



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของการนวดและสารปรุงแต่งต่อคุณภาพเนื้อหมูหมัก
(Effects of tumbling process and sodium bicarbonate on
the quality of marinated meat)

จัดทำโดย

1. น.ส. กุลธิดา กุลสิงห์ รหัสนักศึกษา 44040115
2. น.ส. สกฤดี เอกปัญญาสกุล รหัสนักศึกษา 44040159

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....

..... ๒๗ ๗๘

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ผศ. เขวลักษณ์ สุรพันธ์พิสุทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของการนวดและสารปรุงแต่งต่อคุณภาพเนื้อหมูหมัก
(Effects of tumbling process and sodium bicarbonate on
the quality of marinated meat)



T096498

จัดทำโดย

น.ส. กุลธิดา กุลสิงห์ รหัสนักศึกษา 44040115

น.ส. สกฤดี เอกปัญญาสกุล รหัสนักศึกษา 44040159

ปพ.
ก ๖ ๒ ๖ ๓
๒๕๔๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 96498
วัน,เดือน,ปี.....

เสนอ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๔๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น.ส. กุลธิดา กุลสิงห์, น.ส. สกฤดี เอกปัญญาสกุล. 2547. : ผลของการนวดและสารปรุงแต่งต่อคุณภาพเนื้อหมูหมัก (Effects of tumbling process and sodium bicarbonate on the quality of marinated meat). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. เขียวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์, 80 หน้า

การนวดเนื้อจะมีผลต่อคุณภาพของเนื้อ โดยเมื่อเปรียบเทียบการนวดแบบนวด 5 นาทีพัก 10 นาทีแล้วนวดต่อ 5 นาที กับ การนวด 5 นาที พัก 20 นาที แล้วนวดต่อ 5 นาที จะมีผลต่อคุณภาพเนื้อใกล้เคียงกัน โดยการนวดเนื้อแล้วพัก 10 นาที จะทำให้เนื้อ มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดถึง 72.282 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะส่งผลให้เนื้อสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุกเพียง 16.116 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตสุดท้ายและความนุ่มของเนื้อจึงมีค่าเท่ากับ 83.884 เปอร์เซ็นต์ และ 2361.360 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ ลงในเนื้อ พบว่า เนื้อจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดถึง 77.766 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 0, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เนื้อจะมีความนุ่มมากที่สุด เพราะ แรงที่ใช้ตัดมีค่าน้อยที่สุด เพียง 1387.600 กรัม เนื้อมีการสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุกเพียง 8.192 เปอร์เซ็นต์และผลผลิตที่ได้มีค่าสูงถึง 91.807 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเนื้อบดที่ผสมกับเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์ , โซเดียมไตรฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 20 และ 25 ชั่วโมง จะไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเจล และเมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการเติมน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เนื้อบดที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดถึง 78.602 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำให้เนื้อบดสุกจะสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเพียง 15.906 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตของเนื้อบดมีค่าเท่ากับ 84.094 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อวัดค่าความแข็งแรงของเจล พบว่า เจลมีความแข็งแรงที่สุดถึง 195.637 กรัมต่อเซนติเมตร

.....กุลธิดา.....กุลสิงห์.....

.....สกฤดี เอกปัญญาสกุล.....

ลายมือชื่อนักศึกษา

.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

.....
วัน / เดือน / ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เขียวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าคอยให้คำปรึกษา ความรู้ ความเข้าใจ การนำเสนอ และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง รวมทั้งได้ตรวจแก้ไขรูปเล่มปัญหาพิเศษ จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส เครื่องหมุนเหวี่ยงน้ำ ความเร็วสูง รวมถึง เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค พี่ปริญญาโท เจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมทุกท่านและเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ

สุดท้ายขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ที่คอยให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำปัญหาพิเศษ

นางสาว กุลธิดา กุลสิงห์
นางสาว สกฤติ เอกปัญญาสกุล

23 มีนาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญภาคผนวก	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ตรวจสอบเอกสาร	2
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ	2
2.1.1 โปรตีน	2
2.1.2 ไขมัน	9
2.1.3 คาร์โบไฮเดรต	9
2.1.4 น้ำ	9
2.1.5 เกลือแร่และวิตามิน	11
2.2 คุณสมบัติในการใช้ประโยชน์ของโปรตีน	11
2.2.1 การละลาย (Solubility)	15
2.2.2 การจับกับน้ำมันและไขมัน (Oil and Fat Binding Properties)	15
2.2.3 การเกิดอิมัลชัน (Emulsification)	15
2.2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC)	16
2.2.5 การเกิดเจล (Gelation)	18
2.3 การเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์	19
2.3.1 ความหมายของเจล	19
2.3.2 ลักษณะการฟอร์มเจล	20
2.3.3 กลไกการเกิดเจล	21
2.3.4 ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำในเจล	26
2.3.5 พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจล	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์	30
2.4.1 ความแตกต่างของกล้ามเนื้อ	30
2.4.2 ชนิดของโปรตีน	31
2.4.3 ปริมาณของโปรตีน	31
2.4.4 การลดขนาดของวัตถุดิบ	32
2.4.5 เกลือ	32
2.4.6 สารประกอบฟอสเฟต	34
2.4.7 อุณหภูมิและเวลาในการผสม	36
2.4.8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เจลเซ็ทตัวและคงตัว	37
2.4.9 อัตราการให้ความร้อนในระหว่างการทำให้เจลคงตัว	38
2.4.10 โซเดียมไบคาร์บอเนต	39
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	41
3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์	41
3.2 สารเคมี	41
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	42
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	45
4.1 การศึกษาผลของเวลาในการนวดและสารโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อ	45
4.1.1 การหาระยะเวลาในการนวดเนื้อ	45
4.1.2 การศึกษาระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพของเนื้อ	47
4.2 การศึกษาผลของเวลาในการแช่เย็นและระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อ	48
4.2.1 การศึกษาผลของเวลาในการแช่เย็นต่อคุณภาพเนื้อหมูบด	48
4.2.2 การศึกษาความสามารถของเนื้อบดในการดูดน้ำ	49
4.2.3 การศึกษาระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อหมูบด	50
5. สรุปผลการทดลอง	54
6. ข้อเสนอแนะ	55
7. เอกสารอ้างอิง	56
8. ภาคผนวก	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะของโปรตีนกล้ำมเนื้อที่ละลายได้	6
2.2 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ (มิลลิกรัม/100กรัม)	9
2.3 แสดงปริมาณวิตามินที่สำคัญในเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ (กรัม/100กรัม)	10
2.4 แสดง Functional properties of food proteins	11
2.5 แสดง Functional roles of food protein in food systems.	12
4.1 แรงเหวี่ยง (กรัม) ความสามารถในการอุ้มน้ำ(เปอร์เซ็นต์) การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุก(เปอร์เซ็นต์) และผลผลิตของเนื้อ(เปอร์เซ็นต์) ที่นวดด้วยระยะเวลาต่างๆกัน	45
4.2 แรงเหวี่ยง (กรัม) ความสามารถในการอุ้มน้ำ(เปอร์เซ็นต์) การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุก(เปอร์เซ็นต์) และผลผลิตของเนื้อ(เปอร์เซ็นต์) ของเนื้อหมักที่มีการเติมปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณต่างๆกัน	47
4.3 ค่าความแข็งแรงของเจลเนื้อหมักที่หมักไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆกัน	49
4.4 ความสามารถของเนื้อบดในการดูดน้ำที่ปริมาณระดับต่างๆ	49
4.5 ลักษณะความแข็งแรงของเจล ความสามารถในการอุ้มน้ำ(เปอร์เซ็นต์) การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุก(เปอร์เซ็นต์) และผลผลิตของเนื้อ (เปอร์เซ็นต์) ที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตระดับต่างๆ	50
4.6 ลักษณะของเนื้อบดขึ้นรูปโดยพิจารณาด้วยวิธีเชิงพรรณนา ทางด้านสี ความสดใสและการเกาะตัวกันของเนื้อ	51
4.7 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เติมปริมาณ โซเดียมไบคาร์บอเนตแต่ละระดับ	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของไมโอซิน ส่วนที่เป็นหัวกลมและหางยาว และแสดงจุดที่แตกออกเมื่อถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์	6
2.2 โมเลกุลไมโอซินและส่วนฟิลาเมนต์หนา	7
2.2 Schematic diagram of the myosin molecule showing the length and molecular weight of its various subunits	7
2.4 ลักษณะการเกาะจับของน้ำภายในกล้ามเนื้อในรูปแบบต่างๆ	10
2.5 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของการใช้ประโยชน์ของโปรตีน	13
2.6 การเกาะกันระหว่างขั้วประจุที่ต่างกันของโมเลกุลโปรตีนและโมเลกุลของน้ำ	18
2.7 Formation of a gel network structure by polymers.	21
2.8 A proposed mechanism for heat-induced gelation of globular proteins.	22
2.9 การเกิดพันธะไฮโดรฟอบิกของกรดอะมิโน	27
2.10 พันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสายโพลีเปปไทด์	29
ง1 เครื่องที่ใช้ในการนวดเนื้อ	71
ง2 บรรจุภัณฑ์ที่ใส่เนื้อสำหรับใส่ในเครื่องนวด	72
ง3 เครื่อง Centrifuge ที่ใช้ในการหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ	72
ง4 ลักษณะเนื้อบดและเนื้อที่หั่นเป็นชิ้นที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตระดับต่างๆ	73

สารบัญภาคผนวก

		หน้า
ภาคผนวก ก	วิธีวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าสูญเสียน้ำเมื่อได้รับความร้อน และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตภายหลังผ่านความร้อน	62
ภาคผนวก ข	วิธีทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยวิธีวัดค่า Hardness และ Shear Force	65
ภาคผนวก ค	การวิเคราะห์ทางกายภาพ	68
ภาคผนวก ง	รูปเครื่องนวดเนื้อและลักษณะเนื้อที่ได้จากการเติมปริมาณ โซเดียมไบคาร์บอเนตระดับต่างๆ	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในยุคปัจจุบัน ได้มีขบวนการในการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ชั้นหลากหลายชนิด จากการใช้เทคโนโลยีทางด้านเคมี ที่มีการเติมสารปรุงแต่งชนิดต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัตว์ เพื่อให้เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ความเหนียว ความยืดหยุ่น และการเกิดเจลของโปรตีนที่ดี โดยทั่วไปจะมีการใช้เนื้อชั้นหรือเนื้อบดที่มีการเติม เกลือ สารประกอบฟอสเฟต (โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต) และสารปรุงรส เช่น น้ำตาล ผงชูรส เครื่องเทศ แล้วนำมาขนาดคลุกเข้ากับส่วนผสม หลังจากนั้น จะตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิตู้เย็น ที่ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้ส่วนผสมซึมเข้าสู่ชั้นเนื้อ ซึ่งจะนิยมใช้มากตามร้านค้าในการทำเนื้อหมูนุ่มขึ้น เช่น การทำหมูราดหน้า

ดังนั้นปัญหาพิเศษนี้จึงให้ความสำคัญในการศึกษาคุณภาพของเนื้อหมูที่มีการเติมสาร โซเดียม-ไบคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการลดความเป็นกรดของเนื้อสัตว์หลังการฆ่าควบคู่ไปกับเวลาที่ใช้ในการนวดและการแช่เย็นของเนื้อหมู

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการนวดของเนื้อหมูชั้น และเวลาที่ใช้ในการแช่เย็นของเนื้อบด
2. ศึกษาผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อหมูหมัก

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ

2.1.1 โปรตีน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในเนื้อแดงของวัว สุกร และ พบว่ามีส่วนประกอบต่างๆ โดยเฉลี่ยดังนี้ น้ำ 75 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 3 เปอร์เซ็นต์ แร่ 12 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) 3.5 เปอร์เซ็นต์ วิตามินและเกลือแร่เล็กน้อย (เขาวลัทธิ , 2536) องค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามปัจจัยต่างๆ คือ สายพันธุ์ อายุ อาหารที่ใช้เลี้ยง

โปรตีนจากกล้ามเนื้อแบ่งตามคุณสมบัติในการละลายได้ 3 ประเภท คือ

2.1.1.1 ซาร์โคพลาสมิก โปรตีน (sarcoplasmic protein)

โปรตีนซาร์โคพลาสมิกมีอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณโปรตีนกล้ามเนื้อทั้งหมด มีคุณสมบัติที่ละลายในน้ำและสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่ำ (Ionic strength 0.06) หน้าที่ของโปรตีนซาร์โคพลาสมิก ช่วยทำให้ไขมันและน้ำในไส้กรอกผสมเข้ากันได้ดี (emulsion) โดยทำหน้าที่เหมือนกับ Myofibrillar Protein คือเป็น emulsifier ของไขมัน ในผลิตภัณฑ์ emulsion ที่เกิดจาก Sarcoplasmic protein ที่ความคงตัวน้อยกว่า emulsion จาก Myofibrillar protein แต่มีความคงตัวดีกว่า emulsion จาก connective tissue protein และ โปรตีนจำพวกนี้จะตกตะกอนด้วยความร้อนและจะเข้าไปเกาะกับ Myofibrillar protein และเชื่อว่า Sarcoplasmic protein เป็นตัวขัดขวางการเกิดเจล โปรตีนที่สำคัญได้แก่

1) myogen ประกอบด้วยโปรตีนหลายๆ ชนิดรวมกัน มีประมาณเกือบ 20 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด ได้แก่ เอนไซม์ในกระบวนการ glycolysis ซึ่งควบคุม aerobic and anaerobic glycolysis โดยทำหน้าที่เปลี่ยน glycogen เป็น lactic acid และ aerobic acid of pyruvate , myokinase phosphorylase , phospho glyceraldehyde dehydrogenase เป็นต้น

2) globulin x เป็นโปรตีนรูปร่างกลมคล้ายกับเอนไซม์ต่างๆ ไป บทบาทและหน้าที่ยังไม่แน่ชัด

3) myoglobin เป็นโปรตีน chromoprotein ที่มี heme เป็นองค์ประกอบคล้ายกับ haemoglobin บางทีเรียกว่า haemoglobin ของกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ในการรับ-ส่งออกซิเจนในเซลล์กล้ามเนื้อ เป็นตัวการทำให้กล้ามเนื้อมีสี สีของเนื้อขึ้นอยู่กับ myoglobin ถึงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ที่เหลืออีก 10 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับ haemoglobin โดยทั่วไปในกล้ามเนื้อลายพบ myoglobin ไม่มาก พบเพียง 0.1-0.2 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด แต่สำหรับกล้ามเนื้อชนิดที่ต้องทำงานหนักและต้องการพลังงานมากจากกระบวนการ electrotransport system เช่น กล้ามเนื้อหัวใจมี myoglobin อยู่มากเป็นพิเศษ

2.1.1.2 ไมโอไฟบริลลาร์ โปรตีน (Myofibrillar protein)

โปรตีนไมโอไฟบริล คือ โปรตีนในไมโอไฟบริลซึ่งเป็น โครงสร้างของกล้ามเนื้อและทำหน้าที่ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ มีอยู่ประมาณ 55-60 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด ภายหลังจากที่สัตว์ตาย โปรตีนชนิดนี้ทำให้เกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อเนื่องจากการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นระหว่าง rigor mortis โปรตีนชนิดนี้เป็น heat-coagulable protein ซึ่งจะ coagulate ที่อุณหภูมิ 130-135 องศาฟาเรนไฮต์ มีคุณสมบัติคือ ละลายได้ในสารละลายของเกลือ เช่น สารละลาย KCl 0.6 โมลาร์ คุณสมบัติที่ละลายได้ในเกลือนี้เองที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการทำผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยการเติมเกลือแกง (NaCl) 2-3 เปอร์เซ็นต์ ก่อนหรือในระหว่างการบดสับหรือปรุงผสมเนื้อ เพื่อให้เกลือละลายโปรตีนออกจากเนื้อ โปรตีน actin และ ไมโอซิน ที่ละลายหรือถูกสกัดออกมาในขณะที่สับเนื้อกับเกลือแกงนี้จะทำให้เกิดลักษณะเป็น solubilized protein sol หรือ paste และเมื่อนำไปให้ความร้อน sol จะเปลี่ยนไปเป็น gel (gel-network) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนเป็นรูปตาข่าย (actoไมโอซิน network) ที่ผลทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีความยืดหยุ่น การเกิดโครงสร้างของเจลนี้เกิดขึ้นเนื่องจากพันธะเชื่อมข้าม (cross-linking) ของ actoไมโอซิน จากพันธะไฮโดรเจน (hydrogen-bonding) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำและจากพันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic-bonding) ซึ่งเกิดขึ้นที่หลังเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โปรตีนที่พบคือ

1) ไมโอซิน เป็นโปรตีนของฟิลาเมนต์หนา (thick filament) เป็นโปรตีนชนิด nexameric มีโมเลกุลสายยาว ขนาดใหญ่และมีปริมาณมากที่สุดประมาณ 35- 43 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนไมโอไฟบริล ไมโอซิน แต่ละโมเลกุลยาว 160 นาโนเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-13 เซนติเมตร มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 ดาลตัน แบ่งออกเป็นส่วนหัวและส่วนหาง (ภาพที่ 2.1-2.3) ซึ่งส่วนหัวคือ ส่วน ไมโอซิน light chain (MLC) มีรูปร่างเป็นก้อนกลม เรียกว่า globular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

head แต่ละหัวมีเอนไซม์ ATPase สามารถเกิดแรงกระทำ (interaction) กับแอกตินได้ เอนไซม์ ATPase สามารถย่อยสลาย ATP ไปเป็น ADP และฟอสเฟตอนินทรีย์ (Pi) MLC ประกอบด้วย โปรตีน 3 หน่วยย่อย (ภาพที่ 2.3) ดังนี้ ส่วนที่แยกได้ด้วยด่าง เรียก "alkaline light chain (LC-1)" มีน้ำหนักโมเลกุล 20,700-25,000 ดาลตัน ส่วนที่สองคือ ส่วนที่แยกได้ด้วย 5.5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid) เรียกว่า "DTBN light chain(LC-2)" มีหน้าที่เกี่ยวกับ Phospholate โดย kinase แต่หน้าที่ยังไม่ชัดเจน และส่วนสุดท้ายคือ ส่วนที่ละลายในด่าง เรียกว่า "alkaline light chain — 2(LC-3)" และส่วนหางคือ ส่วน ไมโอซิน heavy chain (MHC) ซึ่งมี 2 สายพันรอบซึ่งกันและกัน เกิดเป็นโครงสร้างแบบ แอลฟา-เฮลิกซ์ (α -helix) มีลักษณะเป็นแท่ง (rod shape) แต่ละสายของ MHC มีขนาด 200,000 ดาลตัน และเมื่อใช้ proteolytic enzyme (trypsin) ย่อยไมโอซิน จะได้ 2 ส่วน คือ ส่วนของ heavy mero ไมโอซิน (HMM) และส่วนของ light mero ไมโอซิน (LMM) ซึ่ง HMM ประกอบด้วยส่วนของ globular head และส่วนต้นของสายแอลฟา-เฮลิกซ์ ส่วนของ HMM ยังคงมีความสามารถที่จะเกิดแรงกระทำกับแอกตินของเอนไซม์ ATPase ยังคงอยู่ LMM เป็นส่วนที่เหลือแท่งแอลฟา-เฮลิกซ์ เมื่อย่อย HMM ด้วยเอนไซม์ปาเปน (papain) เกิดเป็นส่วนย่อย 2 ส่วน คือ เอส-1 (S-1) เป็นส่วนก้นกลมของ globular head และ เอส-2(s-2) เป็นส่วนแท่งแอลฟา-เฮลิกซ์ ตอนต้น

ไมโอซินเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นเช่น ไลซีน (Lysine) อยู่สูง จึงจัดได้ว่าเป็นโปรตีนที่มีคุณค่าโภชนาการสูง ซึ่ง ไมโอซิน ถูกกำหนดโดยอิน พบว่าเนื้อไก่มีอิน 31 ตัวควบคุมส่วน MHC (Xiong, 1994) และ ไมโอซิน ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเจลในช่วงการให้ความร้อนด้วย ไมโอซิน สามารถสกัดให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนหลายครั้งตามด้วยการละลายในน้ำเกลือที่มีความแรงไอออนสูง สารละลายที่ใช้กันทั่วไปในการสกัดคือ KCl 0.47 โมลาร์ Phosphate 0.1 โมลาร์ และ ไพโรฟอสเฟต 0.1 โมล ที่ pH6.5

2) actin เป็นโปรตีนของฟิลาเมนต์บาง (thin filament) มีมากเป็นอันดับที่สองในโปรตีนไมโอไฟบริล มีประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์เป็นโปรตีนที่ ติดแน่นกับโครงสร้างของกล้ามเนื้อเนื้อมากกว่าไมโอซิน แอกตินประกอบด้วย กรดอะมิโนโพรลีน(Proline) จำนวนมาก กรดอะมิโนนี้ประกอบด้วยหมู่อิมีโน(imino group, N-H) ทำให้เกิดการขดพันกันระหว่างโซ่ polypeptide เกิดเป็นโมเลกุลรูปทรงกลม ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 53.5 นาโนเมตร โมเลกุลรูปทรงกลมนี้คือ จี-แอกติน (G-actin) หรือ globular actin และเป็นรูปโมโนเมอร์ (monomer form) ของแอกติน แอกตินฟิลาเมนต์ (แอกตินฟิลาเมนต์) เป็นเส้นใยที่เกิดจากจี-แอกติน โมโนเมอร์มาเชื่อมต่อกันตามความยาวเกิดเป็น เอฟ-แอกติน (F-actin หรือ fibrous actin) การเชื่อมต่อกันของจี-แอกตินคล้ายกับโซ่ขดที่ร้อยเป็นพวงยาว เอฟ-แอกติน 2 เส้น ซึ่งขดเป็นเกลียวจะพันกันไปมา เกิดเป็นซูเปอร์เฮลิกซ์ (super helix) ซึ่งเป็นลักษณะของแอกตินฟิลาเมนต์ เส้นผ่านศูนย์กลางทั้งหมดของแอกตินฟิลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เม้นต์ยาวประมาณ 6-8 นาโนเมตร ไอโซอิเล็กทริกพอยท์ $pH = pI$ คือ สภาวะที่มีประจุไฟฟ้าที่น้อยที่สุดและการละลายน้อยที่สุด) ของแอกตินประมาณ 4.7 แอกตินมีน้ำหนักโมเลกุล 43 คาลตัน มีตัวเก็บลำดับอะมิโนแล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงานแอกติน เป็นองค์ประกอบสำคัญในการเกิดโซล (sol) ซึ่งจะเพิ่มความยืดหยุ่น

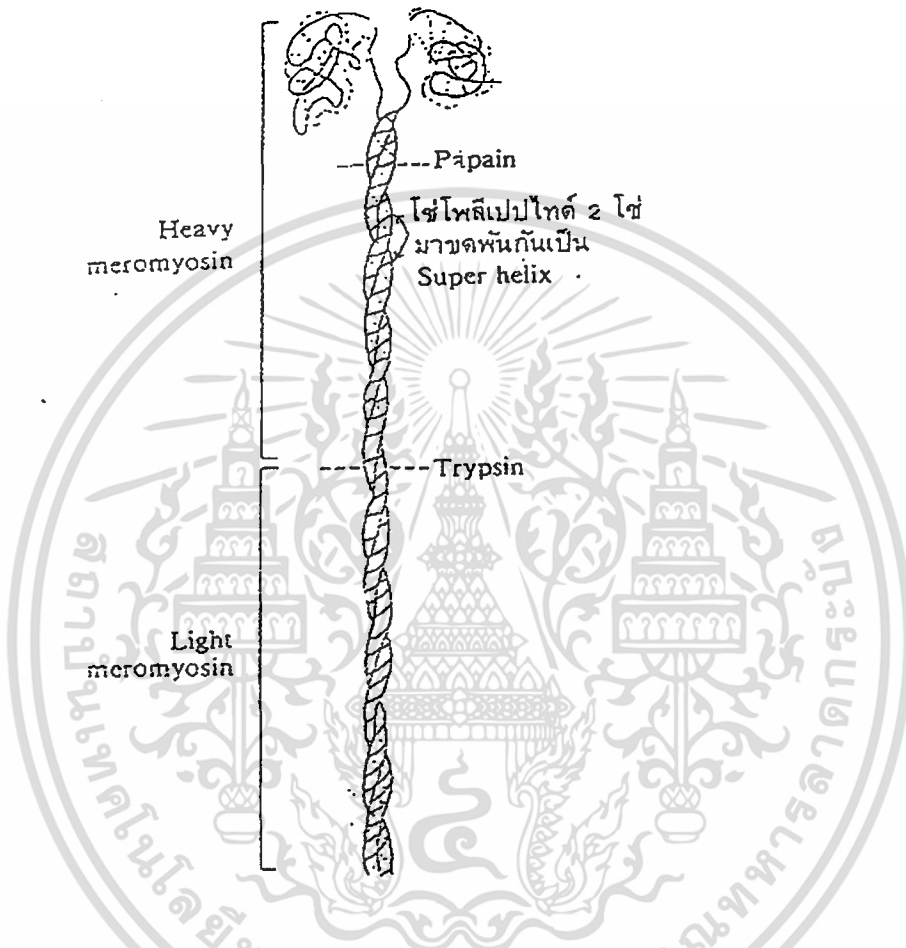
3) แอกโตไมโอซิน เมื่อผสมแอกตินและไมโอซินที่บริสุทธิ์ในหลอดทดลองจะเกิดสารเชิงซ้อนแอกโตไมโอซิน ลักษณะของแอกโตไมโอซินจะข้นมากแม้ว่าแอกตินจะไม่มีแอกติวิตีของเอนไซม์แต่มันสามารถเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของ ATPase ของไมโอซินในสารเชิงซ้อนแอกโตไมโอซิน แอกติวิตีของแอกตินที่บริสุทธิ์จะถูกกระตุ้นโดย Ca^{2+} แต่ยับยั้งโดย Mg^{2+} การเกิด cross bridge ระหว่างแอกติน และไมโอซินมีหมู่ SH เกี่ยวข้องอยู่ด้วย สารเชิงซ้อนแอกโตไมโอซินในสภาวะที่เหมาะสม สามารถหดตัวได้และสามารถแยกเป็นแอกตินและไมโอซิน เมื่อมี Mg^{2+} และ ATPase

4) โทรโปไมโอซิน เป็น dynamic protein มีประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนไมโอไฟบริลประกอบด้วย 2 หน่วยย่อย คือ α -โทรโปไมโอซิน มีน้ำหนักโมเลกุล 34,000 คาลตัน และ β -โทรโปไมโอซิน มีน้ำหนักโมเลกุล 36,000 คาลตัน ทั้ง α - และ β - โทรโปไมโอซิน สามารถรวมตัวกันได้เป็น β/β , β/α , α/α โดย α/α (homodimer) มีกรดอะมิโนที่เป็นกรดและเบสเป็นส่วนประกอบจำนวนมากและมีปริมาณโพสลิติว ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติเป็นสั่นโย ในแอกตินฟิลาเมนต์จะมีเส้น โทรโปไมโอซิน พันไปตามคิวนอกของสายโซ่คู่ที่ขดเป็นเกลียวของเอฟ – แอกติน ความยาว 1 โมเลกุลของ โทรโปไมโอซิน เท่ากับ จี – แอกติน 7 โมเลกุล ในแอกตินฟิลาเมนต์ α/α พบมากในเนื้อขาวของกระต่าย ส่วน β/α (hetreodimer) พบมากในเนื้อแดงของกระต่าย (Xing , 1994)

5) โทรโปนิน มีอยู่ประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนไมโอไฟบริล เป็น โปรตีนชนิดทรงกลม มีปริมาณโพสลิติวค่อนข้างสูง ประกอบด้วย 3 หน่วยย่อย คือ โทรโปนิน – C มีน้ำหนักโมเลกุล 18,000 คาลตัน โทรโปนิน – I มีน้ำหนักโมเลกุล 23,000 คาลตัน และ โทรโปนิน – T มีน้ำหนักโมเลกุล 37,000 คาลตัน เช่นเดียวกับ โทรโปไมโอซิน คือวางตัวอยู่ตามร่องของสายโซ่คู่เอฟ – แอกติน และคร่อมบนเส้น โทรโปไมโอซิน หรืออาจอยู่ใกล้ส่วนปลายของโมเลกุลของ โทรโปไมโอซิน ซึ่ง โทรโปนิน จะมีอยู่เป็นระยะๆตามความยาวของ แอกตินฟิลาเมนต์ โทรโปนิน ซึ่งสามารถจับกับ Ca^{2+} และมีบทบาทสำคัญต่อ การหดตัวของกล้ามเนื้อ สารเชิงซ้อนระหว่าง โทรโปนิน และ โทรโปไมโอซิน รวมกันเรียกว่า “แฟกเตอร์ของการผ่อนคลาย” (relaxing factor) การมีสารเชิงซ้อนนี้จะช่วยห้ามการหดตัวของกล้ามเนื้อ

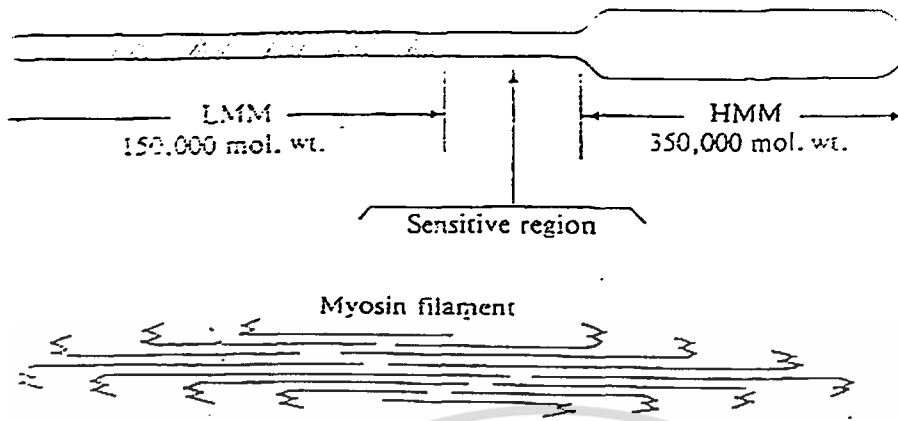
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีโปรตีนชนิดอื่นที่พบในเส้นใยกล้ามเนื้อที่ยังไม่ทราบบทบาทที่ชัดเจน แต่เชื่อว่าคงมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อด้วย



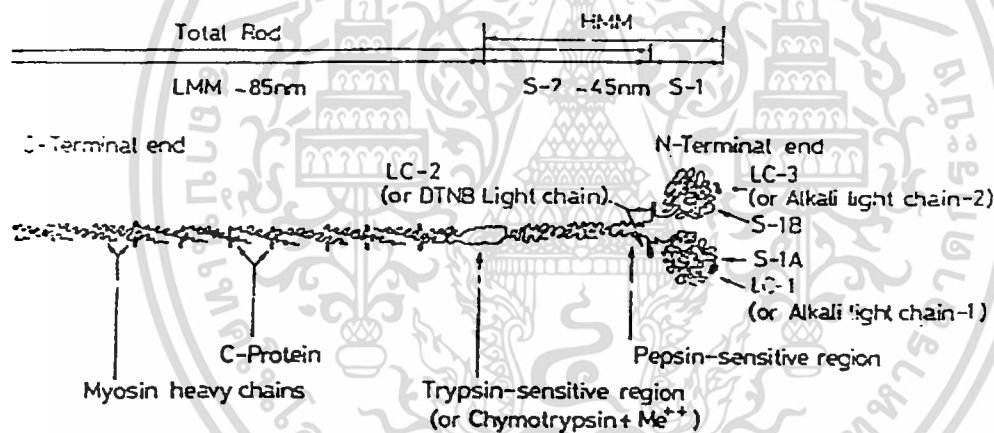
ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของไมโอซิน ส่วนที่เป็นหัวกลมและหางยาวและแสดงจุดที่แตกออกเมื่อถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์

ที่มา : รัชณี ตันพะพานิชกุล (2537)



ภาพที่ 2.2 แสดงโมเลกุลไมโอซินและส่วนฟิลาเมนต์หนา

ที่มา : รัชณี ดัชนีชะพานิชกุล (2537)



ภาพที่ 2.3 แสดง Schematic diagram of the ไมโอซิน molecule showing the length and molecular weight of its various subunits.

ที่มา : Asghar ; Samejima and Yasui. (1985)

6) α -actinin มีอยู่ประมาณ 2-25 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนไมโอไฟบริล มีน้ำหนักโมเลกุล 100,000 ดาลตัน โครงสร้างประกอบด้วย polypeptides 2 สาย เป็นองค์ประกอบหลักของ Z-line ทำหน้าที่ เป็นสารยึด (cementing substance) อยู่ใน Z filament นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าโปรตีนนี้มีองค์ประกอบส่วนหนึ่งเป็นเอนไซม์ phosphocreatine kinase พบมากใน Z-line ที่ติดกับแอกตินฟิลาเมนต์ และสามารถทำให้แอกตินเกิดเป็นเจลได้ซึ่งปรากฏการณ์นี้ขึ้นกับอุณหภูมิและผันกลับได้ถ้ามี โทรโปไมโอซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) β -actinin เป็น globular protein อยู่ที่ปลายของ F-actin เชื่อกันว่า โปรตีนนี้มีบทบาทในการกำหนดความยาวของ thin filament โดยรักษาความยาวของแอกตินฟิลาเมนต์ให้อยู่ประมาณ 1 ไมโครเมตรในแต่ละครั้งของซาร์โคเมอร์ถ้าไม่มี β -actinin แอกตินฟิลาเมนต์ในหลอดทดลองจะมีความยาว 3-4 ไมโครเมตรหรือยาวกว่านี้

8) C-protein พบจำนวนเพียงเล็กน้อยโดยจับรวมอยู่กับไมโอซิน เข้าใจว่ามีบทบาทในการรวมกันของโปรตีนไมโอซิน ไปเป็น thick filament

9) desmin เป็นโปรตีนที่พบองค์ประกอบที่สำคัญของส่วนที่ไม่ละลายของ Z-line โปรตีนนี้พบเป็นพิเศษในกล้ามเนื้อหัวใจ

10) tinin เป็นโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ พบมากถึง 5-8 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด พบใน M-line , Z-line และรอยต่อระหว่างแถบมืดและแถบสว่าง หน้าที่ยังไม่ทราบแน่ชัด

11) M-protein พบเป็นองค์ประกอบของ M-line

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของโปรตีนกล้ามเนื้อที่ละลายได้

คุณสมบัติ	Myofibrillar protein	Sarcoplasmic protein
รูปร่าง	เส้นสาย (fibrous)	ทรงกลม (globular)
น้ำหนักโมเลกุล	สูง 400,000-800,000	ต่ำ 80,000
การละลาย	ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในน้ำเกลือ	ละลายน้ำหรือเกลือเจือจาง
Water-binding	สูงมาก	ต่ำ
ความหนืดในสารละลาย	สูง	ต่ำ
การเกิด emulsion	ดีมาก	เล็กน้อย
การฟอร์มเจล	รูปร่างตาข่าย	ตกตะกอน

ที่มา : Acton ; Ziegler and Burge (1983)

2.1.1.3 สโตรมอล โปรตีน (Stromal protein)

มีประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของร่างกายพบอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน มีคุณสมบัติ คือไม่ละลายในสารละลายใดๆ แต่อาจจะ ละลายได้บ้างในสารละลายเข้มข้นของกรดและเบส ถูกทำให้เสียสภาพ (denature) โดยยูเรียและความร้อน โปรตีนประเภทนี้ได้แก่ อีลาสติน (elastin) เรติคูลิน (reticulin) ซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่เปลี่ยนเป็นเจลาตินเมื่อให้ความร้อน และคอลลาเจน (collagen) ซึ่งมีปริมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนชนิดนี้และมีปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) สูง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลาติน ซึ่งเพิ่มความยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสในช่วงการแปรรูปที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส โดยการวัดปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน collagen และ reticulin มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกันซึ่งช่วยให้เกิด emulsion ในผลิตภัณฑ์เนื้อ collagen และ reticulin จะถูกสกัดออกมาด้วยเกลือที่เติมลงไป ในเนื้อ แล้วจึงไปเคลือบเม็ดไขมัน ซึ่งทำให้เกิด emulsion ได้แต่เป็น emulsion ที่มีความคงตัวต่ำมาก เมื่อให้ความร้อน emulsion จาก collagen และ reticulin จะถูก gelatinized ทำให้ไขมันแยกตัวออกมา นับเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดมันเยิ้มออกมาจากไส้กรอก สำหรับ elastin นั้นเป็น โปรตีนที่ unreactive จึงไม่ถูกสกัดออกมาและมีผลน้อยมากกับการผลิตไส้กรอกและไม่มีส่วนช่วยในการเกิด emulsion ในไส้กรอก

2.1.2 ไขมัน

มีอยู่ประมาณ 12-20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักของสัตว์ที่มีชีวิต โดยกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆของร่างกาย สัตว์ต่างชนิดกันมีจำนวนไขมันไม่เท่ากันและมีความแตกต่างในชนิดของกรดไขมัน เช่น ไขมันของโค กระบือ จะมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าไขมันสุกร

2.1.3 คาร์โบไฮเดรต

มีเพียงเล็กน้อย ได้แก่ เม็ด ไกลโคเจนและไกลโคโปรตีน ปริมาณของไกลโคเจนในสัตว์ก่อนฆ่า มีความสำคัญต่อคุณภาพของเนื้อและอายุการเก็บรักษาเนื้อ

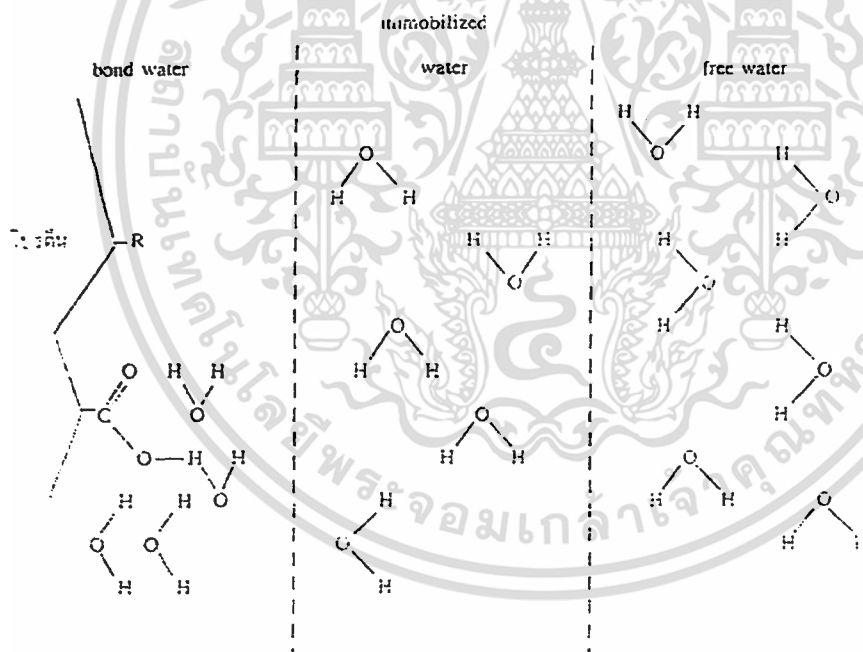
2.1.4 น้ำ

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อสัตว์ พบว่าเนื้อสัตว์จะมีน้ำอยู่ประมาณ 50- 75 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสัตว์ อายุและชนิดของกล้ามเนื้อ ปริมาณน้ำมีความสัมพันธ์กับความชุ่มน้ำ ความนุ่มและรสชาติของเนื้อนั้นๆ และมีผลต่อคุณภาพเนื้อในระหว่างการเก็บรักษาไม่ว่าจะเป็นลักษณะการแช่เย็น การแช่แข็งหรือการทำแห้ง ปริมาณของน้ำในเนื้อจะเป็นสัดส่วนกลับกับปริมาณไขมันเสมอ นักวิทยาศาสตร์รายงานว่าในเนื้อสดปริมาณน้ำในเนื้อ 70 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในไมโอไฟบริล 20 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในซาร์โคพลาสซึมและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน 10 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะของน้ำในเนื้อ มี 3 แบบคือ

2.1.4.1 **Bound water** (น้ำที่ถูกตรึง) คือ น้ำซึ่งเกาะแน่นอยู่กับโปรตีนโมเลกุลโดยเกาะอยู่กับส่วนที่มีประจุและกลุ่มที่มีขั้ว (polar group) ของโปรตีน ในลักษณะที่เรียงกันเป็นชั้นเดียว (Monolayer) และมีบางส่วนจับกับกลุ่มไฮโดรฟิลิก เรียงต่อกันออกมาเป็นชั้นๆ มีประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ น้ำส่วนนี้ถูกขับออกมาได้ยากมาก แม้จะที่แรงภายนอกมากกระทำก็ตาม

2.1.4.2 **Immobilized water** (น้ำที่ถูกจำกัดการเคลื่อนที่) คือ น้ำที่ถูกกักอยู่ระหว่างชั้นของโปรตีน เป็นน้ำส่วนที่ถูกตรึงด้วยประจุไฟฟ้าของโมเลกุลของโปรตีน กล่าวคือ น้ำส่วนนี้อยู่ห่างจากประจุไฟฟ้าบนโมเลกุลของโปรตีนออกมามากกว่าน้ำส่วนแรก ดังนั้นน้ำส่วนนี้จึงถูกดึงดูดด้วยประจุไฟฟ้าของโปรตีนด้วยแรงที่อ่อนกว่าน้ำส่วนที่ถูกตรึง น้ำส่วนนี้จะถูกขับออกจากกล้ามเนื้อได้ง่ายกว่าส่วนแรกแต่ละถูกขับออกมาได้มากหนือน้อยขึ้นกับแรงภายนอกที่มากกระทำต่อกล้ามเนื้อ และสถานภาพของโปรตีนที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและกายภาพของกล้ามเนื้อภายหลังจากสัตว์ตายแล้ว



ภาพที่ 2.4 ลักษณะการเกาะจับของน้ำภายในกล้ามเนื้อในรูปแบบต่างๆ

ที่มา : Forrest ; Aberte; Hedrick ; Judge and Merke. (1975)

2.1.4.3 **Free water** (น้ำที่เป็นอิสระ) คือน้ำที่อยู่ในลักษณะที่เป็นของเหลว กล่าวคือไหลได้อย่างอิสระภายในเนื้อเยื่อสัตว์ น้ำในซาร์โคพลาสซึมหรือน้ำระหว่างชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน น้ำพวกนี้คือ ส่วนที่แยกหรือระเหยได้ง่าย น้ำส่วนนี้เป็นส่วนที่อยู่ไกลที่สุดจากประจุไฟฟ้าบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลของโปรตีน ดังนั้นจึงถูกดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนมาก ที่ยังคงอยู่ภายในเนื้อได้ก็เพราะแฝงอยู่ตามรูพรุนในก้อนเนื้อบ้าง ถูกยึดอยู่ด้วยแรงตึงผิวบ้าง น้ำส่วนนี้จะถูกขับออกจากกล้ามเนื้อง่ายที่สุด

