บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อสัตว์ (Meat) หมายถึงชิ้นส่วนของร่างกายสัตว์ เช่น โค กระบือ สุกร แพะ แกะ ไก่ เป็ด กระต่าย เป็นต้น ที่มนุษย์สามารถนำมาบริโภคได้ ประกอบด้วยส่วนของเนื้อเยื่อ อวัยวะภายใน แต่ส่วนที่มีความสำคัญคือ เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อหรือกล้ามเนื้อ (Muscle) ซึ่งใช้เรียกในขณะที่สัตว์ยังมีชีวิตอยู่ ส่วนคำว่าเนื้อสัตว์ (Meat) จะใช้เรียกส่วนของกล้ามเนื้อภายหลังจากสัตว์ตายแล้ว เนื้อสัตว์จัดเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญ มีกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย นอกจากโปรตีนแล้วเนื้อสัตว์ยังมีสารอาหารจำพวก ไขมัน เกลือแร่ และวิตามิน โดยเฉพาะธาตุเหล็ก ซีลีเนียม วิตามินเอ วิตามินบี 12 และกรดโฟลิก ที่ไม่สามารถพบได้ในอาหารจำพวกพืช หรือมีอยู่แต่ร่างกายจะนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย (Poor bioavailability) (Biesalski, 2005) ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากเนื้อสัตว์ รวมทั้งการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตร และเพิ่มช่องทางการได้รับสารอาหารโปรตีนที่หลากหลายจากผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้กับผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

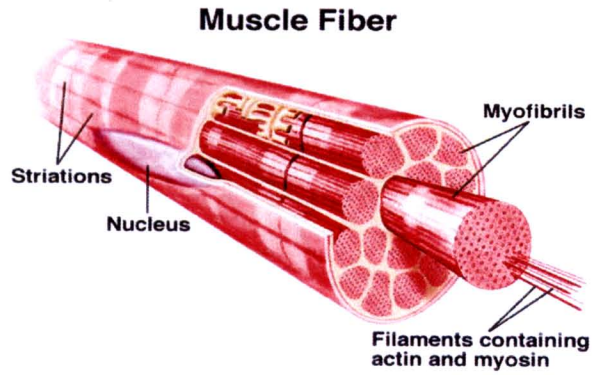
2.1 องค์ประกอบของเนื้อสัตว์

องค์ประกอบที่สำคัญของกล้ามเนื้อ ได้แก่ น้ำร้อยละ 75 โปรตีนร้อยละ 20 ไขมันร้อยละ 3 นอกจากนี้จะเป็นสารที่ละลายได้ที่ไม่ใช่โปรตีนร้อยละ 2 ซึ่งประกอบด้วย วิตามิน เกลือแร่ สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ คาร์โบไฮเดรต และสารประกอบอนินทรีย์ (Tornberg, 2005)

2.1.1 โปรตีนเนื้อสัตว์ (Meat protein)

โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะส่วนกล้ามเนื้อโครงร่าง ซึ่งมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 20 สามารถแบ่งโปรตีนในเนื้อสัตว์ตามแหล่งที่มาและความสามารถในการละลายได้ 3 กลุ่ม (Tornberg, 2005) ดังนี้

2.1.1.1 ไมโอไฟบริลลาโปรตีน (Myofibrillar protein) เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุด ประมาณร้อยละ 50-55 ของโปรตีนทั้งหมดในเนื้อสัตว์ โปรตีนชนิดนี้ทำหน้าที่ในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ และสามารถละลายในเกลือ โปรตีนที่พบมากที่สุดในกลุ่มนี้คือ ไมโอซิน แอคติน โทรโปนิน และโทรโปไมโอซิน ดังรูปที่ 1

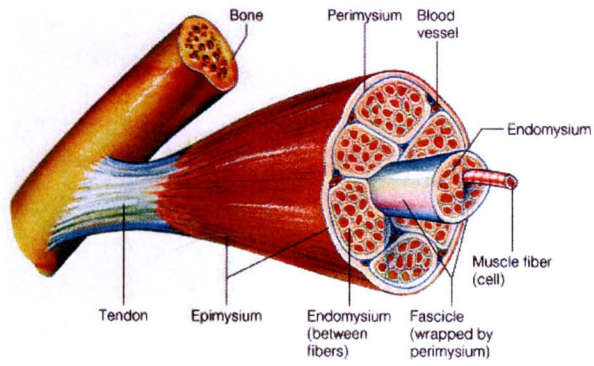


รูปที่ 1 ไมโอไฟบริลลาโปรตีน

ที่มา : http://www.crossfitoakland.com (20/09/2010)

2.1.1.2 ซาร์โคพลาสมิคโปรตีน (Sarcoplasmic protein) พบประมาณร้อยละ 30-34 ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่ห่อหุ้มรอบเส้นใยย่อยซึ่งละลายอยู่ในส่วนของซาร์โคพลาสซึม จึงเรียกว่าซาร์โคพลาสมิคโปรตีน มีคุณสมบัติที่ละลายได้ในน้ำและสารละลายน้ำเกลืออ่อนๆ โปรตีนในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย ไมโอโกลบิน ฮีโมลโกลบิน ไซโตโครม และเอนไซม์ต่างๆ

2.1.1.3 สโตรมอลโปรตีน (Stromal protein) พบประมาณร้อยละ 10-15 ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เชื่อม และยึดให้ส่วนต่างๆ ในร่างกายสัตว์ติดกัน พบกระจายอยู่ทั่วไปในตัวสัตว์ ในโครงกระดูกจะเชื่อมยึดกล้ามเนื้อให้ติดกับกระดูก เป็นส่วนประกอบสำคัญในหลอดเลือดต่างๆ ห่อหุ้มเส้นใยประสาทในบางส่วน และโดยเฉพาะในกล้ามเนื้อ จะห่อหุ้มตั้งแต่กล้ามเนื้อทั้งก้อน เรียกว่า อีพิไมเซียม (Epimysium) ห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อเรียกว่า เพอริไมเซียม (Perimysium) และห่อหุ้มหน่วยที่เล็กที่สุดของกล้ามเนื้อคือ เส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) เรียกว่า เอนโดไมเซียม (Endomysium) ดังรูปที่ 2



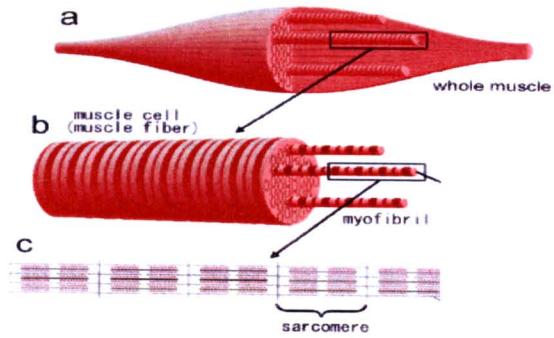
รูปที่ 2 สโตรมอลโปรตีนชนิดต่างๆ

ที่มา : http://www.tarleton.edu/Departments/anatomy/musclepix2.html (19/09/2010)

2.1.2 เส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber)

เส้นใยกล้ามเนื้อหรือเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่าง มีรูปร่างเป็นเส้นกลมยาวคล้ายเส้นด้าย ปลายทั้งสองข้างสอบแหลมคล้ายกระสวย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-100 ไมครอน ความยาวตั้งแต่ 30 เซนติเมตร เส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ที่เรียกว่าซาร์โคเลมมา (Sarcolemma) และมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) หุ้มอีกชั้นหนึ่ง เรียกว่า เอนโดไมเซียม (Endomysium) เส้นใยกล้ามเนื้อหลายๆ เส้นรวมกันเป็นมัดกล้ามเนื้อ (Muscle bundle) โดยมีเนื้อเกี่ยวพันเพอริไมเซียม (Perimysium) ห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อ

