้อ LAB และการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ใน aqueous phase ของกล้ามเนื้อไก่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่คล้ายคลึงกันของ Patsias et al. (2006) ที่ได้พิจารณาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไก่กึ่งสำเร็จรูปแช่เย็น ที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีอากาศและสภาวะที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ พบว่าผลของบรรจุภัณฑ์ที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อไก่กึ่งสำเร็จรูปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C ได้ โดยสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไนโตรเจน (CO_2/N_2) ที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์เป็นดังนี้คือ 30%/70% (M1), 60%/40% (M2) และ 90%/10% (M3) ตัวอย่างไก่ที่เก็บในสภาวะที่มีอากาศ เป็นตัวอย่างควบคุมและสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ตามช่วงเวลาที่กำหนดคือ 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 วัน จำนวนเชื้อ Total viable count (TVC) ในผลิตภัณฑ์ไก่กึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 7 log cfu/g หลังการเก็บรักษาได้ 12 และ 16 วัน ในตัวอย่างควบคุมและตัวอย่าง M1 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่าง M2 และ M3 ไม่พบการเพิ่มขึ้นของเชื้อตลอด 20 วันของการเก็บรักษา เชื้อ LAB จัดเป็นเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่น (microflora) โดยธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ไก่กึ่งสำเร็จรูป ที่เก็บในสภาวะที่มีอากาศและสภาวะที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 7.0-8.1 log cfu/g จนสิ้นสุดช่วงเวลาการเก็บรักษา ส่วนเชื้อยีสต์และราในตัวอย่างไก่ที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีอากาศ มีปริมาณมากกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (M1, M2, M3) ทุกๆ ช่วงเวลาของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเชื้อในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* มีปริมาณลดลง (<2 log cfu/g) สำหรับตัวอย่างไก่ทั้งหมดจากสภาวะต่างๆ ในทุกช่วงเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ตัวอย่างทั้งหมดจะมีค่า thiobarbituric acid (TBA) ลดต่ำลงเท่ากับหรือน้อยกว่า 3.0 mg MDA/kg ตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา

Smiddy et al. (2002) พบว่าค่า TBARS ของเนื้อไก่อบที่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นระยะเวลา 25 วัน มีแนวโน้มที่ลดลงจาก 5.25 ถึง 4.41 mg MDA/kg โดยระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่างในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศนั้นมีความสัมพันธ์ต่อผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของการเกิด lipid oxidation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และการศึกษาของ Veberg et al. (2006) พบว่าค่าเฉลี่ย TBARS ของเนื้อไก่งวงสับที่ผ่านการบรรจุในบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ และเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน และ 12 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C มีค่าเป็น 0.30 และ 0.32 mg MDA/kg ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved