บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันอาหารกระป๋องเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้รับความนิยมและการยอมรับจากผู้บริโภค เนื่องจากสามารถลดข้อจำกัดทางด้านเวลาจึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งกระบวนการแปรรูปอาหารกระป๋องมีการให้ความร้อนกับอาหารในระดับสเตอริไรซ์ และมีการปิดผนึกแน่นทำให้อาหารมีความปลอดภัยจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ นอกจากนี้อาหารกระป๋องสามารถเก็บรักษาภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องได้นาน 1-4 ปี และสะดวกในการขนส่งเคลื่อนย้ายทำให้ในปัจจุบันได้มีการผลิตอาหารกระป๋องมากมายหลายรูปแบบ เช่น ผักและผลไม้กระป๋อง อาหารทะเลกระป๋อง เนื้อสัตว์กระป๋อง เป็นต้น

เนื้อสัตว์กระป๋องจัดเป็นอาหารกระป๋องประเภทกรดต่ำ เนื่องจากมีค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่า 4.6 ถ้าระดับความร้อนที่ใช้ฆ่าเชื้อไม่เพียงพอเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่จะเจริญเติบโตและเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียและเกิดสารพิษได้ ดังนั้นการแปรรูปเนื้อสัตว์กระป๋องต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ต้องสามารถทำลายเซลล์เจริญและสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษและทำให้เกิดการเน่าเสียที่ปนเปื้อนอยู่ได้ (เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, 2536)

หมูยอเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ประเภทอิมัลชันที่นิยมบริโภคแพร่หลายทั่วไป โดยมีวิธีการผลิตดังนี้ นำเนื้อแดงมาสับผสมกับเกลือ จากนั้นเติมมันแข็งและส่วนผสมอื่น ๆ ตามลำดับสับผสมต่อไปจนเกิดอิมัลชัน แล้วจึงนำไปต้มที่อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง (Pearson and Tauber, 1984) จึงถือได้ว่าหมูยอได้รับความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งสามารถทำลายเฉพาะเซลล์เจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและก่อให้เกิดโรคเท่านั้นไม่สามารถทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส

แนวคิดในการผลิตหมูยอกระป๋องเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาและช่วยให้หมูยอสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ อีกทั้งยังเป็นการสะดวกในการขนส่งและกระจายสินค้าได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหมูยอเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ประเภทอิมัลชัน การแปรรูปเป็นอาหารกระป๋องนั้นต้องใช้ความร้อนในระดับที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรงในเรื่องของเนื้อสัมผัสประกอบกับมีรายงานว่าการใช้โซเดียมไนไตรท์ในปริมาณ 150–200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถยับยั้งการเจริญและสร้างสารพิษของ *Clostridium botulinum* ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อสัตว์กระป๋องได้ (Lindsay, 1996) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Lee และคณะ (1978) รายงานว่า การใช้โซเดียมไนไตรท์ในปริมาณที่สูงขึ้น จะช่วยลดระยะเวลาในการให้ความร้อนในการแปรรูปเนื้อสัตว์บรรจุกระป๋องได้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้โซเดียมไนไตรท์ร่วมกับความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการแปรรูปหมูยอกระป๋อง ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้นและสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

การตรวจเอกสาร

1. ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ (2536) แบ่งกลุ่มของผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามสภาพของเนื้อสัตว์ ดังนี้

1.1. ผลิตภัณฑ์ไม่ลดขนาด (non–comminuted products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่โครงสร้างของเนื้อจะยังคงรูปร่างและโครงสร้างของเนื้อสดอยู่ เช่น แฮม เบคอน หมูแผ่น หมูหยอง สะเต็ก

1.2. ผลิตภัณฑ์ลดขนาด (comminuted products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่โครงสร้างสุดท้ายประกอบกันขึ้นมาจากเนื้อสัตว์ชิ้นเล็ก ๆ ย่อย ๆ รวมตัวกันขึ้นเป็นรูปร่างตามสิ่งที่บรรจุ เนื้อสัตว์ที่เป็นวัตถุดิบหลักถูกลดขนาดให้เล็กลงโดยการหั่น บด การสับละเอียด ผลิตภัณฑ์ลดขนาดอาจแบ่งตามลักษณะโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ และการลดขนาดชิ้นส่วนของเนื้อเป็น 2 กลุ่ม คือ

1.2.1 ผลิตภัณฑ์ลดขนาดบดหยาบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกลดขนาดลงแต่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพภายในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ เช่น ไส้กรอกเปรี้ยว แหนม กุนเชียง ไส้กรอกซาลามี (salami) หมูส้ม เป็นต้น

1.2.2 ผลิตภัณฑ์ลดขนาดบดละเอียดอิมัลชัน เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเนื้อที่ลดขนาดแล้วมาสับผสมกับเกลือก่อนแล้วจึงเติมไขมันส่งผลให้โครงสร้างระดับเส้นใยกล้ามเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโปรตีนไมโอซิน (myosin) จะละลายออกมาเคลือบอนุภาคของเม็ดไขมันไว้จึงทำให้ส่วนผสมไขมันและน้ำเกิดการรวมตัวกันเป็นส่วนผสมที่มีความคงตัวขึ้นเรียกว่าอิมัลชัน เช่น หมูยอ ไส้กรอกเวียนนา โบโลญา (bologna) ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ (frankfurter sausage) แนกเวอร์สท (knackwurst) เบอร์ลินเนอร์ (berliner) ลันเชี่ยนมีท (luncheon meat) และลูกชิ้นต่าง ๆ เป็นต้น (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2527)

2. ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมูยอ

หมูยอเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อที่อยู่ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ลดขนาดบดละเอียดอิมัลชันชนิดหนึ่ง คุณลักษณะที่ต้องการ คือ มีสีครีมตามธรรมชาติของหมูยอ กลิ่นหอมน่ารับประทาน รสดี ปราศจากกลิ่นบูดเน่า หรือกลิ่นแปลกปลอมอื่นๆ เนื้อละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน แน่น ไม่ยุ่ย อาจมีมันหมูชิ้นเล็ก ๆ แทรกอยู่ (มอก.1346, 2539) ส่วนประกอบที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตหมูยอมีดังต่อไปนี้

2.1 เนื้อแดง (lean meat)

ใช้เนื้อแดงบริเวณสะโพก เพราะเป็นบริเวณที่มีกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ มีปริมาณของไขมัน เส้นเอ็น และพังผืดแทรกอยู่น้อยมาก ควรเลือกใช้เนื้อสดปราศจากโรค ไม่มีกระดูกอ่อนปน ไม่มีจุดคั่งของเลือด ซึ่งเนื้อจะเป็นแหล่งของโปรตีน โดยโปรตีนในเนื้อสามารถจำแนกตามคุณสมบัติในการละลายแตกต่างกัน ดังนี้ (Varnam and Sutherland, 1995)

2.1.1 โปรตีนซาร์โคพลาสมิค (sarcoplasmic protein) เป็นโปรตีนของไซโตรพลาสซึม (sarcoplasm) เป็นโปรตีนที่สามารถละลายในน้ำหรือสารละลายเกลือที่มีความแรงอิออนน้อยกว่า 0.15 (Xiong, 1992) สามารถสกัดออกจากเส้นใยกล้ามเนื้อโดยสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่ำ โปรตีนชนิดนี้สามารถเชื่อมประสานกับไขมันได้ดี แต่อิมัลชันที่ได้ไม่ค่อยคงตัว

2.1.2 โปรตีนไมโอไฟบริลลา (myofibrilla protein) เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือที่มีความแรงอิออนมากกว่า 0.15 (โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0.3-1.0) (Xiong, 1992) สารละลายโปรตีนดังกล่าวสามารถตกตะกอนโดยการเจือจางด้วยน้ำกลั่นประมาณ 10 เท่า โปรตีนไมโอไฟบริลลาประกอบด้วย

2.1.2.1 ไมโอซิน (myosin) เป็นโปรตีนที่พบในส่วนฟิลาเมนท์หนา (thick filament) มีประมาณร้อยละ 45 ของโปรตีนไมโอไฟบริลลา และมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 480,000 ดาลตัน ซึ่งสามารถจำแนกโมเลกุลไมโอซินออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนหัวของโมเลกุลเป็นด้านปลายไนโตรเจน (N-terminal) มีลักษณะเป็นทรงกลม สำหรับส่วนหางเป็นด้านปลายคาร์บอน (C-terminal) มีรูปร่างเป็นเส้นประกอบด้วยสาย

โพลีเปบไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (200,000 ดาลตัน) จำนวน 2 เส้น และสายโพลิเปบไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (20,000 ดาลตัน) จำนวน 4 เส้น (Domodaran, 1996)

2.1.2.2 แอกติน (actin) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของฟิลาเมนท์เส้นบาง (thin filament) โดยมีปริมาณร้อยละ 20 ของโปรตีนไมโอไฟบริลลา มีน้ำหนักโมเลกุล 42,000 ดาลตัน ทำหน้าที่ร่วมกับไมโอซินในการยืดหดของกล้ามเนื้อซึ่งอยู่ในรูปของแอคโตไมโอซิน

2.1.2.3 โทรโปนิน (troponin) และโทรโปไมโอซิน (tropomyosin) เป็นโปรตีนที่พบในฟิลาเมนต์เส้นบาง มีปริมาณร้อยละ 5 ของโปรตีนไมโอไฟบริลลา โดยมีน้ำหนักโมเลกุล 76,000 และ 37,000 ดาลตัน ตามลำดับ

2.1.3 โปรตีนสโตรมา เป็นส่วนหนึ่งที่เหลือจากโปรตีนซาร์โคพลาสมิคและโปรตีนไมโอไฟบริลลา ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เช่น คอลลาเจน (collagen) และอิลาสติน (elastin) โปรตีนสโตรมาไม่ละลายในกรดด่าง และเกลือ จะหดตัวมากเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะเห็นได้จากรอยแหว่งหรือรูภายในผลิตภัณฑ์

ในการผลิตหมูยอให้มีคุณภาพดีควรเลือกใช้เนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพ คือ มีปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือสูงจะช่วยให้ความคงตัวของอิมัลชันสูงขึ้น นอกจากนี้เนื้อที่นำมาในการผลิตควรเป็นเนื้อในระยะก่อนการเกร็งตัว (pre-rigor mortis) เพราะเป็นเนื้อที่มีปริมาณโปรตีนที่สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือได้สูง สามารถอิมัลซิฟายไขมันได้ดี อีกทั้งเนื้อหมูมีลักษณะเนื้อนุ่ม มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำของเนื้อและการให้กลิ่นรสใกล้เคียงกับเนื้อหมูขณะมีชีวิต ส่วนเนื้อในระยะเกร็งตัว (rigor mortis) จะไม่เหมาะสมอย่างยิ่งในการผลิตหมูยอ เนื่องจากภายในกล้ามเนื้อเกิดการยึดเกาะของส่วนฟิลาเมนต์หนาและส่วนฟิลาเมนท์บาง ทำให้การสกัดแอคตินและไมโอซินซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเกิดเจลและอิมัลชันได้น้อยลง อีกทั้งเนื้อหมูมีเนื้อสัมผัสที่หยาบและเหนียวอันเนื่องมาจากการดึงรั้งของเส้นใยกล้ามเนื้อ ส่วนเนื้อในระยะหลังการเกร็งตัว (post rigor mortis) เป็นเนื้อที่มีค่าความเป็นกรดด่างลดลงเป็น 5.4 ซึ่งเข้าใกล้จุดไอโซอิเลคตริกของไมโอซิน ทำให้ความสามารถในการจับน้ำของโปรตีนลดน้อยลง(Xiong and Brekke, 1990) จึงไม่เหมาะสมในการนำมาผลิตหมูยอ นอกจากนี้เนื้อที่มีองค์ประกอบของเส้นเอ็นพังผืดแทรกอยู่ก็มีผลทำให้ลักษณะสัมผัสของเนื้อเหนียว

ขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตัดหรือลอกออกจากเนื้อหมูที่เราใช้ในการผลิต (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2523)

2.2 ไขมัน (fat)

ไขมันเป็นองค์ประกอบหลักของระบบอิมัลชันและมีบทบาทสำคัญในการผลิตหมูยอ โดยไขมันมีหน้าที่ช่วยในการกระจายตัวของอิมัลชัน ปริมาณของไขมันมีผลต่อความนุ่มและความชุ่มฉ่ำ (Price and Schweigert, 1971) โดยทั่วไปไขมันมีบทบาทในการผลิตหมูยอ โดยช่วยในการปรับปรุงความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ และกลิ่นรส นอกจากนี้เมื่อถูกสับผสมจนละเอียดเป็นอิมัลชัน จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีสว่างขึ้น และไขมันยังเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญอีกด้วย (สุนทรณ์ ฟักเฟื่อง, 2544)

2.3 น้ำหรือน้ำแข็ง

น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำเย็นจัดหรือน้ำแข็ง เพื่อควบคุมอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเสียดสีของเนื้อระหว่างการสับผสมมักใช้น้ำในรูปน้ำแข็งเพื่อรักษาอุณหภูมิตลอดเวลาที่สร้างอิมัลชัน การเติมน้ำปริมาณร้อยละ 10–30 จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ นอกจากนี้น้ำยังทำหน้าที่ในการกระจายองค์ประกอบต่างๆ ให้ทั่วถึงกัน และช่วยทดแทนการสูญเสียน้ำระหว่างการให้ความร้อน จึงทำให้ผลผลิตที่ได้ก็จะสูงขึ้น (Forrest *et al.*, 1976)

2.4. ฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตมีคุณสมบัติในการเพิ่มความนุ่มเนื้อเนื่องจากทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อเพิ่มขึ้นทำให้โปรตีนกล้ามเนื้อคลายตัวและช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำโดยทำให้โปรตีนยึดตัวล้อมรอบโมเลกุลของน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มรสชาติเนื่องจากฟอสเฟตทำให้โครงสร้างของโปรตีนเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายที่สามารถกั้นไม่ให้เลือดและของเหลวในเนื้อไหลออกมาจึงทำให้รสชาติดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้โมเลกุลของเนื้อยึดเกาะกันดีโดยการดึงโมเลกุลโปรตีนที่ละลายน้ำได้มารวมตัวกันทำให้เกิดความยืดหยุ่นขึ้น สามารถหั่นผลิตภัณฑ์ออกเป็นชิ้นบาง ๆ ได้ง่าย (Pearson

and Tauber, 1984; Dziezak, 1990) สารประกอบฟอสเฟตชนิดที่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ ได้แก่ โมโนโซเดียมฟอสเฟต โมโนโปแตสเซียมฟอสเฟต โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (ศิวาพร ศิวเวชช, 2535) Barbut และคณะ (1988) กล่าวว่า โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต มีการนำมาใช้มากที่สุดประมาณร้อยละ 80 ซึ่งอาจนำมาใช้เดี่ยวๆ หรือใช้ร่วมกับฟอสเฟตชนิดอื่น ในทางการค้าใช้ชื่อต่างๆ กัน เช่น แอคคอด ฟิตคอด (Kramlich *et al.*, 1980)

2.5. เกลือ

การเติมเกลือทำให้ความแรงอิออนมากขึ้น ช่วยในการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลลาได้มากขึ้น โดยระยะแรกของการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อิมัลชันจึงนำเนื้อสับผสมกับเติมเกลือก่อนการเติมน้ำเพื่อให้การสกัดโปรตีนได้ดี ทำให้การรวมตัวระหว่างไขมันและน้ำเป็นไปได้ด้วยดี และยังช่วยด้านรสชาติด้วย โดยเกลืออาจอยู่ในรูปเกลือบริสุทธิ์หรือเป็นส่วนผสมของสารอื่น ปริมาณเกลือที่ใช้ประมาณร้อยละ 3–5 (Christain and Saffle, 1967; Hsu and Chung, 1998; Puolanne *et al.*, 2001) นอกจากนี้เกลือยังมีผลต่อการเกิดเจลและช่วยในการจับน้ำภายในโครงสร้างผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาของ Park และคณะ (1996) พบว่าผลิตภัณฑ์ซูริมิจากเนื้อวัวและเนื้อหมูที่เติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3 เจลที่ได้จะมีความแข็งและความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าในตัวอย่างที่ไม่เติมโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Amoto และคณะ (1989) พบว่าเจลของโปรตีนที่เติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 จะมีค่าความชื้นสูงกว่าในขณะที่มีการสูญเสียระหว่างการหุงต้มต่ำกว่าโปรตีนเจลที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับร้อยละ 1

2.6 สารปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติ (seasoning)

เป็นส่วนผสมที่เติมลงไปเพื่อปรับปรุงรสชาติ และยังช่วยในการถนอมรักษาผลิตภัณฑ์ แต่ถ้ามีการเตรียมการที่ไม่ดีพอ สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ได้ สารปรุงแต่งกลิ่นรสชาติ ได้แก่ พริกไทย เกลือ และน้ำปลา

ปริมาณเครื่องปรุงที่ใช้ทั้งหมดไม่ควรเกิน ร้อยละ 1 ของน้ำหนักเนื้อ (Forrest *et al.*, 1976)

2.7 สารเชื่อมประสาน (binders)

สารเชื่อมประสานจะสามารถรวมตัวกับน้ำและไขมัน ทำให้เกิดอิมัลชันได้ และยังทำหน้าที่รักษาความคงตัวของอิมัลชันโดยป้องกันการเกิดการแยกชั้นและการแตกตัวของอิมัลชัน นอกจากนี้ช่วยปรับปรุงคุณภาพในการหั่นและลดต้นทุนในการผลิต ตัวอย่างสารเชื่อม เช่น โปรตีนนม โปรตีนถั่วเหลือง เป็นต้น (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2523 ; Zayas, 1997)

2.8 สารเติมเต็ม (fillers)

สารเติมเต็มมักเป็นพวกแป้งและสารพวกไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) แป้งทำหน้าที่เป็นสารเติมเต็มในโครงข่ายโปรตีนไมโอไฟบริลลา โดยไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ กับโปรตีน (Wu *et al.*, 1985) แป้งไม่มีสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานไขมันกับโปรตีน เนื่องจากแป้งขาดคุณสมบัติการเป็นพอลิอิเลคโตรไลท์ (polyelectrolyte) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน แต่เมื่อแป้งดูดน้ำและได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัวขึ้น ซึ่งการพองตัวของเม็ดแป้งจะช่วยให้เม็ดไขมันเกิดการกระจายตัวไม่ให้เกิดการรวมตัวกัน (Pomeranz, 1991) มีการใช้คาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะไฮโดรคอลลอยด์ทดแทน ไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ไขมันต่ำจำพวกไส้กรอกและแฮม เพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส (Skrede, 1989; Bloukas *et al.*, 1997) นอกจากนี้การผสมโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นและแคปปาคาราจีแนน ในอัตราส่วน 3:1 สามารถเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและความคงตัวต่อความร้อนของไส้กรอก (Pietrasik and Duda, 2000) ส่วนแป้งมีส่วนช่วยในการรักษาความฉ่ำน้ำและความนุ่มในผลิตภัณฑ์เนื้อไขมันต่ำ (Giese, 1992) โดยระดับแป้งที่เพิ่มขึ้นสามารถลดค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการหุงต้ม (cooking loss) (Colmenero *et al.*, 1996) Lyons และคณะ (1999) ศึกษาผลของโปรตีนเวย์ (whey protein) คาราจีแนน (carrageenan) และแป้งมันสำปะหลังต่อลักษณะของไส้กรอกหมูไขมันต่ำ พบว่าไส้กรอกที่เติมคาราจีแนน

จะมีลักษณะเจลใสและเนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่นมากขึ้น และเมื่อใช้คาราจีแนนร่วมกับโปรตีนเวย์ สามารถลดค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการหุงต้มจากร้อยละ 12 เหลือร้อยละ 3 ส่วนการเติมแป้งมันสำปะหลัง ในปริมาณร้อยละ 0–3 สามารถลดค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการหุงต้มลดลงจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 4 นอกจากนี้ Pietrasik (1999) พบว่าการเติมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรร้อยละ 3.32–5.68 ในไส้กรอกสามารถเพิ่มคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ลดค่าการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการหุงต้มและเพิ่มค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

3. ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน

3.1 ปริมาณของโปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือ คือปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลลาซึ่งมีไมโอซินและแอคตินเป็นส่วนประกอบ โปรตีนชนิดนี้ละลายได้เมื่อเติมเกลือร้อยละ 2-3 โดยน้ำหนัก โดยเมื่อเติมเกลือแล้วสับผสมโปรตีนไมโอซินและแอคตินจะละลายออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อและรวมตัวกันเป็นโปรตีนแอคโตไมโอซิน (actomyosin) ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เกิดความหนืดระหว่างสับผสม และเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75–100 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการสร้างโครงสร้างแบบตาข่าย (actomyosin network) ที่สามารถกักเก็บโมเลกุลน้ำไว้ภายในจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวและยืดหยุ่น (Sone, 1972) ในการผลิตผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ประเภทอิมัลชัน ปริมาณของโปรตีนไมโอไฟบริลลาที่สกัดออกจากเนื้อเยื่อมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยโปรตีนที่สกัดได้นี้ทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) ถ้ามีปริมาณโปรตีนที่สกัดได้มากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดอิมัลชัน ปัจจัยที่มีผลในการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลลา ได้แก่ ความเข้มข้นของเกลือที่ใช้โดยที่การใช้เกลือร้อยละ 4 สามารถสกัดไมโอซินและแอคตินได้ในปริมาณสูงสุด แต่อาจจะทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์มีรสชาติเค็มเกินไปจึงนิยมเติมเกลือเพียงร้อยละ 2–3 (Kramlich *et al.*, 1980)

3.2 อุณหภูมิระหว่างการเกิดอิมัลชัน ในระหว่างการสับผสมและการเกิดอิมัลชัน ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยจะเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีนได้มากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้อิมัลชันแตกหรือเสียเสถียรภาพไป เนื่องจากโปรตีนเกิด

การเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) และสูญเสียคุณสมบัติในการห่อหุ้มไขมัน (Kramlich, 1971) ดังนั้นในช่วงแรกของการสับเนื้อจะต้องรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 3–11 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นเครื่องสับผสมที่มีความเร็วรอบช้าอุณหภูมิในการสับผสมไม่ควรเกิน 4–7 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าเครื่องสับที่มีความเร็วรอบสูงที่มีอุณหภูมิประมาณ 11 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้สับผสมนานเกินไป (Kramlich, 1971) เนื่องจากระหว่างการสับผสมอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 5-11 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 10–15 นาที (Kramlich *et al.*, 1980) เมื่อเติมเครื่องปรุงรสและไขมันลงในส่วนผสมจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น การเกิดอิมัลชันของไขมันและโปรตีนจะเกิดได้ดี และในช่วงสุดท้ายของการสับผสมอุณหภูมิไม่ควรเกิน 10–16 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงกว่านี้โปรตีนบางส่วนอาจเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ และความสามารถในการห่อหุ้มเม็ดไขมันน้อยลง เนื่องจากไขมันบางส่วนหลอมทำให้แรงตึงผิวเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการแยกชั้นและเสียสภาวะอิมัลชันไป (Forrest *et al.*, 1976)

3.3 เวลาที่ใช้ในการสับผสม ถ้าใช้เวลาสั้นเกินไปเม็ดไขมันจะมีขนาดใหญ่สามารถรวมตัวกันและแยกจากส่วนที่เป็นน้ำได้ง่าย แต่ถ้าใช้เวลามากเกินไปเม็ดไขมันจะมีขนาดเล็กมากทำให้พื้นที่ผิวของไขมันเพิ่มมากขึ้นจนปริมาณโปรตีนที่ใช้ในการหุ้มไม่เพียงพอทำให้เกิดการรวมตัวของเม็ดไขมันและเกิดการแยกชั้นได้เช่นกัน ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของไขมันลดลง 1 เท่าจะทำให้พื้นที่ผิวของเม็ดไขมันเพิ่มขึ้น 1 เท่า เช่น เม็ดไขมันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ไมโครเมตร เมื่อถูกสับผสมจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ไมโครเมตร ทำให้เกิดอนุภาคของไขมัน 125 อนุภาค พื้นที่ผิวของอนุภาคไขมันเพิ่มขึ้นจาก 7,850 ตารางไมโครเมตร เป็น 39,250 ตารางไมโครเมตร ซึ่งการเพิ่มพื้นที่ผิว 5 เท่านี้ทำให้ต้องใช้ปริมาณโปรตีนชนิดละลายในน้ำเกลือเพิ่มมากขึ้นเพื่อห่อหุ้มไขมันเล็กๆ นี้ให้ได้หมด พื้นที่ผิวที่มากขึ้นนี้อาจเกิดจากสภาวะการสับผสมนานเกินไป (overchopping) (Forrest *et al.*, 1976)

3.4 ความหนืดของอิมัลชัน เนื่องจากเม็ดไขมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ จึงพยายามลอยตัวขึ้นด้านบน ถ้าอิมัลชันมีความหนืดต่ำไขมันจะลอยขึ้นสู่ด้านบนได้ง่าย

และเกิดการแยกชั้นจากส่วนที่เป็นน้ำ ทำให้ความคงตัวของอิมัลชันเสียไป (Forrest *et al.*, 1976) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของอิมัลชัน ได้แก่ ปริมาณน้ำในส่วนผสม ถ้ามีอยู่น้อย ความหนืดของอิมัลชันจะสูง นอกจากนั้นเวลาในการสับผสมก็มีผลต่อความหนืดเช่นกัน โดยเวลาในการสับผสมที่เหมาะสมคือประมาณ 10 นาที อิมัลชันจะมีความหนืดและเม็ดไขมันพอเหมาะ ถ้าเวลามากเกินไปความหนืดของอิมัลชันจะต่ำลง นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อสัตว์ และความเข้มข้นของเกลือก็มีผลต่อความหนืดของอิมัลชัน โดยความหนืดของอิมัลชันจะสูงเมื่อค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อและความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น

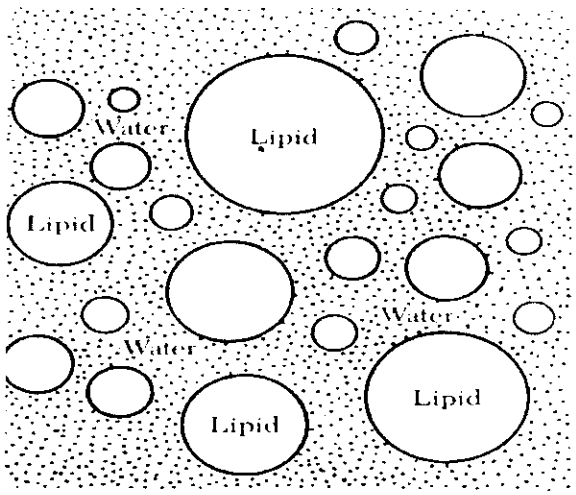
3.5 ค่าความเป็นกรดด่าง ถ้าค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อสัตว์ต่ำจนใกล้จุดไอโซอิเลคตริก (isoelectric point) โปรตีนไมโอไฟบริลลาจะละลายออกมาในเกลือน้อยลง โดยทั่วไปค่าความเป็นกรดด่างของเนื้อสัตว์ที่ผ่านระยะเกร็งตัว แล้วจะอยู่ในช่วง 5.3–5.7 และจุดไอโซอิเลคตริกจะอยู่ที่ค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 5 ดังนั้นควรเลือกใช้เนื้อก่อนการเกิดระยะเกร็งตัว (Kramlich, 1971)

3.6 อุณหภูมิระหว่างการทำให้สุก การใช้อุณหภูมิที่ทำให้สุกต่างกันจะมีผลต่อความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามลำดับที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 80–90 องศาเซลเซียส แต่ถ้าใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียสจะมีผลทำให้ความยืดหยุ่นลดลงอย่างรวดเร็ว และการใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส จะมีผลทำลายความยืดหยุ่นเนื่องจากผลของความร้อนจะไปทำลายโครงข่ายของโปรตีนและอาจเกิดการแตกตัวของอิมัลชันได้ (Lee and Toledo, 1979) โดยที่การทำให้สุกโดยใช้อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้โปรตีนที่ห่อหุ้มรอบไขมันเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว ขณะที่ไขมันเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วเช่นกัน จึงส่งผลให้โปรตีนที่ห่อหุ้มรอบไขมันเกิดการฉีกขาด และเกิดการเคลื่อนที่ของไขมันออกมาในตาข่าย (Pearson and Tauber, 1984)

4. อิมัลชัน (emulsion)