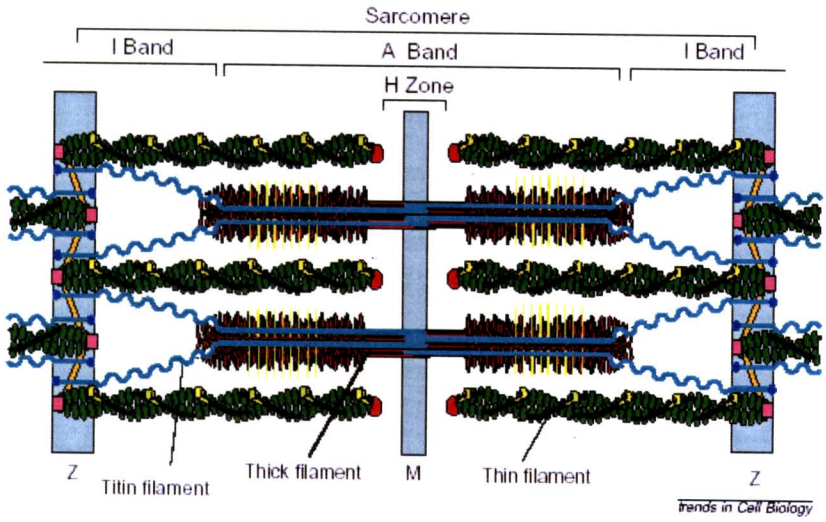
ลักษณะเฉพาะตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อคือ มีลายปรากฏอยู่โดยตลอด เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน (Electron microscope) ซึ่งมีกำลังขยายได้มากกว่ากล้องจุลทรรศน์ปกติ จะพบว่ามีเส้นใยกลมยาวเล็กลงไปเป็นจำนวนมาก กล่าวคือ ถ้าเส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 ไมครอน ก็จะมีจำนวนมากถึง 2,000 เส้น เส้นใยเล็กๆมีชื่อเรียกว่าเส้นใยย่อย (Myofibril) แต่ละเส้นของเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีเส้นใยย่อยเรียงตัวตามยาวอัดแน่นอยู่อย่างเป็นระเบียบ โดยมีซาร์โคเลมมาห่อหุ้มไว้ภายในของเหลวซาร์โคพลาสซึม และเมื่อดูเฉพาะเส้นใยย่อยหนึ่งเส้น จะพบว่า มีแถบทึบแสงสลับกับแถบโปร่งแสง และเป็นไปตลอดความยาวของเส้นใยย่อย เป็นเหตุผลทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีความลาย (ชัยณรงค์, 2529) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของมัดกล้ามเนื้อ (a) เส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นใยย่อย (b) และหน่วยของซาร์โคเมียร์ (c)

ที่มา : http://www.spring8.or.jp/en/news_publications/fig1 (20/09/2010)

เส้นใยย่อย ทำหน้าที่ในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ ภายในเส้นใยย่อยจะพบหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (Sarcomere) ดังแสดงในรูปที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยย่อยแต่ละเส้นเท่ากับ 1 ไมครอน และเมื่อกล้ามเนื้ออยู่ในระยะพัก 1 ซาร์โคเมียร์จะมีความยาวประมาณ 2.2 ไมครอน ภายในแต่ละซาร์โคเมียร์ พบว่าประกอบไปด้วยเส้นใยฝอย (Myofilament) 2 ขนาดคือ เส้นใหญ่หนา มีชื่อเรียกว่า โปรตีนไมโอซิน (Myosin) และเส้นเล็กบางเรียกว่า โปรตีนแอคติน (Actin) (Tornberg, 2005)



รูปที่ 4 องค์ประกอบของซาร์โคเมียร์

ที่มา : Gregorio and Antin (2000)

2.2 สารหมักเนื้อ

การแปรรูปโดยวิธีการใช้ความร้อนกับวัตถุดิบประเภทเนื้อสัตว์ จะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะการสูญเสียน้ำมีผลให้เนื้อสัมผัสแห้งกระด้าง ขาดความนุ่มและชุ่มน้ำ เนื่องมาจากโครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติ เกิดการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Myofibrilla protein) สูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ซึ่งในการผลิตไก่กอและโดยใช้เทคนิค Sous vide จะมีการใช้ความร้อนกับเนื้อไก่ เริ่มตั้งแต่การนึ่ง การอบ และการพาสเจอร์ไรส์หลังจากบรรจุถุงเพาช์ในสภาวะสุญญากาศ เพื่อทำลายจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้สารเคมีหมักเนื้อเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเนื้อ ก่อนผ่านกระบวนการผลิต นอกจากนี้สารเคมีบางชนิดยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และช่วยชลอการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน สารหมักเนื้อที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ไก่กอและ ได้แก่

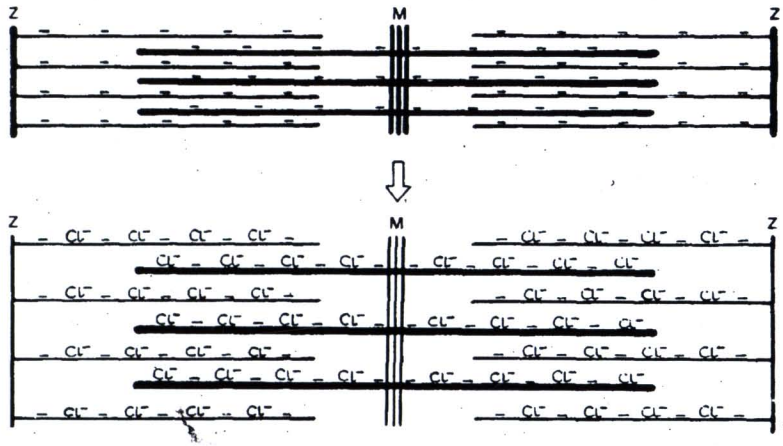
2.2.1 เกลือ (Salt)

เกลือที่ใช้การแปรรูปเนื้อสัตว์ดั้งเดิมจะใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแต่ในปัจจุบันการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์จะมีการลดปริมาณลง เนื่องจากมีผลต่อสุขภาพ โดยมีการใช้สารทดแทนโซเดียม เช่น โปตัสเซียมคลอไรด์ หรือการใช้โปตัสเซียมคลอไรด์ร่วมกับการใช้โปตัสเซียมซัลเฟตและโปตัสเซียมกลูตาเมต แต่สารทดแทนดังกล่าวจะให้ผลในการยับยั้งจุลินทรีย์น้อยกว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ อาจมีผลกระทบในเรื่องของความปลอดภัยและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (Varnam and Sutherland, 1995)

เกลือจะมีคุณสมบัติในผลิตภัณฑ์อาหารดังนี้คือ 1) เพิ่มกลิ่นรสให้กับผลิตภัณฑ์ 2) เพิ่มปริมาณความชื้นให้กับผลิตภัณฑ์ 3) สกัดโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ 4) มีประสิทธิภาพร่วมกับโซเดียมไนไตรท์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum* และ 5) ที่ความเข้มข้นสูงจะทำหน้าที่เป็นสารกันเสียโดยจะทำให้บริเวณผิวหน้าของเนื้อแห้ง (Keeton, 2001)

เกลือจะแตกตัวให้ประจุบวก (Na^+ หรือ K^+) และประจุลบ (Cl^- หรือ S^-) เกลือสามารถละลายน้ำได้ง่าย ทำให้ความแรงของอิออนของน้ำเพิ่มขึ้น ในการหมักเนื้อจะใช้เกลือในรูปของสารละลาย โดยที่ค่าความแรงของอิออนของของเหลวภายในเนื้อจะมีค่าต่ำกว่าสารละลายเกลือจึงเกิดกระบวนการออสโมซิส สารละลายเกลือจะแพร่ผ่านเข้าไปภายในเนื้อจนกระทั่งถึงจุดสมดุล (Claus *et al.*, 1994) เกลือจะมีผลต่อไมโอไฟบริลลาโปรตีน ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในไมโอไฟบริลลาโปรตีนที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเนื้อ ความสามารถในการจับน้ำ

ของเนื้อ คือโปรตีนแอคติน และโปรตีนไมโอซิน โดยเกลือจะทำให้เกิดการคลี่ออกของไมโอไฟบริลลาโปรตีน และสามารถละลายได้ในสารละลายน้ำเกลือ การคลี่ออกของไมโอไฟ-บริลลาโปรตีน เป็นผลมาจากแรงผลักระหว่างประจุของ Cl^- (Rust, 1987) การเพิ่มประจุในโมเลกุลของโปรตีนทำให้โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำเพิ่มขึ้น และแรงผลักระหว่างประจุ ส่งผลให้ช่องว่างระหว่างโปรตีนแอคตินและโปรตีนไมโอซินเพิ่มขึ้น สามารถรับน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างได้มากขึ้น (Lawrie, 1991) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพจำลองแรงผลักระหว่างประจุลบภายในโครงสร้างของโปรตีนและประจุลบของคลอไรด์

ที่มา: Offer and Trinick (1983)

2.2.2 สารประกอบฟอสเฟต (Phosphate compounds)

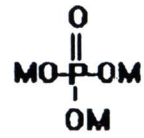
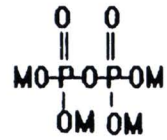
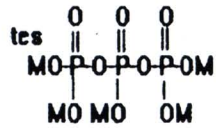
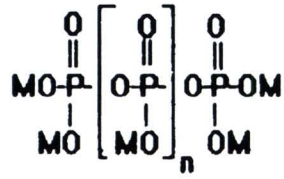
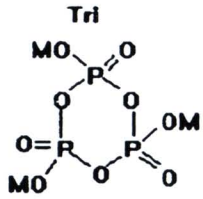
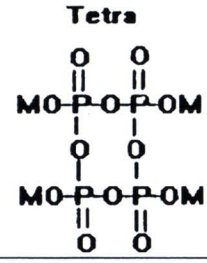
สารประกอบฟอสเฟตจัดเป็นวัตถุเจือปนในอาหารที่ได้รับการรับรองให้มีความปลอดภัย (GRAS; Generally recognized as safe) นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อสัตว์ สัตว์น้ำ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม โครงสร้างทางเคมีอย่างง่ายของฟอสเฟตจะประกอบด้วย PO_4 จับกับอะตอมอื่นโดยการใช้ออกซิเจนอะตอมร่วมกัน (Molins, 1991) ชนิดและสูตรโครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟอสเฟต และการนำสารประกอบฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์ ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

โพลีฟอสเฟต (Polyphosphates) เป็นสารประกอบฟอสเฟตที่นิยมใช้กันมากในเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อ เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่หลายประการ ได้แก่ ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน ปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปรับปรุงสี และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Lee *et al.*,

1998; Martin *et al.*, 2002; Puolanne *et al.*, 2001; Sheard *et al.*, 1999; U"nal *et al.*, 2006) คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ 3 ประการของโพลีฟอสเฟต คือ 1) ควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช จากคุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์ 2) จับกับอนุมูลของโลหะ และ 3) เป็นสารประกอบประเภท Polyanion ทำให้สามารถเพิ่มความแรงของอิออน และเพิ่มค่าพีเอชของสารละลายได้ (Dziezak, 1990; Rhee, 1999) โพลีฟอสเฟตจะมีอิทธิพลต่อประจุในโมเลกุลของโปรตีน และเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับโมเลกุลของน้ำ อันเนื่องมาจากความแรงของอิออนและค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับน้ำ ส่งผลให้ความสามารถในการละลาย และความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนเพิ่มขึ้น (Unal *et al.*, 2006)

ฟอสเฟตมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน และมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของกล้ามเนื้อ โดยทั่วไปฟอสเฟตในรูปที่เป็นด่าง (Alkaline phosphate) สามารถปรับปรุงความสามารถในการกักเก็บน้ำ เนื่องมาจากการทำให้ค่าพีเอชของกล้ามเนื้อสูงกว่าค่า pI ของไมโอไฟบริลลาโปรตีน ทำให้เกิดการคลี่ออกของโมเลกุลโปรตีน เผยส่วนของประจุที่มีความสามารถในการจับน้ำเพิ่มขึ้น (Pearson and Gillett, 1996) นอกจากนี้ฟอสเฟตยังสามารถทำให้เกิดการแยกออกของแอคโตไมโอซิน ซึ่งเกิดจากการจับตัวกันของโปรตีนแอคตินและไมโอซิน หลังจากภาวการณ์เกร็งตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้นจึงช่วยให้เกิดการบวมพองของเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากขึ้น (Offer and Knight, 1988)

ตารางที่ 1 ชนิดและสูตรโครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟอสเฟต

Class of phosphate	Phosphate atom	Basic structure
Orthophosphate	1	
Pyrophosphate	2	
Tripolyphosphate	3	
Long-chain polyphosphate	4-10	
Metaphosphate		
-Tri	3	
-Tetra	4	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Dziezak (1990) และประสาร (2538)

หมายเหตุ : M = a metal ion or hydrogen

ตารางที่ 2 ชนิด คุณสมบัติ และการนำไปใช้ประโยชน์ของสารประกอบฟอสเฟต

Class of phosphate	Phosphate name	Generally formula	pH[1]	Solubility[2]	Function
Orthophosphate	Monosodium phosphate	NaH_2PO_4	4.6	87	Emulsifier, Buffer
	Disodium phosphate	Na_2HPO_4	9.2	12	Emulsifier, Buffer
	Trisodium phosphate	Na_2HPO_4 -$2H_2O$	11.8	14	Emulsifier, Buffer
	Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	4.6	25	Water Binding
	Dipotassium phosphate	K_2HPO_4	9.3	168	Emulsifier, Buffer
	Tripotassium phosphate	K_3PO_4	11.9	107	Emulsifier, Buffer
	Monocalcium phosphate	$Ca(H_2PO_4)_2$ -H_2O	3.8	-	Acidulant
Pyrophosphate	Sodium acid pyrophosphate	$Na_2H_2P_2O_7$	4.3	15	Emulsifier, Buffer
Tripolyphosphate	Sodium tripolyphosphate	$Na_5P_3O_{10}$	9.9	15	Emulsifier, Water binding
Polyphosphate	Sodium polyphosphate	$(NaPO_3)_6$ -Na_2O	7.7	40	Sequestant

ที่มา : ดัดแปลงจาก Dziezak (1990)

หมายเหตุ : 1 หมายถึง ค่าพีเอชของสารละลายร้อยละ 1

2 หมายถึง ความสามารถในการละลายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (กรัม/100กรัมน้ำ)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 05 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 249171
เลขเรียกหนังสือ

Volpato *et al.* (2007) ได้ศึกษาการหมักเนื้ออกไก่ ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และเดกซ์โทรส โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2, 4 และ 6 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 1, 2 และ 3 และเดกซ์โทรสร้อยละ 0, 2 และ 4 และใช้อุณหภูมิในการหมัก 3 ระดับคือ 5, 10 และ15 องศาเซลเซียส เวลาการหมัก 16 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า การใช้โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 6 ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 3 และเดกซ์โทรสร้อยละ 4 อุณหภูมิในการหมัก 5 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เนื้อไก่หลังผ่านการแช่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นสูงที่สุด (Weight gain) เท่ากับร้อยละ 15.27 และการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนมีค่าต่ำที่สุด (Weight loss) เท่ากับร้อยละ 15.98

Baublits *et al.* (2006) ศึกษาการใช้โซเดียมคลอไรด์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ฉีดในเนื้อโคในรูปของสารละลายจนผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเป็นร้อยละ 112 เปรียบเทียบชุดควบคุม (ไม่มีการฉีดด้วยสารใดๆ) จากนั้นบรรจุในสภาพสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ชิ้นเนื้อที่ฉีดด้วยโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.4 มีการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน (Cooking loss) น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 22.65 และการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากความแรงของอิออนเพิ่มขึ้น ค่าแรงเฉือนด้วย Warner-Bratzler ของชิ้นเนื้อชุดควบคุมจะมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ชิ้นเนื้อที่ฉีดโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ร้อยละ 0.4 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 จะมีค่าแรงเฉือนน้อยที่สุด โดยค่าแรงเฉือนจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ค่าแรงเฉือนจะบ่งบอกถึงความนุ่มของเนื้อ การเพิ่มระดับการใช้โซเดียมคลอไรด์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของโปรตีน เพิ่มความสามารถในการจับน้ำของโปรตีน ส่งผลให้ใช้แรงในการตัดชิ้นเนื้อลดลง (Trout and Schmidt, 1983)

Murphy and Zerby (2004) ได้ศึกษาการแช่และฉีดซากเนื้อแกะก่อนระยะการเกร็งตัว (Prerigor) ด้วยโซเดียมคลอไรด์ (S) ร้อยละ 2 ฟอสเฟต (P) ร้อยละ 0.5 และเดกซ์โทรส (D) ร้อยละ 3 โดยใช้สารเพียงชนิดเดียว สองชนิด หรือทั้งสามชนิดร่วมกัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (เนื้อแกะที่ไม่แช่และฉีดสารใดๆ) และนำซากเนื้อแกะบ่มที่อุณหภูมิ 0–4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำการตัดแต่งซากแยกกล้ามเนื้อ *Longissimus dorsi* และกล้ามเนื้อ *Semimembranosus* บรรจุในสภาพสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน ตัดเป็นชิ้นสเต็กความหนาประมาณ 2.5 เซนติเมตร และเก็บที่อุณหภูมิ 0 -2 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า ชุดการทดลองที่ใช้ SPD จะสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนได้มากที่สุด ทั้งในกล้ามเนื้อ *Longissimus dorsi* และกล้ามเนื้อ *Semimembranosus* เมื่อเปรียบเทียบ

กับชุดควบคุม โดยเฉพาะในกล้ามเนื้อ *Semimembranosus* สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนได้ถึงร้อยละ 11.11 โดยชุดการทดลองที่มีการใช้โซเดียมคลอไรด์จะสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม สอดคล้องกับผลการทดลองของ Judge and Aberle (1980) พบว่าการแช่เนื้อก่อนระยะการเกร็งตัวด้วยโซเดียมคลอไรด์ จะทำให้โครงข่ายของไมโอไฟบริลลาโปรตีนถูกเปิดออก เพิ่มความสามารถในการจับน้ำของโปรตีน ลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน ค่าแรงเฉือนด้วย Warner-Bratzler พบว่าชุดการทดลองที่ใช้สารละลาย SPD ให้ค่าแรงเฉือนน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และผู้ทดสอบให้คะแนน การยอมรับความชุ่มน้ำของเนื้อ (Juiciness) ในชุดการทดลอง S, SP และ SPD เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนความนุ่มของเนื้อ (Tenderness) ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสในชุดการทดลองที่มีการใช้ S, SD, SP และ SPD แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

Hayes *et al.* (2006) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของเนื้อสุกร ด้วยเกลือร้อยละ 5.5 ฟอสเฟตร้อยละ 3.3 และโปรตีนจากนมคือ เบต้าแลคโตโกลบูลิน และโปรตีนเวย์เข้มข้น ร้อยละ 3.3 โดยฉีดเข้ากล้ามเนื้อในรูปของสารละลาย ดังนี้ 1) ชุดควบคุมไม่ฉีดสารละลาย; 2) เกลือร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต; 3) เกลือร่วมกับเบต้าแลคโตโกลบูลิน; 4) เกลือร่วมกับโปรตีนเวย์ บรรจุในสภาพสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเนื้อมาหั่นเป็นชิ้นความหนา 2.54 เซนติเมตร บรรจุในสภาพสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 7 วัน ผลการทดลองพบว่า การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนไม่แตกต่าง ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ค่าแรงเฉือนด้วย Warner-Bratzler มีค่าลดลง ($p<0.001$) ทุกชุดการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แสดงว่าเนื้อจะมีความนุ่มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้เกลือร่วมกับฟอสเฟตหรือสารชนิดอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Prestat *et al.* (2002) พบว่าการใช้เกลือร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.4 มีผลทำให้ค่าแรงเฉือนของเนื้อสุกรที่ผ่านการทำให้สุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความนุ่ม และความชุ่มน้ำของเนื้อทุกชุดการทดลองสูงกว่า ($p<0.001$) ชุดควบคุม

2.2.3 กรดอินทรีย์ (Organic acids)

การใช้สารเคมีกลุ่มกรดสำหรับหมักเนื้อเพื่อทำให้เนื้อมีความนุ่ม และรสชาติที่ดี เรียกว่า Marinade การหมักเนื้อด้วยสารกลุ่มกรดจะให้ความแตกต่างในเรื่องของรสชาติและชนิดของสารที่ใช้ (Manteuffel and Ternes, 2009) กรดอินทรีย์ที่ใช้หมักเนื้อได้แก่ กรดซิตริก (Citric acid) กรดแลคติก (Lactic acid) และกรดอะซิติก (Acetic acid) กรดแลคติกจะใช้ในอุตสาหกรรม

การผลิตเนื้อสัตว์ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการฆ่าและการชำแหละซาก โดยจะช่วยในการควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อ *E. coli* 0157:H7 และจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดอื่น กรดแลคติกเป็นกรดจากธรรมชาติเป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักอาหาร กรดซิตริกเป็นกรดที่มีความปลอดภัย และนิยมใช้ในอาหารหลายชนิด เช่น เครื่องดื่ม ลูกกวาด ไวน์ และผักกระป๋อง สำหรับกรดอะซิติกนิยมจะใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสในซอสมะเขือเทศ มัสตาร์ด Spinach และ Hot sauce (Hinkle, 2010)

การใช้กรดอินทรีย์ในการหมักเนื้อ สารละลายกรดจะให้ประจุบวกหรือไฮโดรเจนอิออนจากหมู่คาร์บอกซิล กับโมเลกุลของโปรตีนในเนื้อ ทำให้ค่าพีเอชของเนื้อต่ำกว่า Isoelectric point การเพิ่มของประจุบวกเป็นผลให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุที่เหมือนกัน เพิ่มช่องว่างระหว่างแอคตินและไมโอซิน สามารถรับน้ำหรือสารหมักเข้าไปภายในโครงสร้าง (Medynski *et al.*, 2000) การหมักเนื้อด้วยสารกลุ่มกรดจะมีผลทำให้เกิดความนุ่มของเนื้อจากเหตุผล 3 ข้อดังนี้ 1) ค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดการบวมพองของเส้นใยกล้ามเนื้อ และ/หรือเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน 2) เร่งหรือเพิ่มปฏิกิริยาการย่อยโปรตีนทำให้โครงสร้างของกล้ามเนื้ออ่อนแอลง และ 3) เพิ่มการละลายของโปรตีนคอลลาเจนเมื่อผ่านการให้ความร้อน (Offer and Trinick, 1983; Offer and Knight, 1988; Ertbjerg *et al.*, 1999)

Ke *et al.* (2009) ศึกษาการใช้กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล กับเนื้อโคส่วนสะโพก โดยการฉีดและแช่ หลังจากนั้นปรับค่าพีเอชของเนื้อด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิโมล เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (เนื้อที่ไม่ฉีดและแช่สารใดๆ) ผลการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ใช้กรดซิตริกเพียงอย่างเดียว จะมีน้ำหนักผลผลิตหลังให้ความร้อนสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 108 และมีการรับสารหมักหมักเข้าสู่เนื้อมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 33.6 และมีค่าพีเอชลดลงเท่ากับ 3.52 ส่วนชุดการทดลองที่ใช้กรดซิตริก และปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต จะมีน้ำหนักผลผลิตหลังให้ความร้อนเท่ากับร้อยละ 58.4 ใกล้เคียงกับชุดควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 66.5 ค่าแรงเฉือนจะลดลงในชุดการทดลองที่ใช้กรดซิตริกเพียงอย่างเดียว และจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ในชุดการทดลองที่มีการปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ค่าพีเอชที่ต่ำกว่า pI ของโปรตีนไมโอไฟบริลลา จะเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ส่งผลต่อความนุ่มของเนื้อ เป็นผลมาจากการเพิ่มของประจุบวกจากกรดและแรงดันออสโมติก เมื่อศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของเนื้อตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องผ่าน (Tranmission electron microscope:TEM) จะพบว่าชุดควบคุมจะเห็นโครงสร้างของกล้ามเนื้อ A-band, I-band และ Z-disc อย่างสมบูรณ์ และสามารถเห็น M-line ได้ โดยมีความยาวของ I-band เท่ากับ 0.49 ไมโครเมตร ชุดการทดลองที่ใช้กรดซิตริกเพียงอย่าง

เดียว จะพบโครงสร้างของกล้ามเนื้อหายไป ยกเว้น Z-disc จะมีรอยแยกบริเวณรอยต่อของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้น และเห็น M-line ไม่ชัดเจน เป็นผลมาจากการรับน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างได้มากขึ้น ทำให้เกิดการ บวมพองของเส้นใยกล้ามเนื้อ สำหรับเนื้อที่หมักโดยใช้กรดซิตริก หลังจากปรับค่าพีเอชด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต สามารถสังเกตเห็น A-band I-band Z-disc และ M-line ได้ในลักษณะใกล้เคียงกับชุดควบคุม เนื่องมาจากความสามารถในการรับน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างได้น้อยลง จึงมีโครงสร้างใกล้เคียงกับชุดควบคุม

Burke and Monahan (2003) ได้ศึกษาการทำให้เนื้อนุ่ม โดยการหมักเนื้อโคส่วนขาด้วยกรดอินทรีย์ต่างชนิด ประกอบด้วย กรดซิตริก กรดอะซิติก และกรดแลคติก ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยการวัดความนุ่มของเนื้อด้วย Warner-Brazler ผลการศึกษาพบว่า การใช้กรดซิตริกหมักเนื้อจะสามารถเพิ่มความนุ่มของเนื้อได้มากที่สุด เท่ากับร้อยละ 75 เนื่องจากกรดซิตริกมีจำนวนหมู่คาร์บอกซิล 3 หมู่ ทำให้มีความแรงของอิออนมากกว่ากรดอะซิติกและกรดแลคติก ส่งผลให้มีประจุบวกภายในโมเลกุลของโปรตีนในเนื้อจำนวนมาก จึงทำให้มีแรงผลักระหว่างประจุสูง เกิดช่องว่างระหว่างโปรตีนแอคตินและไมโอซินมากขึ้น สามารถรับน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างได้เพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างของโปรตีนเนื้ออ่อนแอลง เนื้อจึงมีความนุ่มมากที่สุด นอกจากนี้ได้ศึกษาผลการใช้กรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 0-0.5 โมลาร์ ในการหมักเนื้อโคส่วนขา พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดซิตริกเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชภายในชิ้นเนื้อลดลง สามารถรับสารหมักเนื้อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงเฉือนด้วย Warner-Bratzler ลดลง และศึกษาผลของการใช้ Citrus juice ในการหมักเนื้อโคส่วนต่างๆ ได้แก่ *Psoas major*, *Semimembranosus* และ Shin muscles เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่หมัก) โดย Citrus juice ประกอบด้วย น้ำส้มร้อยละ 31 น้ำมะนาวร้อยละ 31 และน้ำกลั่นร้อยละ 38 วัดค่าความเป็นกรดของ Citrus juice ในรูปของกรดซิตริกมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 โมลาร์ ผลการศึกษาพบว่า เนื้อโคทุกส่วนที่ผ่านการหมักจะมีค่าพีเอชของเนื้อลดลง ความสามารถในการรับสารหมักเข้าภายในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น ค่าแรงเฉือนด้วย Warner-Bratzler ลดลง เป็นผลมาจากค่าพีเอชที่ลดลงต่ำกว่า pI ของโปรตีนในเนื้อ จากการให้ประจุบวกของหมู่คาร์บอกซิล เพิ่มประจุบวกให้โมเลกุลของโปรตีน ส่งผลให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุ เพิ่มช่องว่างในโครงสร้างของเส้นใยมากขึ้น สามารถรับน้ำได้มากขึ้น ลดค่าแรงเฉือน ลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน แต่จะพบว่าใน Shin muscles การใช้สารหมักเนื้อจะมีอิทธิพลน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อ *Psoas major* และ *Semimembranosus* อาจจะเนื่องมาจากกล้ามเนื้อส่วนขามีปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันคอลลาเจนมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.3 ของเนื้อ และมีปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลลาน้อยซึ่งโปรตีนดังกล่าวมีความสำคัญต่อคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของเนื้อ ในขณะที่เนื้อสันในและเนื้อสะโพกมีปริมาณคอลลาเจนเท่ากับร้อยละ 0.22 และ 0.49 ตามลำดับ

2.2.4 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate)

โซเดียมไบคาร์บอเนต หรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต หรือเบคกิ้งโซดา มีสูตรทางเคมีคือ $NaHCO_3$ มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว หรือแป้งสีขาว ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มค่าพีเอช ทำให้อาหารขึ้นฟู ช่วยปรับปรุงสี รสชาติ และปรับปรุงความแข็งแรงของเจล (กีรดา, 2553) นิยมใช้เป็นสารหมักเนื้อในการประกอบอาหารจีน (Hsieh *et al.*, 1980; Skurray *et al.*, 1986) ปัจจุบันจะมีการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อที่มีสีซีดจาง มีน้ำไหลเยิ้ม และเนื้อมีความอ่อนนุ่มมากกว่าปกติ (Pale, soft and exudative : PSE) (Kauffman *et al.*, 1998; Van *et al.*, 1998; Wynveen *et al.*, 2001) นอกจากนี้ยังใช้เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นและรสผิดปกติในเนื้อสุกรแม่พันธุ์ (Sindelar *et al.*, 2003)

โซเดียมไบคาร์บอเนต จะให้ประจุลบจากหมู่คาร์บอเนต (CO_3^{-2}) กับโมเลกุลของโปรตีนเนื้อ ค่าพีเอชของเนื้อจะสูงกว่า Isoelectric point ทำให้ประจุรวมของโปรตีนเป็นลบมากขึ้น เพิ่มแรงผลักระหว่างประจุที่เหมือนกัน เกิดช่องระหว่างโปรตีนแอคตินและไมโอซิน เนื้อจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถรับน้ำหรือสารหมักเข้าไปภายในโครงสร้างได้มากขึ้น เป็นผลให้เนื้อมีความนุ่ม และมีความชุ่มน้ำ ลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักดี

Sheard and Tali (2004) ได้ศึกษาการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 3 โซเดียม-คลอไรด์ร้อยละ 5 และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 5 โดยใช้สารเพียงชนิดเดียว สองชนิด หรือใช้ทั้งสามชนิดร่วมกัน ฉีดเข้าเนื้อสุกรส่วนเนื้อสัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมคือฉีดด้วยน้ำกลั่นจนมีน้ำหนักของชิ้นเนื้อเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 หลังจากนั้นหุ้มชิ้นเนื้อด้วยฟิล์มพลาสติก เก็บที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ค่าพีเอชในเนื้อจะเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลอง ยกเว้นชุดควบคุม และชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว จะมีค่าพีเอชเท่าเดิม และลดลงเพียงเล็กน้อย ตามลำดับ การสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บ (Drip loss) พบว่าชุดการทดลองที่ฉีดสารทั้งสามชนิดจะให้ผลดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.86 ส่วนชุดการทดลองที่ฉีดด้วยโซเดียมคลอไรด์เพียงอย่างเดียว หรือฉีดด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตอย่างเดียวจะมีค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาสูงเท่ากับร้อยละ 4.18 และ 3.96 ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษามีค่าสูงแสดงว่ามีน้ำออกมาจากชิ้นเนื้อมาก และเป็นปัญหาของเนื้อที่เก็บในภาชนะบรรจุระหว่างการจำหน่าย ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค อาจแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยใช้สารสองชนิดหรือสามชนิดร่วมกัน และพบว่าชุดการทดลองที่ใช้สารทั้ง 3 ชนิดร่วมกัน จะให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน และน้ำหนักผลผลิตดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 21.2 และ 85.0 ตามลำดับ ชุดการทดลองที่มีการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ จะมี

ค่าแรงเฉือนด้วย Warner-Bratzler ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของชุดควบคุม ค่าแรงเฉือนที่ลดลงมาจากความสามารถในการอุ้มน้ำหรือปริมาณน้ำในเนื้อที่เพิ่มขึ้น และโครงสร้างที่อ่อนแอลงของโปรตีนไมโอไฟบริลลา โครงสร้างภายในของเนื้อที่ฉีดด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต จะมีลักษณะเป็นหลุมเล็กๆคล้ายฟองน้ำ เนื่องมาจากการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำให้สุก ส่งผลต่อการลดลงของค่าแรงเฉือน

Sen *et al.* (2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบเนื้ออกไก่ที่ฉีดสารหมักก่อนนำไปแช่เย็น (Pre-chill) และฉีดสารหมักหลังจากเนื้ออกไก่ผ่านการแช่เย็นแล้ว (Post-chill) ด้วยเตตระโซเดียม-ไตรไพโรฟอสเฟตร้อยละ 3, โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 3 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 และโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 เพียงอย่างเดียว (ชุดควบคุม) ผลการศึกษาพบว่า เนื้ออกไก่ที่ฉีดสารหมักก่อนหรือหลังแช่เย็น ให้ผลไม่แตกต่างกันในการประเมินทุกปัจจัย เนื้ออกไก่ที่ฉีดด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 3 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ทั้งก่อนและหลังแช่เย็น จะมีค่าพีเอชสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและฉีดด้วยฟอสเฟตอย่างเดียว อันเป็นผลมาจากความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ และความแรงของอิออนที่แตกต่างกัน ระหว่างฟอสเฟตและโซเดียมไบคาร์บอเนต เนื้อที่ฉีดด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 3 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด ทั้งก่อนและหลังแช่เย็น เนื่องมาจากค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำได้ (Young and Lyon, 1997) ฟอสเฟตและไบคาร์บอเนตจะเพิ่มจำนวนประจุที่จับกับโปรตีน และเพิ่มการละลายของโปรตีน (Wynveen *et al.*, 2001) นอกจากนี้การสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนในเนื้อที่ฉีดด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 3 ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ทั้งก่อนและหลังแช่เย็นจะมีค่าต่ำที่สุด เป็นผลมาจากความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อนั่นเอง

2.2.5 ไนเตรท/ไนไตรท์ (Nitrate/Nitrite)

การใช้ไนเตรท/ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์จะทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีสีแดงคงทน เพิ่มรสชาติและกลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ ช่วยป้องกันการหืนของไขมัน โดยจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนของไขมัน ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และป้องกันการงอกของสปอร์ของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ โดยเฉพาะ *Clostridium botulinum* (เยาวลักษณ์, 2536) Lindsay (1996) ได้รายงานเกี่ยวกับการใช้โซเดียมไนไตรท์ในปริมาณ 150-200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถยับยั้งการเจริญและสร้างสารพิษของ *Clostridium botulinum* ได้ งานวิจัยนี้การผลิตไก่กอและพร้อมบริโภค เป็นการบรรจุในสภาพสุญญากาศ และจัดเป็นอาหารประเภทกรดต่ำ (Low acid food) ดังนั้นเพื่อป้องกันการเจริญและสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ดังกล่าว จึงต้องมีการใช้โซเดียมไนไตรท์ร่วมกับการใช้ความร้อนเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

กมลทิพย์ (2547) ได้ศึกษาปริมาณของโซเดียมไนไตรท์ที่ระดับ 50, 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับระยะเวลาในการฆ่าเชื้อในหมูยอกระป๋อง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในหมูยอกระป๋อง โดยมีค่า F_0 ประมาณ 1.5, 2.0 และ 2.5 นาที หลังจากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน และที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่าทุกชุดการทดลองผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในการให้ความร้อน โดยไม่มีลักษณะผิดปกติทั้งภายในและภายนอกกระป๋อง ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศและใช้อากาศในการเจริญ และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 30 CFU/g

Jantawat *et al.* (1993) ศึกษาการใช้ไนไตรท์ที่ระดับ 0, 125, 200, 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิช่วง 109-112 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 49 นาที และอุณหภูมิ 109-110 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 49 นาที ในการผลิตแฮมกระป๋อง พบว่าภายหลังการให้ความร้อนตรวจไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และมีปริมาณสปอร์ของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศและทำให้เกิดกลิ่นเน่าเสียต่ำกว่า 3 MPN/g

2.3 การใช้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์อาหาร

การใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตอาหาร (Thermal processing) เป็นวิธีการถนอมอาหารที่ดีอีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากความร้อนสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพหรือเป็นพิษได้ รวมทั้งเพื่อเป็นการหยุดปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ที่อาจทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ ความร้อนที่นิยมใช้ในการผลิตอาหารประเภทเนื้อสัตว์แบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ

2.3.1 การใช้ความร้อนในระดับต่ำกว่าจุดเดือด (Pasteurization)

การใช้ความร้อนในระดับนี้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้บางส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ผลิตภัณฑ์เนื้อที่นิยมใช้ความร้อนระดับนี้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการหมักเกลือ เช่น แฮม เบคอน และไส้กรอก เป็นต้น โดยทั่วไปทำให้เนื้อสุกจนกระทั่งอุณหภูมิภายในของชิ้นเนื้อเท่ากับ 65-75 องศาเซลเซียส และจะต้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาหรือจำหน่าย นอกจากนี้การใช้ความร้อนระดับนี้จะช่วยรักษาความชื้นในอาหาร ส่งผลต่อความนุ่มและความชุ่มน้ำของเนื้อ ช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการที่มีความไวต่อการใช้ความร้อน

2.3.2 การใช้ความร้อนในระดับสูงกว่าจุดเดือด (Sterilization)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การใช้ความร้อนในระดับนี้จะทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เนื้อได้ ความร้อนที่ระดับสูงกว่าจุดเดือดนี้จำเป็นต้องใช้ความดันไอ

น้ำช่วยทำให้อุณหภูมิในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อสูงกว่าจุดเดือด แต่ระดับความร้อนที่ใช้จะมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อ เช่นความชุ่มน้ำ ความนุ่มเหนียว หรือรสชาติของเนื้อ

2.4 เทคนิค Sous vide (Sous vide technique)

เทคนิค Sous vide เป็นการประยุกต์ใช้ความร้อนในระดับการพาสเจอร์ไรส์ กับวัตถุดิบสดหรืออาหารกึ่งสุกกึ่งดิบ ในภาชนะบรรจุที่ทนความร้อนภายใต้สภาพสุญญากาศ (Hauben, 1999) ก่อนจะนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ และเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิแช่เย็น 0-3 องศาเซลเซียส (Gillian and Heather, 2000) ซึ่งภายใต้สภาวะดังกล่าวสามารถเก็บรักษาได้ 3-5 สัปดาห์ และต้องนำไปผ่านการให้ความร้อนอีกครั้งสำหรับการบริโภค (Vaudagna *et al.*, 2002) การผลิตอาหารด้วยเทคนิค Sous vide จะให้ผลดีในเรื่องของรสชาติ การเพิ่มความนุ่มและความชื้น การคงคุณภาพด้านสี ลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ (Creed, 1998) และทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (Church and Parsons, 2000; Vaudagna *et al.*, 2002) ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยเทคนิค Sous vide ที่ทำจากเนื้อแดงจะมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีที่สุดประมาณ 23-35 วัน ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเนื้อขาวประมาณ 14-30 วัน ผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลาและผักจะมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสดีที่สุดประมาณ 7 วัน (Gillian and Heather, 2000)

Church and Parsons (1993) ได้อธิบายเกี่ยวกับข้อดีของการผลิตอาหารด้วยเทคนิค Sous vide เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตอาหารด้วยวิธีธรรมดาคือ ภาชนะบรรจุจะช่วยป้องกันการระเหยของความชื้น และกลิ่นรส ระหว่างการให้ความร้อน นอกจากนี้สภาวะที่มีออกซิเจนระดับต่ำในภาชนะบรรจุ จะช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสที่ผิดปกติของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

อย่างไรก็ตามอาหารที่บรรจุในสภาพสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคในกลุ่มที่ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic pathogen) และทนต่ออุณหภูมิต่ำ (Psychrotolerant) โดยเฉพาะ *Clostridium botulinum* (Gould, 1996) เพื่อป้องกันการเจริญ และสร้างสารพิษ จำเป็นต้องคำนึงถึงการควบคุมปัจจัยต่างๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 10 วัน ดังนี้คือ ค่าพีเอชของอาหารน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5.0 ความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 3.5 ค่า Aw น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.97 หรือมีการใช้ความร้อนร่วมกับวิธีการอื่นๆ ที่สามารถป้องกันการเน่าเสียจากการเจริญ และสร้างสารพิษของ *Clostridium botulinum* (Church and Parsons, 2000)

นอกจากนี้ปัจจัยที่จะต้องควบคุมเพื่อความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ Sous vide ประกอบด้วย ระดับความรุนแรงของการให้ความร้อน ระยะเวลาและอุณหภูมิในการทำให้เย็นทันที

รวมทั้งการควบคุมอุณหภูมิของการแช่เย็นระหว่างการเก็บรักษา (SVAC, 1991; Fandos *et al.*, 2005)

Wang *et al.* (2004) ได้ศึกษากระบวนการผลิตปีกไก่ด้วยวิธี Sous vide โดยบรรจุปีกไก่ในเพาช์ด้วยระบบสุญญากาศ เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่บรรจุในระบบสุญญากาศ นำไปทำให้สุกโดยการต้มที่อุณหภูมิ 2 ระดับคือ 70 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส จนมีอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อเท่ากับ 73.8 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นทันที เก็บที่อุณหภูมิ 2 ระดับคือ 2 และ 7 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าทุกชุดการทดลองจะมีค่า Thiobarbituric acid (TBA) รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศและไม่ต้องการอากาศในปริมาณต่ำกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนค่าแรงเฉือนด้วย Warner-Bratzler จะไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองและชุดควบคุม

Vaudagna *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลของการใช้สารละลายน้ำเกลือฉีดเข้าเนื้อโคทั้งก้อน น้ำเกลือประกอบด้วยโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.10, 0.25, 0.40 และ 0.50 โซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.20, 0.70, 1.20 และ 1.40 ทำให้สุกด้วยวิธี Sous vide โดยใช้อุณหภูมิในการทำให้สุก 5 ระดับคือ 55, 58, 65, 72 และ 75 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.25 ร่วมกับการใช้โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.20 และใช้อุณหภูมิในการทำให้สุกระหว่าง 60-65 องศาเซลเซียส จะช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนได้ดีที่สุดถึงร้อยละ 0

Szerman *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลการใช้อุณหภูมิ 3 ระดับในการทำให้เนื้อโคสุกด้วยเทคนิค Sous vide คือใช้ความร้อนร่วมกับการบรรจุในสภาวะสุญญากาศ โดยใช้อุณหภูมิและระยะเวลาแตกต่างกันดังนี้ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 9 นาที 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 นาที และ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 26 วินาที ร่วมกับการใช้โปรตีนเวย์ ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-3.5 ของน้ำหนักเนื้อ และโซเดียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-0.25 ของน้ำหนักเนื้อฉีดเข้ากล้ามเนื้อร่วมกับการนวดเนื้อก่อนและหลังฉีด พบว่าที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2.5 ร่วมกับโปรตีนเวย์ร้อยละ 3.5 และใช้อุณหภูมิในการทำให้สุกเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส และ 75 องศาเซลเซียส จะมีการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนร้อยละ 8.9, 12 และ 21 ตามลำดับ โดยเนื้อโคที่มีการใช้อุณหภูมิในการทำให้สุก 70 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้โปรตีนเวย์ร้อยละ 2.6 และโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.9 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ส่งผลให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชุ่มน้ำและความนุ่มของเนื้อเพิ่มขึ้น

Pedro *et al.* (2008) ได้ศึกษาการเน่าเสียระหว่างการเก็บรักษาของเนื้อสุกรส่วนสันนอกที่ผ่านการทำให้สุกด้วยวิธี Sous vide โดยการทำการตัดเนื้อสุกรส่วนสันนอกเป็นชิ้นขนาด 10x10x5

เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 500 กรัม ใส่เกลือร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักเนื้อ ทาด้วยน้ำมันมะกอก นำไปอบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที บรรจุชิ้นเนื้อสุกรในเพาช์ชนิดโพลีเอไมด์/โพลีโพรพิลีน ภายใต้สภาวะสุญญากาศ นำไปทำให้สุกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในเตาอบ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นทันที นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส และประเมินการเน่าเสียที่ระยะเวลา 0, 5 และ 10 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเก็บรักษาเนื้อสุกร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและ Enterobacteriaceae จะพบในปริมาณน้อยมากหรือไม่พบ

Fandos *et al.* (2005) ได้ศึกษาอายุการเก็บรักษาเกี่ยวกับคุณภาพความปลอดภัยทางด้านจุลินทรีย์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของปลาแซลมอน ที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเทคนิค Sous vide โดยทำการแล่ปลาแซลมอนเป็นชิ้นขนาด 100 กรัม เติมน้ำมันมะกอก 15 กรัม และ เกลือ 0.2 กรัม บรรจุในเพาช์ชนิดโพลีเอทธิลีน/โพลีเอไมด์ ปิดผนึกด้วยความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ ให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน คือ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที, 90 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และ 65 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 45 วัน ผลการศึกษาพบว่า ทุกชุดการทดลองไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus, Bacillus cereus, Clostridium perfringen* และ *Listeria monocytogenes* โดยชุดการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ให้ผลการทดลองทางด้านจุลินทรีย์ที่ดีที่สุด เนื่องจากพบอัตราการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม Mesophile และ Psychrotrophs ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จะไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการอากาศตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 45 วัน แต่อย่างไรก็ตามที่สภาวะดังกล่าว การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสจะมีคะแนนการยอมรับน้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส อาจเนื่องจากการใช้ความร้อนระดับสูง และระยะเวลานาน มีผลทำให้โปรตีนเกิดเสียสภาพธรรมชาติ เกิดการตกตะกอนในระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (Bergslien, 1996) โดยเฉพาะโปรตีนของเนื้อปลา เมื่อใช้ความร้อนสูงจะทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง และแห้ง ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

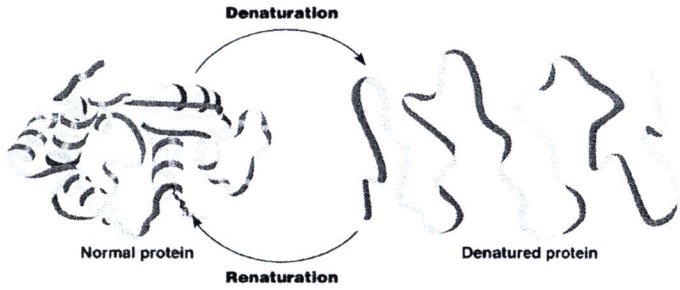
Hilda (2000) ได้ศึกษาผลของการเก็บรักษาและอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ โดยใช้เทคนิค Sous vide ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 และ 8 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ

3 องศาเซลเซียส จะพบการเจริญของจุลินทรีย์น้อย โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 4-5 สัปดาห์ และได้รับการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางชีวเคมีและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาของทุกๆผลิตภัณฑ์จะไม่พบการเจริญของ *Listeria monocytogenes, Salmonella, Clostridium perfringen, Bacillus cereus* และ Enterobaeteriaceae สอดคล้องกับคณะกรรรมการความปลอดภัยทางด้านเชื้อจุลินทรีย์ของสหรัฐอเมริกาแนะนำว่าผลิตภัณฑ์กลุ่ม Cook-chill จะมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 10-42 วัน ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส

Jang and Lee (2005) ได้ศึกษาการพัฒนาของผลิตภัณฑ์เนื้อโคปรุงรสของประเทศเกาหลี เปรียบเทียบวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมกับการใช้เทคนิค Sous vide ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับคือ 3, 10 และ 20 องศาเซลเซียส การผลิตแบบดั้งเดิมคือ บรรจุเนื้อโคปรุงรสในภาชนะพลาสติกและนำไปแช่เย็น ส่วนการใช้เทคนิค Sous vide คือ บรรจุในเพาช์ชนิดไนลอน/โพลีเอทธิลีน/ไนลอน/โพลีเอทธิลีน/ไนลอน/โพลีเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จากนั้นเติมส่วนผสมต่างๆลงไป ปิดผนึกภายใต้สภาวะสุญญากาศ ให้ความร้อนโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 97 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 นาที (วัดอุณหภูมิจากใจกลางชิ้นเนื้อ) ผลการศึกษาพบว่าเนื้อโคปรุงรสที่ใช้เทคนิค Sous vide เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 และ 10 องศาเซลเซียส ไม่พบการเจริญของแบคทีเรียกลุ่มที่ต้องการและไม่ต้องการอากาศ อย่างน้อยเป็นเวลา 42 และ 24 วัน ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบการเจริญของจุลินทรีย์หลังจากวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ในขณะที่กรรมวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม เนื้อโคปรุงรสที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ20 องศาเซลเซียส จะพบการเจริญของจุลินทรีย์ตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา ส่วนที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส พบการเจริญของแบคทีเรียที่ต้องการและไม่ต้องการอากาศหลังจากวันที่ 8 และ วันที่ 10 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อโคปรุงรส พบว่าการผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 และ 10 องศาเซลเซียส ได้เพียง 7 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สังเกตเห็นการเน่าเสียได้อย่างชัดเจน เนื่องจากเกิดเมือกที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ก่อนวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ในขณะที่การใช้เทคนิค Sous vide ไม่มีความแตกต่างของคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างกันทั้ง 3 ระดับ ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 12 วัน

2.5 ผลของความร้อนต่อโปรตีนกล้ามเนื้อ

การเสียสภาพของโปรตีนเกี่ยวข้องกับการขัดขวางหรือทำลายโครงสร้างทุติยภูมิและตติยภูมิของโปรตีน ทำให้สูญเสียรูปร่าง α-helix และ β-sheets ในโปรตีน จึงทำให้โปรตีนเกิดการคลายเกลียว (รูปที่ 6) เนื่องจากปฏิกิริยาหรือพันธะถูกทำลาย การเสียสภาพของโปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การให้ความร้อน การปรับค่าพีเอช การเติมสารต่างๆเข้าไป ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างสายโซ่ของโปรตีนประกอบด้วย ปฏิกิริยาพันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ และปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิกหรือ ปฏิกิริยาระหว่างหมู่ที่ไม่มีประจุ เมื่อโปรตีนเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติขึ้น ส่วนที่มีประจุและส่วนที่ไม่มีประจุที่อยู่ภายในโครงสร้างโปรตีนจะเผยออกมา ทำให้บนผิวของโปรตีนมีทั้งส่วนที่มีและไม่มีประจุเพิ่มมากขึ้น โปรตีนจึงมีสมบัติการละลาย การเกิดเจล สมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิ้ง สมบัติไฮโดรโฟบิซิตี้ และความหนืดดีขึ้น (Fennema, 1996)



รูปที่ 6 การเสียสภาพของโปรตีน

ที่มา : http://kentsimmons.uwinnipeg.ca/cm1504/proteins.htm (20/9/2011)

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน

ระหว่างการให้ความร้อนกับโปรตีนเนื้อจะทำให้เกิดการเสียสภาพธรรมชาติเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง เช่น การสลายของเยื่อหุ้มเซลล์ การหดตัวตามแนวยาวและแนวขวางของเส้นใยกล้ามเนื้อ การรวมกลุ่มเป็นก้อนและเกิดเจลของซาร์โคพลาสมิกโปรตีน การหดตัวและการละลายของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Tornberg, 2005)

2.5.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เนื้อ

การให้ความร้อนจะเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อลดลง Offer (1984) ได้สรุปถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนเนื้อเกิดขึ้นจากการได้รับความร้อนเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เกิดการ

หดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อตามแนวขวาง ช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อลดลง และรอบๆเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเอนโดไมเซียมลดลง เมื่อถึงอุณหภูมิที่ 60-70 องศาเซลเซียส เนื้อเยื่อเกี่ยวพันและเส้นใยกล้ามเนื้อจะเกิดการหดตัวตามแนวยาว มีการหดตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียน้ำ สันนิษฐานว่าเกิดจากการที่น้ำจะถูกผลักออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของเส้นใยกล้ามเนื้อ เป็นผลมาจากแรงดันเนื่องจากการหดตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

2.5.3 คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อ

การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส โปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันคือคอลลาเจนจะหดตัวทันที ทำให้สูญเสียน้ำออกจากร่างแหไมโอไฟบริลลา เนื้อจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้น เรียกว่า Collagen shrinkage เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 60-70 องศาเซลเซียส คอลลาเจนเริ่มละลายและเปลี่ยนเป็นเจลาตินที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนโปรตีนไมโอไฟบริล จะสูญเสียสภาพธรรมชาติ เกิดการรวมกลุ่มเป็นก้อนโปรตีนที่แข็งขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่า 70 องศาเซลเซียส ระหว่างสายเปปไทด์ของแอกโตไมโอซิน จะเกิดพันธะไดซัลไฟด์ ทำให้เนื้อมีความเหนียวเพิ่มขึ้น (Cross *et al.*, 1986)