2.1.5 เกลือแร่และวิตามิน

แร่ธาตุในเนื้อที่สำคัญ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โพแทสเซียม โซเดียม และแร่ธาตุอื่นๆ อีกในปริมาณเล็กน้อย แสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ (มิลลิกรัม/100กรัม)

	Na	K	Ca	Mg	P(P ₂ O ₅)	Cl
เนื้อสุกร	60	400	10	30	200	50
เนื้อวัว	40	400	10	20	200	50
เนื้อไก่	80	350	10	40	200	85
เนื้อแกะ	80	400	10	-	180	-

ที่มา : Niinivaara and Antila (1972)

เนื้อสัตว์มีวิตามินเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก แต่เนื้อสัตว์เป็นแหล่งที่ให้วิตามินบีที่สำคัญหลายชนิดโดยเฉพาะ ไทอามิน ไนอาซิน และไรโบฟลาวิน ในสุกรพบว่าวิตามินบีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและเนื้อไก่มีปริมาณไนอะซินอยู่สูง ดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.2 คุณสมบัติในการใช้ประโยชน์ของโปรตีน

ผู้บริโภคชั้นขอบอาหาร โดยพิจารณาจากลักษณะปรากฏ สี รสชาติและเนื้อสัมผัส ซึ่งโปรตีนสามารถทำให้เกิดคุณสมบัติเหล่านี้ได้ เช่น การเซตตัวเมื่อได้รับความร้อนของไข่ขาว การเกิดอิมัลชันของโปรตีนเนื้อสัตว์ เป็นต้น โปรตีนให้คุณค่าทางโภชนาการและมีคุณสมบัติต่างๆ ที่มีบทบาทในกระบวนการผลิต การแปรรูปอาหารและในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้โปรตีนยังเป็นสารที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นๆ ดังนั้นการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติการใช้ประโยชน์หรือคุณสมบัติทางหน้าที่ (functional properties) ของผลิตภัณฑ์โปรตีนนั้น อาหารแต่ละชนิดต้องการโปรตีนที่มีคุณสมบัติการใช้ประโยชน์ต่างกัน เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต้องการคุณสมบัติการละลาย ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ส่วนใหญ่ต้องการคุณสมบัติที่ช่วยทำให้เกิดการยึดหยุ่น ความสามารถในการจับน้ำและน้ำมัน คุณสมบัติในการเป็นอิมัลชัน และคุณสมบัติในการเกิดเจล ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมี และ โครงสร้างของโปรตีน เช่น ขนาด รูปร่าง กรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบ ลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโน ประจุสุทธิ เป็นต้น โปรตีนที่เป็นทรงกลมที่พบมากในโปรตีนในอาหารหลายๆชนิดมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการมีส่วนที่ชอบและไม่ชอบน้ำจะเป็นตัวกำหนดหน้าที่การใช้ประโยชน์ของโปรตีน เช่น เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความแข็งแรงของอออน (ionic strength) การเกิดพันธะกับส่วนประกอบอื่นๆ ปริมาณเกลือ ปริมาณฟอสเฟตและอุณหภูมิที่ใช้

ตารางที่ 2.3 ปริมาณวิตามินที่สำคัญในเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ (กรัม/100กรัม)

ชนิดของวิตามิน	เนื้อสุกร	เนื้อวัว	เนื้อไก่	เนื้อแกะ
A	20	20	80	10
2B1	800	200	200	200
B2	200	200	200	200
Niacin	4500	4500	7000	5000
B6	500	400	500	300
Pantothenic acid	1000	1000	900	600
Folic acid	7	10	30	9
B12	1	20	0.5	2.5
C	2000	1500	5000	1000
D	1	-	-	-

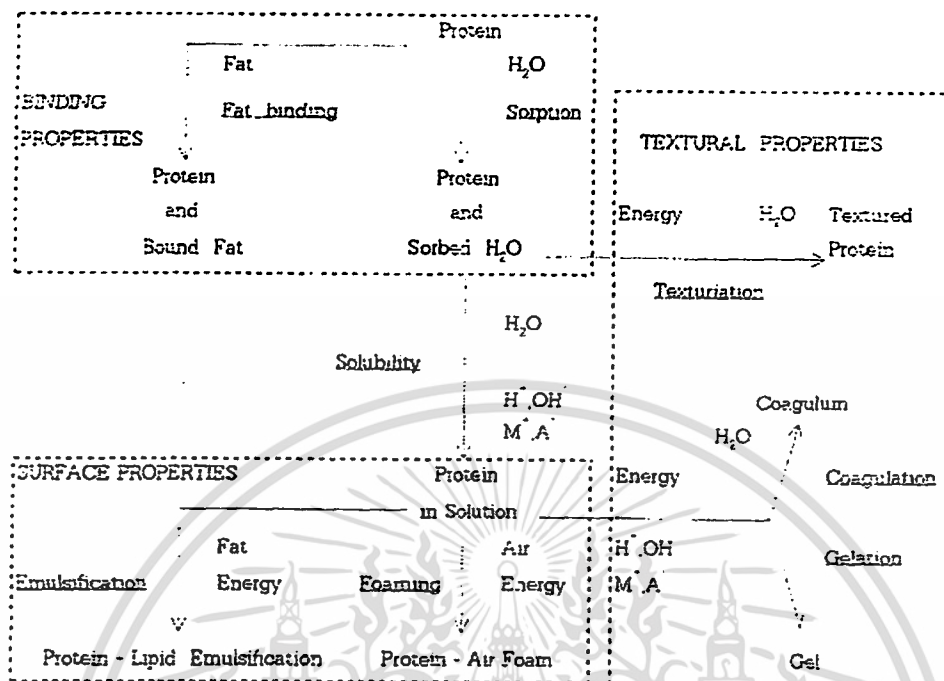
ที่มา : Niinivaara and Antila (1972)

หน้าที่ของโปรตีนสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

1. คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับผิวหน้าของโปรตีน (surface – related properties)
2. คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับขนาดและรูปร่างของ โปรตีน (hydrodynamic properties)

คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้โปรตีนทำหน้าที่ในอาหารได้แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของการใช้ประโยชน์ของโปรตีน
ที่มา : Pomeranz (1958)

ตารางที่ 2.4 Functional properties of food proteins.

Surface – related properties	Hydrodynamic properties
Solubility	Viscosity
Wetability	Thickening
Dispersibility	Gelation
Foaming	Texturization
Emulsification	
Fat and Flavor binding	

ที่มา : Damodaran (1994)

ผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบในปริมาณมากมักจะต้องการคุณสมบัติการใช้ประโยชน์ของโปรตีนซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอาจต้องการเพียงคุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ของโปรตีนเพียงคุณสมบัติเดียวหรือมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดง Functional roles of food protein in food systems.

Function	Mechanism	Food system	Protein source
1. Solubility	Hydrophilicity	Beverages	Whey proteins
2. Viscosity	Water binding, Hydrodynamic, size ,shape	Soups, gravies, salad dressing	Whey protein, egg proteins.
3. Water binding	H-bonding, ion, hydration	Meat sausages, cake, bread	Muscle protein, egg proteins
4. Galation	Water entrapment and immobilization, network	Meats, gel, cakes, bakeries, cheese	Muscle protein, egg and milk proteins
5. Cohesion / Adhesion	Hydrophobic, ionic and H-bonding	Meats, sausages, pasta, baked goods	Muscle protein, egg proteins, Whey proteins
6. Elasticity	Hydrophobic bonding, disulfide. Cross-links	Meat, bakery	Muscle proteins
7. Emulsification	Adsorption at interfaces film formation	Sausages, bologna, soup, cakes, dressing	Muscle protein, egg proteins, milk proteins
8. Foaming	Interfacial adsorption, film formation	Whipped topping, ice cream, cakes, dressing	egg proteins, milk proteins
9. Fat and flavor binding	Hydrophobic bonding, entrapment	Simulated meats, bakery, doughnuts	Milk protein, egg proteins

ที่มา : Damodaran (1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนในเนื้อสัตว์ในผลิตภัณฑ์อาหารให้คุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ต่างๆ ดังนี้

2.2.1 การละลาย (Solubility)

การละลายของ โปรตีนเป็นสภาวะของความสมดุล ระหว่างพันธะโปรตีน กับโปรตีนและโปรตีนกับสารละลาย ซึ่งเกิดปฏิกิริยาของelectrostatic และ hydrophobic ของโมเลกุลโปรตีน การละลายของโปรตีนเป็นการละลายแบบ colloidal ทำให้เกิดการกระเจิงแสงได้ ซึ่งโปรตีนอาจจะละลายได้ทั้งหมดหรือละลายบางส่วน หรือไม่ละลายเลยก็เป็นได้ การละลายเป็นคุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ที่สำคัญของโปรตีนเนื่องจากการใช้ในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการแยกโปรตีน และยังเป็นคุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงส่วนผสมของโปรตีนที่ใช้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นดัชนีในการบ่งชี้ถึงความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น ความสามารถในการจับน้ำ การเกิดฟอง การเกิดอิมัลชันและการเกิดเจล

2.2.2 การจับกับน้ำมันและไขมัน (Oil and fat binding properties)

ความสำคัญของ คุณสมบัติการจับกับไขมัน ขึ้นกับชนิดของอาหาร เช่น อิมัลชัน ไข่กรอก การจับกับไขมันโดย ส่วนประกอบอื่นๆ ในอาหาร เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะมีผล ต่อเนื้อสัมผัส และคุณ- ภาพด้านอื่นๆของผลิตภัณฑ์ การจับกับไขมันของโปรตีนขึ้นกับ ชนิดของโปรตีน สภาวะการแปรรูป ส่วนประกอบของส่วนผสม ขนาดชิ้นเนื้อ อุณหภูมิ โดยการที่โปรตีนสามารถจับกับไขมันได้คือ ใช้ส่วนที่ไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ

ในผลิตภัณฑ์ อิมัลชัน เมื่อก่อนไขมันจะถูกล้อมรอบ ด้วยโปรตีน แต่การจับกับไขมัน ไม่ใช่แค่โปรตีนมีการล้อมรอบเท่านั้นแต่ยังเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีด้วย โปรตีนที่ไม่ละลายและมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สูงสามารถจับกับน้ำมันได้สูงซึ่งเมื่อมีการจับกันแล้วยากที่จะสกัดได้ด้วยสารสกัด

2.2.3 การเกิดอิมัลชัน (Emulsification)

อิมัลชันประกอบด้วยของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งซึ่งรวมตัวกันไม่ได้ของเหลวที่กระจายตัวเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นจุดเล็กๆ น้ำมันและไขมัน ไม่เอกละเอียดเป็นเอกละเอียดที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถรวมตัวกับน้ำได้จึงสามารถทำให้เกิดอิมัลชัน การทำให้อิมัลชันคงตัวต้องมีสารตัวที่สามเป็นตัวเชื่อม เรียกสารตัวนี้ว่า emulsifying agent หรือ emulsifier หรือ surface active agent โมเลกุลของ emulsifying agent ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ hydrophilic portion (water loving) และ lipophilic portion (fat loving)

การเกิดอิมัลชันเป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตอาหารต่างๆไป ขนาดของหยดไขมันมีได้ตั้งแต่ 0.2-50 ไมโครเมตร อิมัลชันเป็นส่วนผสมของส่วนประกอบหลายๆอย่างของเม็ดไขมันอาหารที่เป็นอิมัลชันมี 2 ประเภท คือ O/W (oil in water) เป็นลักษณะครีมและ W/O (water in oil) เป็นลักษณะไข ความสามารถของโปรตีนในการเป็นอิมัลชัน คือ โปรตีนสามารถทำให้เกิดเป็นเนื้อเดียวกันและคงความเป็นเนื้อเดียวกันได้ การเกิดอิมัลชันคือโปรตีนจับตัวกับไขมันและคาร์โบไฮเดรตและสามารถคงตัวอยู่ได้

อาหารที่มีความต้องการคุณสมบัตินี้ของโปรตีน เช่น ผลิตภัณฑ์นม ซึ่งต้องการความเป็นเนื้อเดียวกันของสี ความรู้สึกเมื่อสัมผัสในปาก (mouth feel) รสชาติและการละลาย ด้วยผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีการลดขนาดและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อื่นๆ ต้องการเรื่องความคงตัวของอิมัลชันคือ การที่ไขมันไม่มีการรวมตัวกันเมื่อได้รับความร้อน

2.2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity , WHC)

Water holding capacity (WHC) ในอาหารคือความสามารถในการเก็บรักษาน้ำไว้โดยน้ำที่เก็บรักษาไว้ได้เป็นน้ำที่มีอยู่แล้วในวัตถุดิบและน้ำที่เติมในระหว่างการผลิตโดยจะเก็บไว้ได้เมื่อมีแรงกระทำ เช่น แรงกด แรงเหวี่ยง หรือการให้ความร้อน WHC เป็นสมบัติทางกายภาพและสามารถป้องกันไม่ให้น้ำออกมาจากโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนได้

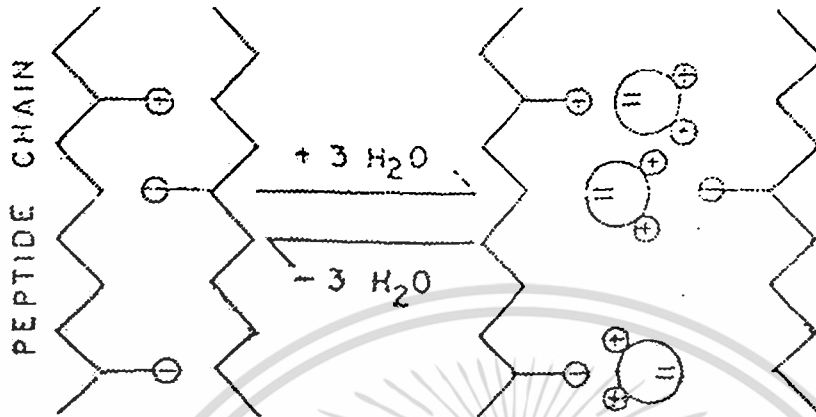
ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนของเนื้อสัตว์พบว่าโปรตีนมีเพียง 18-20 เปอร์เซ็นต์ แต่สามารถทำให้น้ำในเนื้อส่วนที่เหลืออีก 70-75 เปอร์เซ็นต์ มายึดเกาะอยู่ได้แล้วยังมีความสามารถในการอุ้มน้ำที่เติมจากภายนอกเข้ามาไว้ในตัวมันได้อีกในกระบวนการผลิต เช่น ผลิตภัณฑ์อิมัลชัน หรือการผลิตลูก-ชิ้นและหมูยอ โดยมีการเติมน้ำลงไปอีกถึง 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเนื้อที่ใช้