ประกอบด้วยของเหลว 2 ชนิด รวมกันอยู่ โดยปกติไม่สามารถเข้ากันได้ โดยลักษณะของอิมัลชันในผลิตภัณฑ์เนื้อเป็นแบบไขมันในน้ำ (oil in water emulsion) มีน้ำทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ (continuous phase) และไขมันเป็นเฟสไม่เคลื่อนที่ (discontinuous phase) ซึ่งมีขนาดของหยดไขมันขนาด 0.1 ถึง 0.5 ไมโครเมตรเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยโปรตีนของเนื้อสัตว์คือโปรตีนไมโอไฟบริลลา ทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ เนื่องจากมีส่วนที่จับกับน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่จับกับสารอื่นที่ไม่รวมตัวกับน้ำ (hydrophobic) เช่นไขมันอยู่ในโมเลกุลเดียวกันทำให้อิมัลชันมีความคงตัว และเมื่อผ่านการให้ความร้อนโปรตีนจะรวมตัวตกตะกอนอยู่รอบ ๆ อนุภาคของไขมัน โดยเฉพาะไมโอซินจะจับตัวเป็นตาข่ายหุ้มเม็ดไขมันไว้ ทำให้ได้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดี (Xiong, 1992) ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บดละเอียดอิมัลชัน โปรตีนของเนื้อถูกละลายออกจากภายในกล้ามเนื้อมาอยู่รวมกันกับตัวถูกละลายอื่น ๆ และน้ำ ซึ่งอาจเรียกกันทั้งหมดนี้ว่าเป็นเฟสเคลื่อนที่ในขณะที่ไขมันจะถูกปั่นละเอียดให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปในส่วนผสมแรก

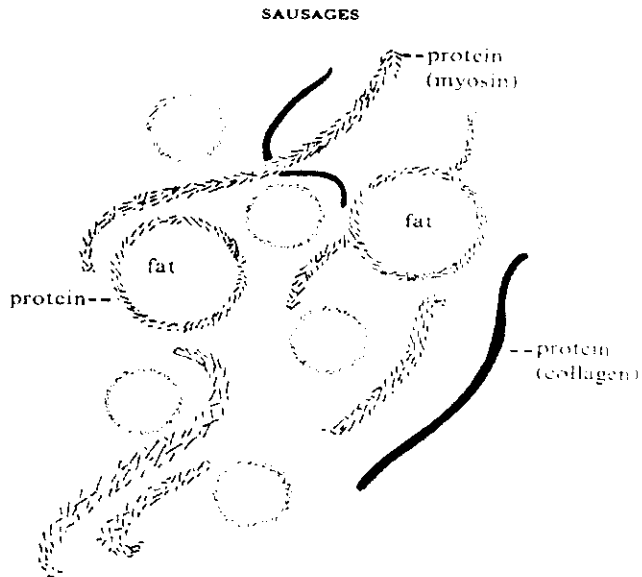
อิมัลชันโดยทั่ว ๆ ไปแล้วมักจะไม่คงตัวถ้าขาดอิมัลซิฟายเออร์ หรือสารให้ความคงตัว เมื่อหยดไขมันสัมผัสกับระบบน้ำจะมีแรงตึงผิวสูงมากจึงต้องการสารอิมัลซิฟายเออร์มาลดแรงตึงผิวลงและทำให้สภาพอิมัลชันคงตัว ไมโอซินที่ถูกสกัดละลายออกมานั้นจะไปทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ในผลิตภัณฑ์เนื้อ ซึ่งเป็นรูปแบบของอิมัลชันที่มีหยดไขมันเล็กละเอียดถูกห่อหุ้มไว้ด้วยโมเลกุลของสารอิมัลซิฟายเออร์ โดยส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกของโมเลกุลจะสัมผัสกับไขมันภายใน และส่วนไฮโดรฟิลลิกก็จะสัมผัสกับน้ำที่อยู่รอบนอกหยดไขมันดังแสดงในภาพที่ 2 และถ้าในระบบนี้มีสารอิมัลซิฟายเออร์มากเพียงพอก็จะทำให้ระบบมีความคงตัวนาน (Walstra, 1996) จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าหยดไขมันจะถูกห่อหุ้มไว้ด้วยไมโอซินซึ่งทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ ส่วนโปรตีนที่เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนั้น ไม่สามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้จึงลอยตัวอยู่โดยอิสระและไม่มีผลใด ๆ ต่อความเป็นอิมัลชัน (ชัยณรงค์ คันธพณิต, 2529)



ภาพที่ 1 อิมัลชันของน้ำมันในน้ำ

Oil in water emulsion

ที่มา : ชัยณรงค์ คันธพณิต (2529)



ภาพที่ 2 อิมัลชันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บดละเอียดอิมัลชัน

Emulsion of comminuted product

ที่มา : ชัยณรงค์ คันธพณิต (2529)

5. การเกิดเจล (gel forming)

โปรตีนไมโอไฟบริลลามีผลต่อการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ประเภทบดละเอียดอิมัลชัน โดยไมโอซินจะมีอิทธิพลต่อการเกิดเจลมากกว่าแอคตินซึ่งจะช่วยให้เกิดเจลดีขึ้นหรือขัดขวางการเกิดเจลขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของไมโอซินต่อแอคตินในระบบเจล โปรตีนเจลจะฟอร์มโครงข่าย 3 มิติ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างแอคตินและไมโอซิน ซึ่งเราเรียกว่าโครงข่ายแอคโตไมโอซินด้วยพันธะไฮโดรเจนและพันธะไฮโดรโฟบิกซึ่งเกิดการกักเก็บน้ำไว้ภายในโครงข่าย (Pomeranz, 1991) โดยพันธะไฮโดรเจนจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่พันธะไฮโดรโฟบิกจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น การเกิดเจลจากความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ (Smyth and O'Neill, 1997)

1. โปรตีนไมโอฟิบริลลาถูกละลายออกมาโดยสารละลายเกลือ
2. โปรตีนบางส่วนเกิดการคลายเกลียวอันเป็นผลมาจากความร้อน
3. โปรตีนเกิดการจัดเรียงตัวเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ ด้วยพันธะโควาเลนซ์และพันธะที่ไม่ใช่โควาเลนซ์ฟอร์มเป็นโครงข่าย 3 มิติ

6. บทบาทหลักของไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์เนื้อ

การใช้ไนเตรต (nitrate) และไนไตรท์ (nitrite)ในอาหารประเภทเนื้อสัตว์เริ่มต้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1925 ในปัจจุบันประเทศไทยอนุญาตให้ใช้ ไนเตรตและไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ไม่เกิน 500 และ 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ (กองวิเคราะห์อาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2530) โดยมีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้ (Wilson, 1981)

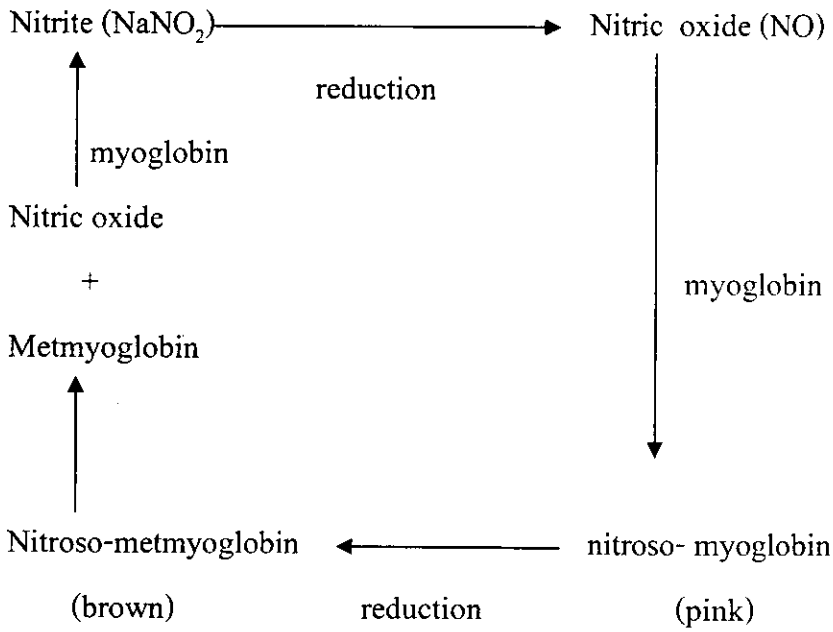
6.1 รักษาคุณภาพทางด้านสีในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เช่น เบคอน แฮม ไส้กรอก เป็นต้น โดยสารประกอบพวกไนไตรท์ เช่น โปแตสเซียมไนไตรท์ (KNO_2) โซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) สามารถเติมลงในอาหารได้โดยตรง แต่สารประกอบพวกไนเตรต เช่น โปแตสเซียมไนเตรต (KNO_3) โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$) ต้องอาศัยแบคทีเรียในการเปลี่ยนสารประกอบไนเตรตเป็นไนไตรท์ สารประกอบไนไตรท์ที่ได้จะเปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) และเมื่อทำปฏิกิริยากับไมโอโกลบิล (myoglobin) ซึ่งเป็น

รงควัตถุที่สำคัญในเนื้อได้เป็นไนโตรโซไมโอโกลบิล (nitroso-myoglobin) ทำให้เนื้อเป็นสีแดงชมพู ซึ่งเป็นสารที่มีความคงตัว (Davidson and Branen, 1993) กลไกการเกิดไนโตรโซไมโอโกลบิน แสดงดังภาพที่ 3

Bloukas และคณะ (1999) ศึกษาผลของการใช้ไนไตรท์ต่อคุณภาพทางด้านสีของไส้กรอกแฟรงเฟอร์เตอร์ที่มีการเติมและไม่เติมไนไตรท์ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมไนไตรท์จะมีค่าสีแดง (a*) สูงกว่าไส้กรอกในชุดการทดลองที่ไม่เติมไนไตรท์ ($P < 0.05$)

6.2 ยับยั้งการเจริญและสร้างสารพิษของจุลินทรีย์

การใช้ไนไตรท์ในปริมาณ 150–200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Clostridium botulinum* ในผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องประเภทเนื้อสัตว์ กลไกในการยับยั้งจุลินทรีย์ของไนไตรท์ไม่ทราบรายละเอียดที่แน่ชัดแต่มีข้อมูลสนับสนุนว่าไนไตรท์จะทำปฏิกิริยากับหมู่ซัลไฮดริล(sulhydryl) เกิดเป็นสารประกอบที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ภายใต้สภาวะไร้อากาศโดยค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของไนไตรท์ คือ 5.0–5.5 (Lindsay, 1996)



ภาพที่ 3 กลไกการเกิดไนโตรโซไมโอโกลบิล

Mechanism of nitroso-myoglobin

Source : Footitt and Lewis (1995)

Robert และ Ingram (1973 อ้างโดย ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2523) ศึกษาผลการใช้เกลือและไนไตรท์ ปริมาณต่าง ๆ ที่มีต่อการเจริญของเชื้อ *Clostridium botulinum* โดยมีปริมาณแบคทีเรียเริ่มต้น 10^5 เซลล์ต่อ 20 มิลลิลิตร พบว่า *Clostridium botulinum* Type A (NCTC 3806) และ Type B (NCTC 3807) สามารถเจริญได้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเกลือร้อยละ 6 และค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.2 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือเป็นร้อยละ 7 จะสามารถหยุดการเจริญของแบคทีเรียดังกล่าวได้ ส่วนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.0 และมีโซเดียมไนไตรท์ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดยังคงมีการเจริญแต่ในสภาวะที่มีความเป็นกรดด่างลดลงเท่ากับ 5.8 จะสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ อย่างไรก็ตาม *Clostridium botulinum* Type B จะทนต่อสารประกอบพวกคลอไรด์ ไนไตรท์ และค่าความเป็นกรดด่างในช่วง 5.8–6.2 ได้ดีกว่า Type A แสดงให้เห็นว่าปริมาณไนไตรท์ เกลือ และค่าความเป็นกรดด่างจะมีผลต่อการยับยั้งเชื้อ *Clostridium botulinum* แสดงดังในตารางที่ 1

Bushway และคณะ (1982) ศึกษาการใช้ไนไตรท์ปริมาณ 100 และ 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่บดขึ้นรูป (chicken patties) พบว่าไนไตรท์สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้ถึง 10^2 และ 10^4 CFU/g ตามลำดับ Rice and Pierson (1982) ศึกษาการใช้ไนไตรท์ร่วมกับโพแตสเซียมซอร์เบตในไส้กรอกแฟรงเฟอร์เตอร์ต่อการยับยั้งเชื้อ Samonella พบว่าไส้กรอกที่เติมไนไตรท์ที่ระดับ 50 และ 156 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเป็น 21 วัน โดยปราศจากเชื้อ Samonella เช่นเดียวกับการใช้ไนไตรท์ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับเกลือซอร์เบต ร้อยละ 0.26 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chyr และคณะ (1981) รายงานว่าการใช้โซเดียมไนไตรท์ในปริมาณ 156 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของไส้กรอกได้นานขึ้นเป็น 12 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส Fang และคณะ (1985) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของไนไตรท์ต่อการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* คือค่าความเป็นกรดด่างในช่วง 6.0–7.3 และเป็นสภาวะไร้อากาศ (anaerobic condition) โดยมีปริมาณออกซิเจนไม่เกิน 1–1.5 ไมโครกรัม

Sofos และคณะ (1979) ศึกษาการใช้โซเดียมไนไตรท์และกรดซอร์บิกร่วมกันในการควบคุมการเจริญของเชื้อ *Clostridium botulinum* ในไส้กรอกแฟรงเฟอร์เตอร์ พบว่าการใช้ไนไตรท์ในปริมาณ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมร่วมกับกรดซอร์บิกร้อยละ 0.2 มีผลต่อยับยั้งการเจริญของ *Clostridium botulinum* ได้สูงกว่าการใช้ไนไตรท์ในปริมาณ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเพียงอย่างเดียว

Sofos และคณะ (1980a) รายงานว่าการยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อ *Clostridium botulinum* จะขึ้นกับค่าความเป็นกรดด่างของระบบ โดยที่ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.58 (ต่ำสุดในการศึกษา) จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงกว่าที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.33 ถึง 6 เท่า

ตารางที่ 1 ผลของการใช้โซเดียมไนไตรท์ เกลือ และค่าความเป็นกรดด่างต่อการเจริญของเชื้อ *Clostridium botulinum* Type A, B, E และ F ที่ 35 ^{0}C

Effect of sodium nitrite salt and pH on growth of *Clostridium botulinum* Type A, B, E and F at 35 ^{0}C