เนื้อสัตว์ที่มีคุณสมบัติของการอุ้มน้ำที่ไม่ดีจะมีการสูญเสีย น้ำ เช่น การเก็บซากในห้องเย็น ถ้าโปรตีนในเนื้ออุ้มน้ำไว้ไม่ดีจะมีการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อและเมื่อมาทำให้สุกพบว่าปริมาณน้ำที่สูญหายไปในช่วงกระบวนการผลิตสูง และเนื้อค่อข้างแห้งกระด้างไม่ชวนบริโภค ในผลิต

พันธะที่มีลักษณะจะทำให้เกิดการแยกตัวของไขมัน น้ำและโปรตีนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำและมีลักษณะอ่อนนุ่ม

โปรตีนแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการยึด (binding) น้ำได้แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ degree of hydration ของโปรตีนเอง ซึ่งเกิดจาก hydration ของ polar side chains หรือ hydration bonding ซึ่ง H^+ (slightly positive hydrogen) จะถูกประจุลบของออกซิเจนและในโตรเจนยึดจึงทำให้โมเลกุลของน้ำติดอยู่ระหว่าง folds หรือ coils และที่ผิวของโปรตีนได้ นอกจากนี้ยังเกิดจากอิออนที่ผิวของโปรตีนซึ่งยึดกับน้ำได้โดย electrostatiction และอาจเกิดการรวมตัวกันเป็น ice berg ขึ้นรอบๆ hydrophobic group โดยทั่วไปโปรตีน 1 กรัมจะยึดกับน้ำได้ประมาณ 0.2-0.5 กรัม degree of water binding ของเนื้อขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การให้ความร้อน การแช่แข็ง การบดสับ การแตกสลายตัวของโปรตีน โดยการย่อยสลาย ซึ่งเกิดจากการใช้ความร้อนหรือเอนไซม์จากธรรมชาติหรือจากเชื้อจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลง pH โดยการเติมกรดหรือด่าง ซึ่ง hydration จะต่ำที่สุดที่ pH เท่ากับ pI ของโปรตีน การเติมเกลือและ สารประกอบฟอสเฟต การเกิด ionization ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่ม-ลด หรือ การเปลี่ยนแปลงอิออน การเคลื่อนย้ายอิออนนี้เองมีผลทำให้เกิด salt formation ทำให้โปรตีนถูก ionized เพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิด hydrogen bonding ซึ่งสามารถยึด โมเลกุลของน้ำ (holding water molecules) ไว้ได้ นอกจากนี้การที่กล้ามเนื้อเกิดการเกร็ง (rigor mortis) มีผลทำให้ pH ของเนื้อสัตว์ที่ได้รับการเลี้ยงดูอย่างดีลดลงถึง 5.5 ซึ่งใกล้เคียงกับ pI ของ แอคโตไมโอซินเป็นผลทำให้ hydration ของเนื้อลดลงจะเห็นได้จากการคัมเนื้อหมูระหว่างการเกิด rigor mortis ทำให้เนื้อสูญเสียน้ำออกมามาก แต่เมื่อ rigor mortis ผ่านพ้นไป pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โปรตีน จะมี negative ions มากกว่า internal zwitterions จึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของอิออนได้อีก ทำให้มีผลต่อ hydration การเกาะตัวของน้ำและโปรตีนในกล้ามเนื้อ โดยส่วนใหญ่แล้วพบเกาะอยู่กับกลุ่ม structural protein ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ พบเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำจะเกาะติดกับกลุ่ม globular protein ส่วนที่เหลือประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ นั้นน้ำจะเกาะอยู่กับกลุ่ม water soluble nonprotein

การที่โปรตีนของกล้ามเนื้อสามารถจะดูดจับกับน้ำได้ก็เป็นเพราะคุณสมบัติความมีชีวิตของ R group จากภาพที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึง การเกาะกันระหว่างโมเลกุลของน้ำ และกลุ่ม R ของกรดอะมิโนบนเปปไทด์ของโปรตีนโดยจะหันขั้วไฟฟ้าที่มีประจุต่างกันเข้าหากัน



ภาพที่ 2.6 การเกาะกันระหว่างขั้วประจุที่ต่างกันของโมเลกุลโปรตีนและโมเลกุลของน้ำ
ที่มา : Hamm (1975)

โดยปกติ น้ำถูกกักในช่องว่างเมทริกซ์ ในกรณีที่โครงสร้างเมทริกซ์ไม่มีเส้นใยโปรตีนบาง (thin filament) จะเกิดการสูญเสียโครงสร้าง โดยเส้นใยโปรตีนหนา (thick filament) จะรวมตัวกัน นอกจากนี้การกำจัดโทรโปไมโอซิน หรือโทรโปไมโอซินก่อนให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างของโปรตีนมีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแข็ง ปริมาณโทรโปไมโอซิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีการจับกับน้ำซูริมี มีปริมาณตั้งแต่ 1-6 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด ซูริมีที่ปราศจาก โทรโปไมโอซินจะมีปริมาณน้ำเพียง 16 กรัม / กรัมของโปรตีน ในขณะที่ปริมาณสูงสุดเท่ากับ 60 กรัม / กรัมของโปรตีน ดังนั้นถ้าขาด โทรโปไมโอซิน ซูริมีจะมีลักษณะเปราะไม่เหนียว (Lanier, 1986)

2.2.5 การเกิดเจล (Gelation)

คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทางด้านเนื้อสัตว์ มักจะกล่าวถึงการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากการเกิดเจลส่งผลให้เกิดความเหนียว ความยืดหยุ่นและความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์

กลไกการเกิดเจลเริ่มจากโปรตีนเกิดการคลายตัว (protein unfolding) เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส เช่นเมื่อทำการปั่นผสมเนื้อสุกรบดกับเกลือในเครื่องผสม (mixer) จะส่งผลให้โปรตีนเกิดการคลายตัว หลังจากนั้นโปรตีนจะมาจับเรียงตัวกันใหม่ระหว่างโปรตีนกับโปรตีน เกิดการสานตัวเป็นร่างแหที่มีลักษณะขั้นหนืดแต่ยังไม่คงตัว ลักษณะขั้นหนืดที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นใบเซอร์เขียนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า “sol” ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส และลำดับสุดท้ายของการเกิดเจลคือ โพรตีนจะเกิดเป็นโครงร่างสามมิติ (three – dimention network) ที่มีความอยู่ตัวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศา-เซลเซียส (Xiong and Brekke , 1990) เจลที่ได้จากโพรตีนเนื้อสัตว์ในลักษณะนี้จะไม่สามารถกลับไปเป็นลักษณะเดิมได้อีก (thermo-irreversible gels) เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะแตกต่างจากพวก agar หรือ gelation ที่สามารถกลับไปเป็นลักษณะเกิดได้ (thermo-reversible gels) คือจะหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน

2.3 การเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์

2.3.1 ความหมายของเจล

เจล คือ โพรตีนรวมตัวกันโดยเป็นโพลิเมอร์กับโพลิเมอร์และโพลิเมอร์กับสารละลายที่สมดุลกันฟอร์มตัวเป็นตาข่าย

เจล คือ เป็นการเชื่อมกันระหว่างหน่วยโครงสร้างเพื่อให้เป็นโครงสร้างตาข่ายที่ป้องกันการไหลของของไหล (ณรงค์, 2538) เจลเป็นกระบวนการผลิตพื้นฐานที่เกิดขึ้นในการผลิตอาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์นม เนื้อ ปลา ผลไม้ และขนมอบ เป็นต้น

เจลเมทริกซ์ (Gel metrix) คือ การเชื่อมกัน การรวมกันที่อิมตัวในสารละลายที่เป็นส่วนต่อเนื่อง โพรตีนที่มีมวลโมเลกุลสูงและมีกรดอะมิโนที่มีหมู่ hydrophobic สูงจะให้เจลที่แข็งแรง เพราะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน การเพิ่มหมู่ SH, S-S ระหว่างการเสียสภาพของโพรตีนทำให้โครงสร้างตาข่ายจับกันแข็งแรงขึ้นระหว่างการให้ความร้อนจะทำให้พันธะ SH แยกกันและ S-S เจอกันโดยโพรตีนเกิดการคลายตัว ซึ่งความแข็งแรงของเจลขึ้นกับขนาดและรูปร่างของสายโพลิเปปไทด์มากกว่าส่วนประกอบทางเคมี เช่น ค่าเฉลี่ยของมวลโมเลกุลของกรดอะมิโนจะเท่ากับสแควร์รูทของความแข็งแรงของเจล และน้ำหนักโมเลกุลโพรตีนที่สามารถเกิดเจลได้ต้องมีไม่ต่ำกว่า 23,000 ดาลตัน

การเกิดเจล (gelation) คือ

- ปรากฏการณ์ที่โพรตีนเรียงตัวประสานกันอย่างมีแบบแผนเกิดเป็นโครงสร้งร่างแห 3 มิติโดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหเหล่านั้น (ภาพที่ 1) เจลที่ได้มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกิดเจลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของซูริมิและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์โดยการเกิดเจลที่ดีควรมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นสูง

- การคลายตัวของโปรตีนและมีการจับกันใหม่ที่จุดเฉพาะเพื่อฟอร์มตัวเป็น โครง-ร่างตาข่าย 3 มิติ

- การคลายตัวของโปรตีนเป็นการเปลี่ยนแปลงของ โครงสร้างโปรตีนระดับที่ 2 ซึ่งการคลายตัวอาจมาจากการให้ความร้อน การมีกรด ต่าง ยูเรีย การเกิดโครงร่าง 3 มิติเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนและโปรตีนกับสารละลาย (น้ำ) โมเลกุลเกิดพันธะระหว่างกันจึงเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย

- การเปลี่ยนจากโปรตีนดั้งเดิมไปเป็นโปรตีนเสถียรภาพ ซึ่งทำให้เกิดเป็นพันธะระหว่างโปรตีนกับโปรตีน การเสถียรภาพของโปรตีนไม่ใช่แค่การคลายตัวของสายโปรตีนเท่านั้น แต่ยังเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ ของกรดอะมิโนที่เป็น aromatic ring กรดอะมิโนบางตัว เช่น ทริปโตเฟน สามารถเปลี่ยนจากการมี hydrophobic ปานกลางไปเป็นที่มียื่นมากขึ้นระดับการเสถียรภาพของโปรตีนเป็นสิ่งจำเป็นในการเกิดเจล

2.3.2 ลักษณะการฟอร์มเจล

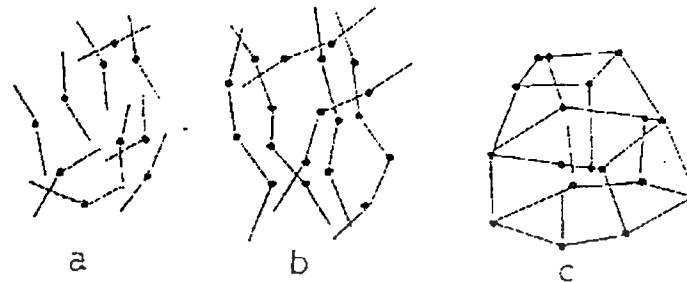
ลักษณะการฟอร์มเจลแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

2.3.2.1 coagulum-type gel เกิดกับโปรตีนที่มี non-polar residue ภายใต้การตกตะกอนอย่างอิสระ โดยเกิด hydrophobic interaction ซึ่งเจลจะมีความยืดหยุ่นและมี WHC ต่ำ และไม่สามารถกลับไปเป็นเหมือนเดิมได้เมื่อได้รับความร้อน (Thermo- irreversible gel) เช่น การเกิดเจลของเนื้อสัตว์

2.3.2.2 translucent gel เกิดกับพวกโปรตีนที่มี non-polar เหลืออยู่น้อย ปกติเจลจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ มีความยืดหยุ่นสูง มีค่า WHC สูง สามารถหลอมละลาย เป็นเหมือนเดิมได้เมื่อได้รับความร้อน (Thermo – irreversible gel) เช่น เจลาติน วุ้น เมื่อโปรตีนใน progel state (ภาพที่2) ถูก ความเย็นเกิดโมเลกุลเสถียรภาพบางส่วน มีการเกิด refold การเกิด refold และการฟอร์มเป็น intramolecular interaction จะลดจำนวนของหมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำหน้าที่ได้สำหรับ intermolecular interaction ทำให้เจลมีความอ่อนและปริมาณโปรตีนที่น้อยที่สุดที่ต้องการฟอร์มตัวเพื่อให้เจลคงอยู่ได้ต้องมีมากกว่าการสูญเสียโปรตีน refold ขณะที่ cooling

โปรตีนที่มีกรดอะมิโนมากกว่า 31.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น non-polar เช่น Valine , Prolein , Leucine , Isoleucine , Phenylalanin และ Tryptophane จะเกิดเจลแบบ coagulum-type gel และโปรตีนที่มีกรดอะมิโน non-polar น้อยกว่า 31.5 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดเจลแบบ translucent gel แต่การที่จะเป็นไปตามทฤษฎีนี้ต้องไม่คำนึงถึงค่าอื่น ๆ เช่น pH , ionic strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

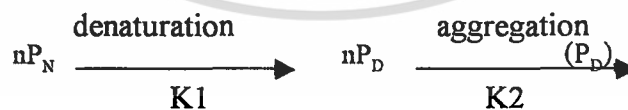


ภาพที่ 2.7 Formation of a gel network structure by polymers. In order to form a three dimensional network structure there must be at least three cross - links in every molecule , as shown in c. In a or b , a network structure is not formed. ● — ; polymer , ● ; cross - link.