Salt %	(a_w)	Conc. of sodium nitrite (mg/kg.) which *Clostridium botulinum* still grows at different pH values				
		6.2	6.0	5.8	5.6	5.4
0		300^{+}	300^{+}	250	150	50
1	0.994	300	250	250	150	-
2	0.989	300	250	200	50	-
3	0.983	250	250	150	-	-
4	0.977	250	150	100	-	-
5	0.971	50	50	50	-	-
6	0.965	50	-	-	-	-

Source : Robert and Ingram (1973 อ้างโดย ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2523)

Sofos และคณะ (1980b) ศึกษาการใช้โซเดียมไนไตรท์ร่วมกับโปแตสเซียมซอร์เบต ร้อยละ 0.26 ต่อการยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อ *Clostridium botulinum* ในผลิตภัณฑ์เบคอนพบว่าทั้งไนไตรท์และโปแตสเซียมซอร์เบตมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Clostridium botulinum* โดยที่สารทั้งสองชนิดมีฤทธิ์เสริมกัน คือ เมื่อเก็บรักษาเบคอนไว้ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน ตรวจพบสารพิษร้อยละ 90 ในเบคอนที่ไม่มีการเติมไนไตรท์และโปแตสเซียมซอร์เบต ตรวจพบสารพิษร้อยละ 58.8 ในเบคอนที่เติมโปแตสเซียมซอร์เบต (ร้อยละ 0.26) ตรวจพบสารพิษร้อยละ 22 ในเบคอนที่เติมไนไตรท์ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมร่วมกับการใช้โปแตสเซียมซอร์เบต (ร้อยละ 0.26) ตรวจพบสารพิษร้อยละ 0.4 ในเบคอนที่เติมไนไตรท์ 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเพียงอย่างเดียว และไม่มีสารพิษเกิดขึ้นเลยในเบคอนที่เติมไนไตรท์ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมร่วมกับโปแตสเซียมซอร์เบต (ร้อยละ 0.26)

7. อาหารกระป๋อง

อาหารกระป๋อง คือ การเก็บรักษาอาหารในภาชนะปิดผนึกแน่น อากาศและจุลินทรีย์ไม่สามารถเข้ามาได้ (hermetic container) และได้ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนไว้อย่างเพียงพอและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องทั่วไป และจัดได้ว่าเป็นอาหารที่ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ (Herson and Hulland, 1969)

สภาพปลอดเชื้อทางการค้า (commercial sterility) ในวงการอุตสาหกรรมได้ให้ความหมายไว้ได้ดังนี้ (Potter, 1968)

1. ต้องไม่มีจุลินทรีย์ที่มีพิษรวมทั้ง *Clostridium botulinum* หรือไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเหลืออยู่ในอาหารเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

2. ต้องไม่มีจุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพเหลืออยู่ ส่วนจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่นั้นต้องเจริญไม่ได้ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องทั่วไป เช่น โกดังสินค้าหรือร้านจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น

โดยทั่วไปอาหารกระป๋องสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท (Holdsworth, 1997 ; ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

ประเภทที่ 1 อาหารกรดต่ำ (low acid food) อาหารประเภทนี้มีค่าความเป็นกรดด่าง ระหว่าง 5.5 – 6.8 ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น

ประเภทที่ 2 อาหารกรดปานกลาง (medium acid food) อาหารประเภทนี้มีค่าความเป็นกรดด่างระหว่าง 4.5 – 5.0 ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากผัก และผลิตภัณฑ์ผสมเนื้อกับผัก เป็นต้น

ประเภทที่ 3 อาหารกรดสูง (high acid food) อาหารประเภทนี้มีค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 3.7 ได้แก่ อาหารหมักดองที่มีรสเปรี้ยว ผลิตภัณฑ์จากผลไม้

7.1 เนื้อสัตว์บรรจุกระป๋อง

การบรรจุกระป๋องเป็นการถนอมรักษาเนื้อสัตว์ในภาชนะปิดสนิท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในแง่ของผู้บริโภค (เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์, 2536) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์อีกครั้งภายหลังการให้ความร้อน นอกจากนี้ยังเป็นการควบคุมระดับออกซิเจนในภาชนะบรรจุให้มีปริมาณต่ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน (Price and Schweigert, 1971) เนื้อสัตว์บรรจุกระป๋องเป็นอาหารกระป๋องประเภทกรดต่ำ (low acid food) โดยมีค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่า 4.6 ถ้าการฆ่าเชื้อทำไม่เพียงพอเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่จะเจริญเติบโตได้เป็นสาเหตุให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเน่าเสีย (Sacharow and Griffin, 1970) ดังนั้นในการถนอมรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในภาชนะปิดสนิทจะต้องใช้ความร้อนสูงเพื่อทำลายแบคทีเรียที่สร้างสปอร์และทนความร้อนที่สำคัญ ได้แก่จุลินทรีย์ในกลุ่ม Bacillus ซึ่งเป็นชนิดที่ต้องการออกซิเจน และกลุ่ม Clostridium ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์บรรจุกระป๋องจะต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ความร้อนสูงมาก อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์หลายชนิดไม่สามารถที่จะถนอมรักษาโดยใช้ความร้อนสูงมากได้ เนื่องจากความร้อนสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการแก่ผลิตภัณฑ์ เช่น การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และกลิ่นรส เป็นต้น หมูยอก็เช่นเดียวกัน โดยหมูยอเป็นผลิตภัณฑ์

เนื้อสัตว์ประเภทอิมัลชัน การใช้ความร้อนสูงในกระบวนการแปรรูปจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง (Lee and Toledo, 1979)·

Leistner และคณะ (1970) ได้แบ่งผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ในภาชนะปิดสนิทออกเป็น 4 ประเภท ซึ่งการแบ่งผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ออกเป็นกลุ่ม ๆ นี้จะเป็นแนวทางกว้าง ๆ ให้ผู้ผลิตสามารถเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสมในการแปรรูป เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนมากหรือน้อยเกินไป โดยให้พิจารณาร่วมกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ต้องการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ก่อนถึงมือผู้บริโภค ดังแสดงในตารางที่ 2

ประเภทที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านความร้อนต่ำ (low heated products) ซึ่งพอจะเทียบได้กับการพาสเจอร์ไรซ์ โดยการใช้อุณหภูมิในการแปรรูปต่ำกว่า 100 ^{0}ซ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่มนี้เช่น แฮมกระป๋อง ไส้กรอกสด เป็นต้น ซึ่งไม่สามารถแปรรูปโดยใช้อุณหภูมิสูงได้ เพราะจะไปทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเสียไป ซึ่งความร้อนในระดับนี้โดยทั่วไปจะเพียงพอที่จะทำลายเซลล์เจริญของจุลินทรีย์ (vegetative cells) ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค อย่างไรก็ตามกระบวนการให้ความร้อนนี้จะไม่สามารถทำลายสปอร์ของ Bacillus และ Clostridium จึงต้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปมีส่วนในการถนอมรักษาสำคัญรองมาจากเกลือไนไตรท์และอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์หลังจากการแปรรูป ดังนั้นในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ จึงต้องมีการเติมเกลือไนไตรท์ลงไปในปริมาณสูงสุด ตามที่กฎหมายกำหนด และควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้คงที่ตลอดเวลา