ที่มา : Niwa (1992)

2.3.3 กลไกการเกิดเจล

กลไกการเกิดเจล ทั่ว ๆ ไป แสดงดังภาพที่ 2 เมื่อโปรตีนที่อยู่ในสภาวะธรรมชาติ (nP_N) ได้รับความร้อนจะเสียสภาพทางธรรมชาติซึ่งอาจทำให้เกิดการรวมกันตกตะกอนเกิดเป็นเจลชนิด Coagulum - type gel หรือ ถ้าได้รับความเย็นจะทำให้โปรตีนอยู่ในสภาวะที่เป็น progel ได้ ซึ่งจะสามารถเปลี่ยนไปเป็นเจลชนิด Reversible gel ได้ การเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์เป็นผลมาจากการรวมตัวกันของโมเลกุลของโปรตีนที่เสียสภาพ เนื่องจากได้รับความร้อนแล้วเกิดการจัดรูปโครงสร้างตาข่ายที่ต่อเนื่อง กลไกการเกิด เจลของโปรตีนแสดงได้ดังนี้



n = จำนวนโมเลกุลโปรตีน

P = โปรตีน

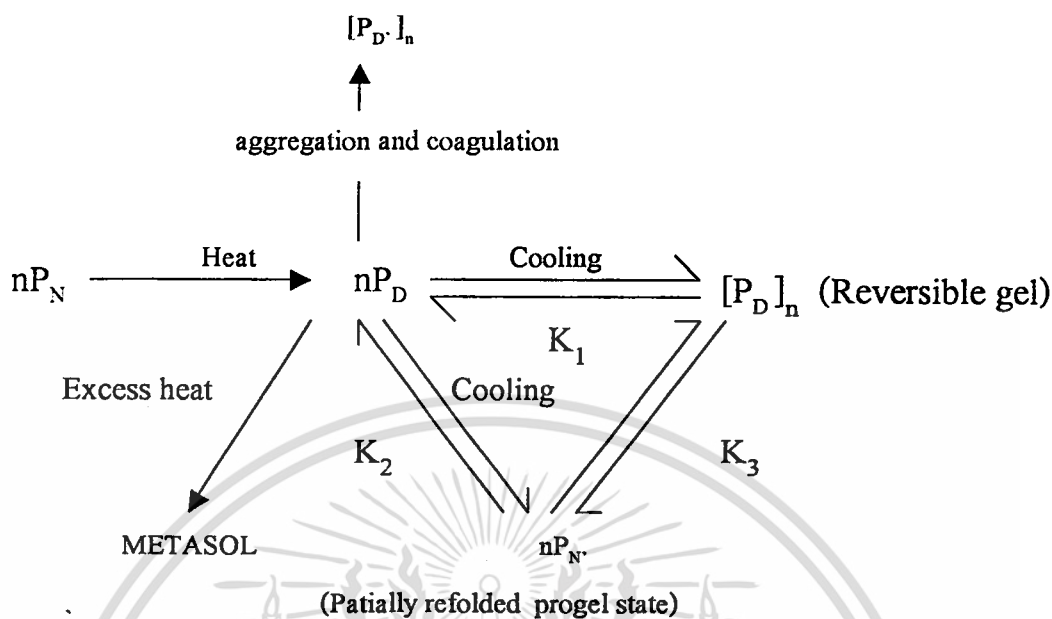
N = native protein

D = denature state

(Coagulum type gel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง



ภาพที่ 2.8 A proposed mechanism for heat-induced gelation of globular proteins. n is the number of protein molecules, P_N , P_D , and $[P_D]_n$ are protein in native, denatured (progel), and gel states, respectively; P_N is protein in partially refolded state, $[P_D]_n$ is coagulum – type gel state; K_1 , K_2 and K_3 are equilibrium constants.

ที่มา : Damodaran (1998) อ้าง โดย Damodaran (1994)

ขั้นแรกของการเกิดเจล คือ เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะเสื่อมสภาพและการเกิดการรวมตัวในขั้นที่ 2 ถ้าอัตราเร็วในการเกิดขั้นที่ 2 (k_2) เร็วกว่าอัตราการเกิดในขั้นที่ 1 (k_1) จะได้เจลที่ขุ่นไม่เป็นระเบียบและเกิด syneresis ได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามถ้า k_2 เกิดช้าจะได้เจลที่ใสกว่าและยืดหยุ่นดีกว่า กลไกการเกิดเจลของโปรตีนเนื้อสัตว์ สามารถสรุปขั้นตอนในการเกิดเจลได้ ดังนี้ (Suzuki, 1981)

2.3.3.1 การเรียงตัว (gel setting) ที่อุณหภูมิ 3-30 องศาเซลเซียส แอกโตไมโอซินจะจับตัวกับน้ำ และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของโปรตีน เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (net work) อย่างหลวมๆ มีการกักน้ำอยู่ภายในร่างแห เมื่อได้รับความร้อน โมเลกุลของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง มีการจับตัวกันระหว่างกรดอะมิโนที่ยื่นออกมาทางด้านข้างของโมเลกุลโปรตีนข้างเคียง โดยในช่วงนี้เป็นการจับกันของพันธะไฮโดรเจนและพันธะไฮโดรโฟบิก เจลที่ได้จะมีลักษณะใสและค่อนข้างยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ผ่านการจัดเรียงตัวก่อนนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น 28-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง หรือที่ 40-45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที จะให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการจัดเรียงตัว (Lee, 1984) การเกิดโครงสร้างเจลของไมโอซิน เริ่มจากการเชื่อมตัวกันของโมเลกุลของไมโอซิน ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ก่อนที่ส่วนหางของไมโอซินจะคลายตัวและเชื่อมกันด้วยพันธะชนิดที่ไม่ใช่โควาเลนต์ (noncovalent interaction) เกิดเป็นโครงสร้างเจล (Samejima et. Al. 1981)

Norsad et. al. (1996) รายงานว่า พันธะชนิดที่ไม่ใช่โควาเลนต์โดยเฉพาะพันธะไฮโดรโฟบิกน่าจะมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลที่อุณหภูมิสูง ในขณะที่การเกิดพันธะโควาเลนต์จะมีบทบาทในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Chan et. al. (1995) พบว่าพันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโพลีเมอร์ของ MHC ระหว่างการคงตัวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 24 ได้แก่ พันธะได-ซัลไฟด์ พันธะชนิดที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ พันธะโควาเลนต์ที่ไม่ใช่ไดซัลไฟด์ สำหรับเจลที่ไม่ได้ผ่านการคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ (ชั่วโมงที่ 0) มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ของพันธะทั้งหมดที่พบในโครงสร้างเจลเป็นพันธะชนิดที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์อย่างไรก็ตามพันธะโควาเลนต์จะมีบทบาทมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการคงตัวพันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างหมู่ซีสเทอีนของโปรตีนเป็นพันธะโควาเลนต์ที่มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงโปรตีนและรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างของเจลที่เกิดขึ้น (Itoh et. al. 1980) โดยเฉพาะในเจลที่ไม่ได้ผ่านการคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ (ชั่วโมงที่ 0) อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหลังจากปล่อยให้คงตัว 24 ชั่วโมงเมื่อเทียบกับพันธะโควาเลนต์ที่ไม่ใช่พันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเพิ่มมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

2.3.3.2 การแตกตัว (distintegration) การให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดการแตกสลายของโครงสร้างเจลบางส่วน ทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง การลดลงนี้เข้าใจว่าเป็นผลมาจากเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอส ที่มีแอกติวิตีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้ MHC ถูกย่อยสลาย

2.3.3.3 การตรึง (elasticity fixation) การให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสเส้นใยโปรตีนเริ่มจับกันมากขึ้นการรวมกลุ่มแบบสุ่ม (random network aggregation) (Montejano et. al. 1984) พันธะที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะเป็นพันธะไฮโดรโฟบิกและพันธะไดซัลไฟด์เป็นส่วนใหญ่ ทำให้โครงสร้างตาข่ายมีความคงตัวมากขึ้น เจลมีลักษณะทึบแสงและยืดหยุ่นเนื่องจากโปรตีนในเนื้อสัตว์มีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบเป็นโครงร่างแหสามมิติโดยเกี่ยวข้องกับพันธะไฮโดรเจนที่มีบทบาทในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำและพันธะไดซัลไฟด์ที่มีบทบาทต่อการเกิดเจลที่อุณหภูมิสูง ทำให้เจลเสถียรมากขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะโมเลกุลของไมโอซินพบว่า MLC ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลต่อการเกิดเจล องค์ประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลของโมเลกุลไมโอซิน คือ MHC แอ็กตินไม่มีคุณสมบัติในการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้าง 3 มิติ แต่อย่างไรก็ตาม Yasui et. al. (1980) พบว่าตัวอย่างเจลที่มีส่วนผสมระหว่าง ไมโอซินและแอ็กตินมีค่าความแข็งแรงมากกว่าตัวอย่างที่มีไมโอซินแต่เพียงอย่างเดียว จึงถือว่าแอ็กตินมีผลส่งเสริม (synergistic effect) ความแข็งแรงของเจล Yasui et. al. (1982) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเกลือโปแตสเซียมคลอไรด์ 0.6 โมลาร์ และที่ pH 6.0 อัตราส่วนโดยมวลสารระหว่างไมโอซินต่อแอ็กตินที่ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุดคือ 2.7 ต่อ 1 ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนต่อน้ำหนัก 15 ต่อ 1 ซึ่ง synergistic effect ของแอ็กตินเกิดจากการรวมตัวระหว่าง F-actin และไมโอซินบางส่วนเกิดเป็นแอ็กโตไมโอซินซึ่งเป็นตัวเชื่อมโยง (crosslinker) กับไมโอซินที่เหลืออยู่ในรูปอิสระ และทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรงสำหรับ ไทรโพรนิน และ ไทรโปไมโอซิน นั้นไม่มีผลต่อการเกิดเจลของแอ็กโตไมโอซินเนื่องจาก ไทรโปไมโอซิน เป็นโปรตีนที่ทนต่อความร้อนได้สูงจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างและไม่เกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย ส่วนแห่งของไมโอซินที่เป็นเกลียวแอลฟา-ฮีลิกซ์ มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดโครงสร้างตาข่าย (Samejima et. al. 1981) ค่าความแข็งแรงของเจลที่เตรียมจากส่วนของเกลียวแอลฟา-ฮีลิกซ์ มีค่าสูงกว่าเจลที่ได้จากเฮส-1 หรือส่วนของ globular head โครงสร้างตัวอย่างที่เตรียมจากเฮส-1 เป็นลักษณะคล้ายการต่อเรียงกันของลูกปัด (bead-like structure) ซึ่งไม่เกิดเป็นร่างแห ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นตะกอนโปรตีน (curd) มากกว่าเป็นเจล ซึ่งแสดงว่าเฮส-1 ไม่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจล ส่วนเจลที่เกิดจากแห่งแอลฟา-ฮีลิกซ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสและโครงสร้างใกล้เคียงกับเจลที่เตรียมจากไมโอซิน ดังนั้นส่วนแห่งของโมเลกุลไมโอซินจึงเป็นบริเวณที่เกิดการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุล (intermolecular) เกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติของเจล

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิด cross-link ใน โครงร่างเจลคือ covalent bond และ non-covalent bond ได้แก่ hydrogen bonding และ hydrophobic interaction จะช่วยให้โครงร่างเจลอยู่ตัวและแข็งแรงในขณะที่พวก covalent bond ได้แก่ disulfide cross-link ช่วยในการเชื่อมกันและการจัดเรียงตัวในโครงร่างเจล

กรดอะมิโนซึ่งเป็นส่วนประกอบของไมโอซิน จำนวนกว่าครึ่งหนึ่งจะเป็นพวกไฮโดรฟิลิก และประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของกรดอะมิโนเหล่านี้เป็นชนิดที่เป็นด่างและชนิดที่เป็นกรด กรดอะมิโนเหล่านี้จะอยู่บริเวณผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีนและสามารถจับตัวกับน้ำ เมื่อโปรตีนแอ็กโตไมโอซินถูกสกัดออกมาอยู่ในสารละลายเกลือ โซเดียมไอออน (Na^+) จะจับกับกรดอะมิโนชนิดที่เป็นกรด (COO^-) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) จับกับกรดอะมิโนที่เป็นด่าง (NH_3^+) ทำให้โปรตีนคลายตัวออกจากกัน (unfolding) เกิดการกระจายตัวออกมาอยู่ในน้ำกลายเป็นสารละลายโปรตีน คือ sol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความเป็นกรดค่าที่เป็นกลาง หมู่คาร์บอกซิลของกรดกลูตามิกและแอสพาร์ติกจะมีประจุลบ ในขณะที่หมู่เอมิโนไลซีนและอาร์จินีนมีประจุบวก ดังนั้นจึงเกิดการเชื่อมติดกันของโมเลกุลเหล่านี้เมื่อมีการนวดผสมกับเกลือ เมื่อมีการเติมเกลือประจุของเกลือจะเกิดการรวมตัวกับน้ำและจะเชื่อมต่อกับพวกที่มีประจุตรงข้ามบริเวณผิวหน้าของโปรตีน

กลไกของกระบวนการเกิดเจลคือ เมื่อระดับของการคลายตัวลดลงจะมีการเชื่อมข้ามมากขึ้นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดระดับการมีพันธะเชื่อมข้ามไม่แตกต่างกันและการเพิ่มความแข็งแรงของเจลระหว่างการทำให้เย็นมีสาเหตุจากการเพิ่มความคงตัวและการที่มี junction สูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดเจลต้องทำให้เกิดเจลสม-คู่ระหว่างอัตราการคลายตัวกับการตกตะกอน การเกิดเจลต้องมีความสมดุลระหว่างแรงดึงดูดและแรงผลัก แรงดึงดูดเกิดโดยหมู่ฟังก์ชันรอบๆ หมู่ที่เกิดการคลายตัวของโปรตีนและแรงผลักกันมาจากประจุที่ผิวโปรตีนที่เกิดการคลายตัวจะตกตะกอนโดยการตกตะกอนมีการเกิดพันธะระหว่างโปรตีนกับโปรตีน

ระหว่างการให้ความร้อนและการเกิดเจลไมโอซินเสียโครงสร้างที่เป็นแอลฟา—ฮีลิกซ์และเกิดพันธะเชื่อมเกิดการรวมตัวกันตกตะกอนโดยการจับกันด้วยพันธะโควาเลนต์และนอนโควาเลนต์ การพอร์มเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติที่เกิดจาก ไมโอซิน และแท่งไมโอซิน โครงรูปจะเปลี่ยนแปลงเป็น helix to coil ในระหว่างการให้ความร้อน

ค่าความแข็งแรงของเจลของไมโอซินเรียงตามลำดับดังนี้ ไมโอซิน filament > ไมโอซิน heavy chain \cong ไมโอซิน monomers > total rod > LMM > S-2 fragment = S-1 fragments สายไมโอซินที่ยาวทำให้เจลที่ได้แข็งแรงมากกว่า monomeric ไมโอซิน เมื่อน้ำเจลที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนคงตัวมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริล เกิดพันธะไดซัลไฟด์ แอลฟา-ฮีลิกซ์จะคลายตัวออกมา เกิดพันธะไฮโดรโอฟิกระหว่างกรดอะมิโนที่อยู่ใกล้กัน โปรตีนเกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างตาข่าย มีการปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำ เจลที่ได้มีความกระด้างและใสมากขึ้น หลังจากผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น โดยทันที พันธะไฮโดรเจนจะเกิดได้ดีขึ้น ทำให้เจลที่ได้มีความแน่น (firmness) และโครงสร้างของแอลฟา—ฮีลิกซ์คืนตัวได้ดีขึ้น ในขณะที่เดียวกันเบต้า-สตรักเจอร์ของโปรตีนถูกสร้างขึ้นมาโดยการรวมตัวของสายโปรตีน ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากการให้ความร้อน น้ำอิสระถูกกักอยู่ในโครงสร้างตาข่าย