ประเภทที่ 2 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านความร้อนปานกลาง (medium heated products) มีผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อีกหลายชนิดที่ไม่สามารถผ่านการให้ความร้อนสูงได้ โดยไม่เสียลักษณะเนื้อสัมผัส รูปร่างและกลิ่นรส เช่น ไส้กรอกตับ ไส้กรอกเลือด เป็นต้น (Leistner *et al.*, 1970) ค่า F_0 ของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะอยู่ระหว่าง 0.6–0.8 นาที ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะสามารถทำลายเซลล์เจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย รวมทั้งสปอร์ของ Bacillus ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง แต่ในผลิตภัณฑ์ประเภทนี้อาจจะมีสปอร์ของพวก Clostridium ทั้งที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง

และชอบอุณหภูมิสูง รวมทั้ง *Clostridium botulinum* ด้วย เนื่องจาก *Clostridium botulinum* จะถูกทำลายที่ F_0 ไม่น้อยกว่า 2.78 นาที แต่สำหรับ สปอร์ของ *Clostridium botulinum* กลุ่มที่ไม่ย่อยสลายโปรตีนจะถูกทำลายไปในกระบวนการแปรรูปนี้ เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มนี้ทนความร้อนไม่มากนัก ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้สามารถถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส ได้เนื่องจากว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส สามารถควบคุมจุลินทรีย์พวก *Clostridium botulinum* กลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีนและทนความร้อนได้สูง ซึ่งอาจมีอยู่ในผลิตภัณฑ์ไม่ให้สามารถเจริญเติบโตได้ แต่ก็ไม่ควรที่จะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ไว้นานเกิน 1 ปี เนื่องจากการถนอมรักษาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ในไตรท์ยังมีบทบาทสำคัญที่สุด รองลงมาได้แก่กระบวนการให้ความร้อนและอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาปริมาณไนไตรท์ที่เติมลงไปและปริมาณไนไตรท์ที่ยังคงเหลือในผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่โดยเฉพาะสปอร์ของ Bacillus และ *Clostridium botulinum*

ประเภทที่ 3 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านความร้อนสูง (high heated products) ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้สามารถทนต่อความร้อนสูงได้ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้แก่ คอร์นบีฟ ซุปข้น หรืออาหารสำเร็จรูปที่มีเนื้อสัตว์เป็นองค์ประกอบด้วยหรือแม้แต่ไส้กรอกอิมัลชันก็อาจผ่านความร้อนสูงนี้ได้ หากมีการใช้วิธีการแปรรูปที่เหมาะสมค่า F_0 ของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะอยู่ระหว่าง 4.0–5.5 และหลังการให้ความร้อนแล้วจะต้องทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว โดยความร้อนดังกล่าวจะทำลายเซลล์เจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย รวมทั้งสปอร์ของ Bacillus และ Clostridium ที่เป็นที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง แต่ว่าสปอร์ของ Bacillus และ Clostridium ที่ชอบอุณหภูมิสูงจะไม่ถูกทำลายและยังอาจหลงเหลืออยู่ได้ ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ไว้ที่อุณหภูมิเกิน 40^0ซ เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของสปอร์ดังกล่าว

ประเภทที่ 4 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านความร้อนสูงมาก (very high heated products) ผลิตภัณฑ์ส่วนมากที่อยู่ในประเภทที่ 3 มักจะสามารถผ่านความร้อนสูงมากได้เช่นกัน โดยไม่สูญเสียลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ ค่า F_0 ของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะอยู่ระหว่าง 12.0–15.0 ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำลายเซลล์

เจริญทั้งหมดรวมทั้งสปอร์ของ Bacillus และ Clostridium ที่ชอบอุณหภูมิสูงด้วย การเสื่อมเสียของจุลินทรีย์จึงจะไม่เกิดกับผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ แต่อย่างไรก็ตามไม่ควรเก็บผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ไว้นานเกิน 1 ปี ที่อุณหภูมิเกินกว่า 40 ^{0}ซ

Jozsef และคณะ (1973) พบว่าการทำไส้กรอกเวียนนาในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องที่มีการเติมสปอร์ของเชื้อ *Clostridium sporogens* ลงไปแล้วให้ความร้อน โดยใช้ค่า F_0 เท่ากับ 0.55 โดยใช้ร่วมกับการใช้โซเดียมไนไตรท์ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวที่ F_0 เท่ากับ 1.9 นาที โดยไนไตรท์ที่เติมลงไปไม่ได้มีผลต่อการทำให้สปอร์ของเชื้อทนความร้อนได้น้อยลงแต่จะไปยับยั้งการเจริญของสปอร์ที่เหลืออยู่

Lee และคณะ (1978) ผลิตเนื้อหมูหมักบรรจุกระป๋อง โดยการเติมไนไตรท์ที่ระดับต่าง ๆ คือ 0, 50, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แล้วถ่ายสปอร์ของเชื้อ *Clostridium botulinum* ในปริมาณ 96 สปอร์ต่อ150 กรัมเนื้อหมูหมัก พบว่าปริมาณไนไตรท์ที่เติมลงไปจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนไตรท์ที่เหลืออยู่หลังการแปรรูป ซึ่งปริมาณไนไตรท์ที่เหลืออยู่จะมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของสปอร์ของเชื้อ *Clostridium botulinum* โดยตรงทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น

Jantawat และคณะ (1993) ศึกษาการผลิตแฮมกระป๋องโดยใช้ปริมาณไนไตรท์ที่ระดับ 0, 125, 200, 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิในช่วง 109–112 องศาเซลเซียส นาน 49 นาที (F_0=1.07) และอุณหภูมิ 109–110 องศาเซลเซียส นาน 65 นาที (F_0=1.49) โดยแฮมเริ่มต้นมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 10^5–10^7 CFU/g และสปอร์ของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศและทำให้เกิดกลิ่นเน่าเสีย (putrefactive anaerobic bacteria spore) ต่ำกว่า 3 MPN/g ภายหลังการให้ความร้อนพบว่าตรวจไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และมีปริมาณสปอร์ของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศและทำให้เกิดกลิ่นเน่าเสียต่ำกว่า 3 MPN/g ซึ่งอยู่ภายในในเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไนไตรท์ที่เหลืออยู่จะแปรผันตรงกับปริมาณไนไตรท์เริ่มต้นที่เติมลงไป และแปรผกผันกับระดับการให้ความร้อนและการเก็บรักษา เนื่องจากความร้อนสามารถทำลายไนไตรท์ไปได้บางส่วน

ตารางที่ 2 การแบ่งประเภทของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ในภาชนะปิดสนิท

Type of canned meat products

Products	Heating levels	Targets of bacterias	Shelf-life and Storage temperature
1. low heated products	65 - 75 ^{0}ซ	Vegetative cells	6 months at 5^{0} C
2. medium heated products	F_0 = 0.6 - 0.8	Vegetative cells and mesophilic spore forming Bacillus	12 months at 10^{0}C
3. high heated products	F_0 = 4.0 – 5.5	Similar the second product and mesophilic spore forming Clostridium	4 years at 25^{0}C
4. very high heated product	F_0 = 12.0 – 15.0	Similar the third product and thermophilic spore forming Bacillus and Clostridium	1 years at 40^{0}C

Source : Leistner *et al.* (1970)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาผลของการแปรรูปด้วยความร้อนแบบสเตอริไรซ์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูยอกระป๋อง
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ไนไตรท์ร่วมกับความร้อนแบบสเตอริไรซ์ในการแปรรูปหมูยอกระป๋องให้มีคุณสมบัติทางกายภาพ และการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสตลอดจนผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความปลอดภัยจากอันตรายที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้