โปรตีนซาร์โคพาสมิก เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการตกตะกอนและไปเกาะตามโปรตีนที่ละลายในเกลือทำให้เกิดการขาดขวางการเรียงตัวของ Salt — soluble protein (SSP) ที่ถูกสกัดในขณะที่นวดกับเกลือ SSP นี้มีความสำคัญคือจะประกอบตัวกันทำให้เกิดลักษณะของ sol ซึ่งเมื่อนำไปให้ความร้อน sol จะเปลี่ยนเป็นเจล เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีนเป็นรูปตาข่ายทำให้เกิดผลึก-4กัมมันต์จากเนื้อลดขนาด เช่น ถูกขึ้น หมูขย มีความยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ปฏิกริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำในเจล

ในโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ปริมาณน้ำที่ถูกล้อมรอบไว้ได้ประมาณ 10 กรัม / โปรตีน 1 กรัม เจลที่แข็งแรงมีน้ำ 98 เปอร์เซ็นต์ และมีสารที่ทำให้เกิดเจล 2 เปอร์เซ็นต์ บางกรณีมีน้ำถึง 99 เปอร์เซ็นต์ น้ำจับโดยเกิดพันธะไฮโดรเจน หรือการคงอยู่ของโครงสร้างน้ำ พันธะไฮโดรเจนเป็นพันธะที่อ่อนแอมากเพราะปกติไม่มีพันธะไฮโดรเจนมีทั้งตัวให้และรับอิเล็กตรอนอยู่แล้วน้ำที่อยู่ในเจลมีทั้งที่เกิดพันธะและน้ำที่เป็นอิสระ น้ำส่วนใหญ่ถูกตรึงไว้โดยไม่สามารถบีบออกมาได้ความจุที่เก็บน้ำได้แตกต่างตามชนิดของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แร่ธาตุ ขนาดของอนุภาคโปรตีน pH อุณหภูมิ ionic strength เส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงที่โครงร่างตาข่าย

น้ำอยู่ในโพรงของโครงร่าง โปรตีนโดยกลไกแคปิลลารี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรง 1-100 นาโนเมตรน้ำถูกจับแน่นมากและถูกปลดปล่อยเมื่อเจลหดตัวเมื่อได้รับความร้อนเหนืออุณหภูมิการเกิดเจล ถ้าขนาดโพรง 100-200 นาโนเมตรจะสูญเสียความชื้น 10-50 เปอร์เซ็นต์ พันธะระหว่างน้ำกับโปรตีนอยู่ในช่วง 1-7 โมเลกุล/โปรตีน 1 โมเลกุล

การหดตัวของเจลทำให้น้ำออกจากเจลได้ การให้ความร้อน 95 องศาเซลเซียสทำให้โครงสร้างเป็นสารประกอบใหญ่และมีโพรงขนาดใหญ่มากกว่าการให้ความร้อนที่ 75 องศาเซลเซียส

น้ำอยู่ในเจลได้ดังนี้

- เกิดพันธะทางเคมี เช่น hydration of salts
- น้ำถูกดูดซับที่ส่วนของโมเลกุลที่ชอบน้ำโดยเกิดพันธะไฮโดรเจน
- น้ำถูกดึงดูดส่วนของ ionic โดยโมเลกุลที่มีขั้วของน้ำ
- น้ำอยู่ใน capillary force ระหว่างผิวของโครงร่างที่ไม่ชอบน้ำ หรือโครงร่างตาข่าย
- น้ำอยู่ในโครงร่างตาข่ายที่ยังไม่มีรูปแบบแน่นอนที่เป็นโมเลกุลที่ละลายเกินจุดอิมมิตัว
- น้ำอยู่ในสารละลาย หรือแขวนลอยโดยแรง long range

2.3.5 พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจล

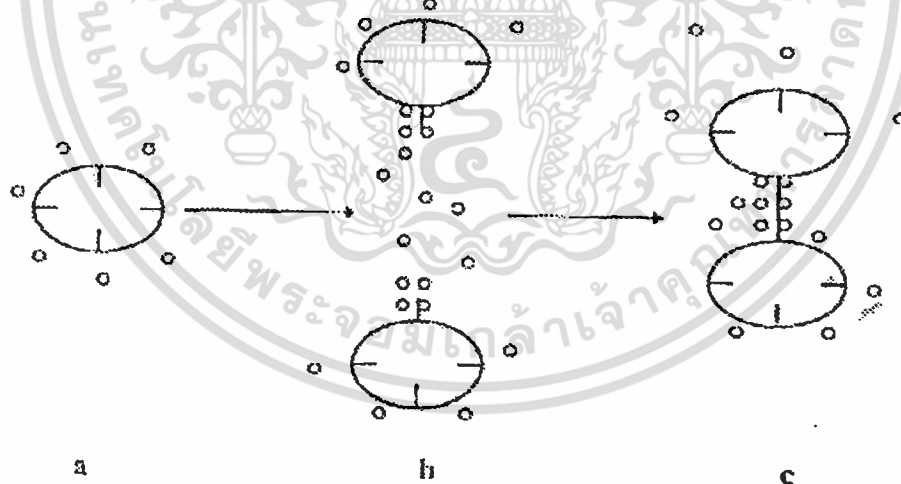
2.3.5.1 พันธะไฮโดรโฟบิก

กรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของไมโอซินที่ไม่ชอบน้ำมีประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เช่น อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน โพรลีน ทรีปโตเฟน และฟีนิลอะลานีน เมื่อกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำเหล่านั้นสัมผัสกับโมเลกุลของน้ำจะเกิดการจับกันโดยพันธะไฮโดรเจนรอบๆ กรดอะมิโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โน (hydrophobic hydration) แต่การจัดเรียงตัวในโมเลกุลดังกล่าวไม่ถาวร ดังนั้นกรดอะมิโนจึงหันด้านที่ไม่ชอบน้ำเข้าไปในโมเลกุลโปรตีนซึ่งมีผลต่อความคงทนของโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีน โมเลกุลจึงจัดเรียงตัวคล้ายกับหยดน้ำมันที่ล้อมรอบด้วยน้ำ เรียกว่าแคลิธีเรธ (clathrate)

เมื่อหมู่ที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีน 2 โมเลกุล สัมผัสน้ำก่อนการให้ความร้อน (a) โมเลกุลของโปรตีนที่แยกจากกันเป็น 2 โมเลกุลที่ล้อมรอบด้วยน้ำ (b) โมเลกุลของโปรตีน 2 โมเลกุลที่เชื่อมต่อกัน (c) ดังแสดงในภาพที่ 3 ดังนั้นพันธะไฮโดรโฟบิกจะเกิดขึ้นเมื่อผ่านการให้ความร้อนกับโปรตีน พันธะชนิดนี้เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติแต่เกิดจากอิทธิพลของน้ำเป็นสำคัญการเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกจะถูกยับยั้งโดยโพลีออล เช่น กลีเซอริน ซูโครส ซอร์บิทอล และกรดอะมิโนบางชนิด เช่น กลูตามิกและไลซีนหรืออาจกล่าวได้ว่าพันธะไฮโดรโฟบิกเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำของโมเลกุลไมโอซิน แรงดึงดูดไฮโดรโฟบิกจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการคลายตัวของกลุ่มอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำจะเกิดได้มากที่อุณหภูมิสูง (Howe et. al. 1994) เมื่อได้รับความร้อน ผิวหน้าของโมเลกุลของโปรตีนจะเปิดออก ทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำและเกิดแรงทำให้โมเลกุลของโปรตีนเคลื่อนที่เข้าหากัน

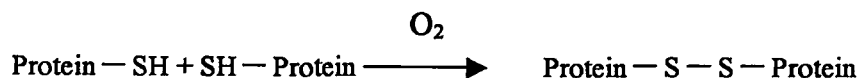


ภาพที่ 2.9 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกของกรดอะมิโน

ที่มา : Lanier et. al. (1998)

2.3.5.2 พันธะไดซัลไฟด์

เป็นพันธะโควาเลนต์ประเภทหนึ่ง การเกิดพันธะนี้เกิดจากการออกซิเดชันของ cysteine 2 โมเลกุลดังสมการ



มีค่าพลังงานพันธะในช่วง 330 — 380 kJ/mol (Cheftel et. al. 1985) ดังนั้นพันธะนี้จึงมีความแข็งแรงมากกว่าแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิกกรดอะมิโนที่สามารถสร้างพันธะประเภทนี้คือกรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลไฮดริล เช่น ซีสเทอีน Samejima et. al. (1981) พบว่า ส่วน globular head ของไมโอซินหรือ เอส-1 เป็นบริเวณที่มีกลุ่มซัลไฮดริลมาก การเชื่อมต่อของ globular head ระหว่างโมเลกุลไมโอซินจึงสันนิษฐานได้ว่าเกิดพันธะไดซัลไฟด์

การเติมสารออกซิแดนซ์จะทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระหว่างทำให้ความร้อนพันธะไดซัลไฟด์ภายในโมเลกุลสามารถเปลี่ยนเป็นพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลเจลจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารออกซิแดนซ์ก่อนกระบวนการให้ความร้อน แต่การเติมสารรีดิวซ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก และซีสเทอีน ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน พันธะไดซัลไฟด์จะเกิดที่อุณหภูมิสูง (80 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า) เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิต่ำ การออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริลเป็นพันธะไดซัลไฟด์จะเริ่มต้นอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส

2.3.5.3 พันธะโควาเลนต์

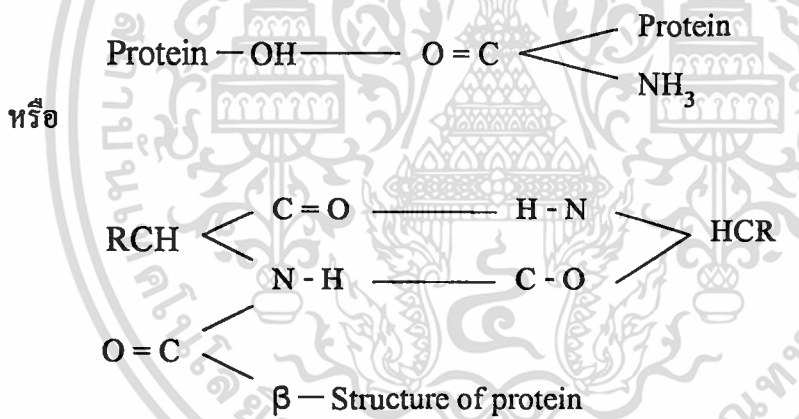
เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มแกมมา — คาร์บอกซีเอไมด์ ของกรดอะมิโนกลูตามีน และกลุ่มเอพซิดอน — อะมิโน ของกรดอะมิโนไลซีนมีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของเจล เนื่องจากพันธะโควาเลนต์มีค่าพลังงานพันธะที่สูง การเพิ่มพันธะชนิดนี้จึงมีผลให้เจลที่ได้มีความแข็งแรง และความยืดหยุ่นสูงการเชื่อมโยงระหว่างกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ transglutaminase นอกจากปริมาณ transglutaminase แล้วการเปิดตัวของโปรตีนไมโอไฟบริล โดยเฉพาะไมโอซินจะต้องคลายตัวออกเพื่อให้กลุ่มแกมมา คาร์บอกซีเอไมด์ของ กรดอะมิโนกลู-ตามีน และกลุ่มเอพซิดอน — อะมิโนของกรดอะมิโนไลซีนออกสู่ภายนอกและเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังนั้นการที่จะทำให้เกิด setting จึงต้องบดผสมเนื้อกับเกลือให้เป็นพอสก่อนนำไปให้อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อการเซ็ทตัว เนื่องจากเกลือสามารถละลายโปรตีนไมโอไฟบริล และทำให้โปรตีนคลายตัวออกในระดับหนึ่ง นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการเซ็ทตัวจะต้องเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไมโอซิน โดยต้องไม่สูงเกินไปจนเกิดการเสียโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างดั้งเดิมหรือการเสียสภาพ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดการเสี้ยวจะแตกต่างกันชนิดของเนื้อสัตว์ ขึ้นอยู่กับความคงตัวของอุณหภูมิของไมโอซิน

2.3.5.4 พันธะไฮโดรเจน

การเชื่อมต่อของพันธะ salt linkage เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและมีขั้วในสายของโปรตีน ซึ่งกรดอะมิโน ที่แสดงความสามารถ ในการเกิดพันธะไฮโดรเจนได้แก่ ไทโรซีน ซีรีน ไฮดรอกซีโพรลีน และทรีโอนีน ซึ่งจะมีหมู่ไฮดรอกซิลและกรดอะมิโนโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีน ซึ่งจะมีหมู่อะมิโน ซึ่งสองกลุ่มนี้จะแสดงตัวเป็นตัวให้และรับโปรตรอน ขณะที่กลูตามิกและแอสพาร์ติกจะมีหมู่คาร์บอนิลซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน มีจำนวนของอะมิโนและหมู่คาร์บอนิลเป็นจำนวนมากในสายโพลีเปปไทด์ ซึ่งการเกิดพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสายโพลีเปปไทด์ดังกล่าว



ภาพที่ 2.10 แสดงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสายโพลีเปปไทด์
ที่มา : Zayas, 1997

เมื่อ R คือกรดอะมิโน ซึ่งแรงดึงดูดของพันธะไฮโดรเจน ได้แก่ แรงซึ่งเกิดจากประจุไฟฟ้าและจะมีค่าน้อยลงเมื่อให้ความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะคงสภาพรูปแบบภายในของโปรตีนซึ่งน้ำแพร่กระจายไปไม่ถึง ซึ่งอธิบายได้ว่าทำไม แอลฟา-ฮีลิก (α - helix) และเบต้า-สตรักเจอร์ (β - structure) ของโปรตีน จึงเสถียรในน้ำ เนื่องจากการศึกษาด้วยอินฟราเรด พบว่า แอลฟา-ฮีลิก จะเกิดการแตกสลายในระหว่างการให้ความร้อนกับซูริมิที่ 80 องศาเซลเซียสแต่ละคืนตัวภายหลังการให้ความร้อน โครงสร้างของเบต้าสตรักเจอร์ของโปรตีนจะถูกสร้างในช่วงนี้ซึ่งจะมีผลต่อค่าความยืดหยุ่นของเจลซูริมิ พันธะไฮโดรเจนจะมีความสำคัญต่อการคงสภาพของน้ำภายในเจล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนโมเลกุลของน้ำที่มีมากเกิดจากพันธะไฮโดรเจนกับกรดอะมิโนที่มีขั้ว ซึ่งมีมากบนผิวหน้าของโมเลกุลเมื่อนำเจลมาทำให้เย็นความแข็งของเจลเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากบทบาทของพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการตรวจวัดคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเจลโดยเฉพาะเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพจำเป็นต้องวิเคราะห์ที่อุณหภูมิกงที่ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิกง

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์

2.4.1 ความแตกต่างของกล้ามเนื้อ

2.4.1.1 ชนิดของของสัตว์

เมื่อนำเนื้อสุกร เนื้อโค เนื้อไก่ เนื้อปลา และเนื้อไก่กวาง มาทดสอบการเกิดเจลที่สภาวะความเป็นกรดต่าง 6.0 ปริมาณเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์ อัตราการให้ความร้อน 0.7 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าเจลที่เตรียมได้จากเนื้อปลามีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นต่ำที่สุด และยังทำให้น้ำหนักสูญเสียเมื่อได้รับความร้อน (cooking loss) มีปริมาณมากที่สุดด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับเจลที่ได้จากเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ ส่วนเจลที่ให้ค่าน้ำหนักสูญเสียเมื่อได้รับความร้อนต่ำที่สุด คือเจลของเนื้อไก่ ส่วนเนื้อหมูและเนื้อวัวให้เจลที่มีค่าความแข็งแรงอยู่ในช่วงกลางๆ (Lan et. al. 1995)

ผลิตภัณฑ์คล้ายซุริมิที่ผลิตจากเนื้อสุกรหรือเนื้อโคจะให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าซุริมิที่ผลิตจากเนื้อปลา และยังให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงกว่าด้วย เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาที เนื่องจากทั้งเนื้อสุกรและเนื้อโคมีปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเกลือสูงกว่า (Park et. al. 1996)

2.4.1.2 ตำแหน่งของกล้ามเนื้อ

กลไกการเกิดเจลโดยการคลายตัวของโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเกลือ (salt-soluble protein) ในเนื้อไก่ส่วนอกและส่วนขาที่เกิดจากการได้รับความร้อนจะมีลักษณะการคลายตัวที่คล้ายคลึงกันแต่การจับเรียงตัวกันใหม่ระหว่างโปรตีนกับโปรตีนจะต่างกัน เมื่อตรวจสอบคุณภาพพบว่า มีความแตกต่างกันระหว่างเจลของเนื้อส่วนอกกับเนื้อส่วนขาในด้านความแข็งแรง และความยืดหยุ่น โดยเจลที่ได้จากเนื้อส่วนอกจะให้ค่าที่ดีกว่า เมื่อเนื้อทั้งสองส่วนอยู่ในระยะ post-rigor (Xiong and Brekke. 1990)

2.4.2 ชนิดของโปรตีน

ชนิดของโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดเจล เชื่อว่าเป็นโปรตีนแอกโตไมโอซิน (Suzuki, 1981) ซึ่งเป็นสภาวะการจับกันตามธรรมชาติของไมโอซินกับแอกตินหรืออาจเป็นไมโอซินกับไมโอซิน Akahane et. al. (1985) ศึกษาถึงบทบาทของโปรตีนที่มีต่อลักษณะการเกิดเจลของเนื้อกระต่ายทดลอง โดยเปรียบเทียบเจลที่ได้จากการผสมไมโอซินกับแอกตินในอัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าตัวอย่างแอกตินล้วนหรือไมโอซินล้วน เกิดเจลที่มีสภาพเป็นของเหลวใสหนืด ไม่สามารถเกิดเป็นรูปทรงได้และเมื่อเทลงบนพื้นราบของเหลวนี้จะเบนราบไปกับพื้นมีลักษณะคล้ายเลนส์ ส่วนตัวอย่างที่ผสมแอกตินและไมโอซินมีลักษณะเป็นโพลีเมอร์ สามารถปั้นเป็นรูปทรงได้ และเมื่อให้ความร้อน (อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) ตัวอย่างไมโอซินล้วนมีการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของเจล ส่วนตัวอย่างแอกตินล้วน ไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของเจล แต่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ส่วนตัวอย่างผสมระหว่างไมโอซินกับแอกตินมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของไมโอซิน จึงสรุปว่า แอกตินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทำให้โพลีเมอร์ ยืดหยุ่นในช่วงก่อนให้ความร้อน และไมโอซินเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นในการเกิดเจลในช่วงให้ความร้อน โดยมีหน้าที่เกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงของเจลและความสามารถในการจับกับน้ำ ผลการทดลองที่ได้มีความคล้ายคลึงกับการรายงานของ Sano et. al. (1989)

2.4.3 ปริมาณของโปรตีน

โปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือเป็นกลุ่มโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลของโปรตีน โดยเฉพาะไมโอซิน โดยเมื่อโปรตีนไมโอไฟบริลละลายในสารละลายเกลือเมื่อให้ความร้อนก็จะเกิดเจลขึ้น โปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเจล (Xiong and Brekke, 1989)

Scott et. al. (1988) พบว่าปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงของเจล แต่ความข้นหนืดของสารละลายโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือจะมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงของเจล Iwata and Okada (1971) พบว่าความสามารถในการเกิดเจลของเนื้อปลา Alaska pollock จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อทำการแช่เยือกแข็งที่ -20 องศาเซลเซียส และ -30 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือยังคงสูงอยู่

2.4.4 การลดขนาดของวัตถุดิบ

Acton (1972) พบว่าการสกัดโปรตีนที่ผิวเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดของชั้นเนื้อลดลง เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิว แต่การทดลองของ Pepper and Schmidt (1975) พบว่าพื้นที่ผิวของของเนื้อที่มากขึ้นเมื่อทำการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นขนาด 9.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับ 25.4 มิลลิเมตร ค่า binding strength และค่า cook yield ที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวของเนื้อที่มาใช้ในการผลิต beer roll

2.4.5 เกลือ

เกลือเป็นส่วนผสมที่จำเป็นในการเกิดเจลของโปรตีนเนื้อสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบหลักของโปรตีนที่ทำให้เกิดเจลคือโปรตีนไมโอไฟบริลซึ่งละลายได้ดีในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.6 โมลาร์ นอกจากนี้เกลือยังทำให้แรงดึงดูดทางประจุระหว่างโมเลกุลของโปรตีนไมโอไฟบริลมีเสถียรภาพลดลง ทำให้โปรตีนแผ่ตัวออกมาบางส่วน เมื่อผสมกับเกลือและน้ำจะได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า “เพส” (paste) หรือ “โซล” (sol) เมื่อนำเพสหรือโซไปให้ความร้อนจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นเจล

การเติมเกลือในเนื้อสัตว์ระหว่างการเตรียมการเพียงเล็กน้อยในช่วง 1-3 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อไม่มีการเติมเกลือ เนื่องจากโปรตีนไมโอไฟบริลสามารถละลายได้มากขึ้นเพราะเกลือจะช่วยเพิ่มแรงผลักระหว่างเส้นใยโปรตีนทำให้เส้นใยเกิดการพองตัวขึ้น นอกจากนี้เกลือยังช่วยทำให้อุณหภูมิที่โปรตีนเกิดการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมลดลงได้ เช่น โปรตีนไมโอซินจะสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 55.5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเติมเกลือในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมจะลดลงเหลือ 51 องศาเซลเซียส หรือกรณีแอกติน อุณหภูมิจะเปลี่ยนจาก 76.8 เป็น 68.3 องศาเซลเซียสเมื่อมีปริมาณเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ การเติมเกลือให้ผลดีกับการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์เท่านั้น ส่วนโปรตีนในถั่วเหลืองพบว่าการเติมเกลือจะทำให้อุณหภูมิที่โปรตีนมีการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมในถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้น และเจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง (Katsuji et. al. 1988)

ผลิตภัณฑ์คล้ายซุริมิที่ผลิตจากเนื้อสุกรและเนื้อโคจะให้เจลที่ดีขึ้นเมื่อมีปริมาณเกลือ 1.5 หรือ 3 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือเป็น 4.5 หรือ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความแข็งแรงของเจลไม่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากโปรตีนเกิดการรวมตัวกันและตกตะกอน (Park et. al. 1996) นอกจากนี้เกลือโซเดียมคลอไรด์แล้วเกลือชนิดอื่นที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสัตว์ ได้แก่ โปตัสเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะการทำสเต็กมากกว่าโซเดียมคลอไรด์ โดยใช้ในปริมาณ 0.5-1.0 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากจะให้สีที่เข้มกว่าซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีทางการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ แต่ข้อเสียของการเติมเกลือจะทำให้หาอายุการเก็บรักษาสั้นลงเนื่องจากจะเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Miller et. Al. 1986) แต่สามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันลงได้โดยการใช้ฟอสเฟตในระหว่างการผสม และนอกจากนั้น ฟอสเฟตยังช่วยทำให้ชิ้นเนื้อมีการเกาะตัวกันมากขึ้น

Lamkey et. al. (1986) ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และฟอสเฟตที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสและสีของสเต็กที่เตรียมจากเนื้อขึ้นรูป (restructure beef) พบว่าปริมาณเกลือ 0.2 เปอร์เซ็นต์ และฟอสเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดน้ำหนักสูญเสียเนื่องจากการแปรรูปได้ และช่วยเพิ่มการจับกันของชิ้นเนื้อได้ดีเท่ากับการใช้ฟอสเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าฟอสเฟตสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้กลิ่นหืนลดลง Pepper and Schmidt (1975) พบว่า beef roll ที่มีการเติมเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์ กับฟอสเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะมีเจดที่แข็งแรงมากกว่ากรณีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว Paterson et. al. (1988) ศึกษาผลของเกลือ (NaCl) และโพโรฟอสเฟต (PP) ที่มีผลต่อการเกิดเจดของเนื้อโคส่วนคอ (Sternomandibularis) โดยใช้ปริมาณเกลือ 0.4, 0.7, และ 1.0 โมลาร์ กับ PP 10 มิลลิโมลาร์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือ โปรตีนไมโอไฟบริลจะถูกสกัดได้มากขึ้น และยังเพิ่มการพองตัวของโปรตีน รวมทั้งค่าความสามารถในการอุ้มน้ำด้วย

Niwa (1984) สันนิษฐานว่า โปรตีนไมโอไฟบริล เช่น แอกโตไมโอซิน แอกติน จะละลายในสารละลายเกลือ และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากโซเดียมและคลอไรด์ไอออนเข้าไปเกิดพันธะกับส่วนที่เป็นไอออนของโมเลกุล ดังนั้นจึงลดโอกาสที่โมเลกุลโปรตีนจะเกิดพันธะระหว่างกันได้ และนอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบการเกิดเจด เกลือไม่ได้เป็นสารต้านจุลินทรีย์เพราะไม่สามารถฆ่าแบคทีเรียได้ แต่สามารถขัดขวางหรือยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ถ้าใช้ในความเข้มข้นสูง ๆ ซึ่งเกลือที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เป็นส่วนใหญ่และที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลกับ anaerobes ในอดีตเนื้อจะถูกหมักด้วยเกลือที่ความเข้มข้น 7-8 เปอร์เซ็นต์ แต่ในปัจจุบันความชอบของผู้บริโภคเปลี่ยนไปทำให้ลดปริมาณลงต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ร่วมกับผู้เย็นหรือเครื่องทำความเย็นในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Girard, 1992)

เกลือจะทำให้สูญเสียน้ำหนักภายหลังการปรุงอาหาร (cooking loss) น้อยลง โดยเกลือจะละลายโปรตีนเส้นใย myofibrillar ออกมา ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวข้นซึมเคลือบผิวหน้าของชิ้นเนื้อ จึงทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เกลือยังลดการสูญเสียน้ำหนักผ่านความร้อน (cooking loss) และยังทำให้เซลล์ของเส้นใยเกิดการพองตัวอีกด้วย (Ranker, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกลือบริโภค หน้าที่สำคัญของเกลือบริโภคคือ ให้รสชาติและทำให้ได้กรอกมีลักษณะที่เหนียว ทั้งนี้เนื่องจากเกลือช่วยสกัดโปรตีนไมโอซิน และแอกตินออกจากกล้ามเนื้อซึ่งความสามารถของเกลือในการสกัดโปรตีน ได้ดีที่สุดเมื่อใช้เกลือประมาณร้อยละ 4.5 อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดโปรตีนไม่ควรเกิน 4 องศา-เซลเซียส Pappa et. al. (2000) พบว่าการเพิ่มปริมาณเกลือจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 2 จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่ดี สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลง ทำให้ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น

2.4.6 สารประกอบฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟต ที่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่ โมโนโซเดียมฟอสเฟต โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต ไดโซเดียมฟอสเฟต ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต โซเดียมแอซิดไฟโร-ฟอสเฟต โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต โพแทสเซียมไตรโพลีฟอสเฟต โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต หรืออาจเป็นของผสมของสารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆ ที่กล่าว (ศิวพร ศิวเวช. 2535)

สารประกอบฟอสเฟตช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ โดยที่สารประกอบฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับ organic ployelectrolyt ได้แก่ โปรตีนที่ยังไม่เปลี่ยนสภาพเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน protein — phosphate — salt complex ทำให้โมเลกุลของโปรตีนสานกันเป็นตาข่ายจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำหรือกักน้ำให้น้ำซึมออกมาได้ นอกจากนี้สารประกอบฟอสเฟตสามารถทำให้ค่า pH ของเนื้ออยู่ในช่วงที่เป็นกลาง และยังทำให้แอกโตไมโอซินแยกตัวออกจากกันได้ จึงช่วยทำให้โปรตีนอยู่ในสภาพคลายตัวทำให้มี sites มากขึ้นในการรวมกับน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สูญเสียน้ำหนักมากเกินไปเมื่อทำให้สุก ผลิตภัณฑ์จึงมีความนุ่ม ชุ่มฉ่ำน้ำ และมีลักษณะน่ารับประทาน สารประกอบฟอสเฟตที่เป็นกรดจะทำให้ pH ของเนื้อลดต่ำลงเป็นผลเนื้อหดตัวมากขึ้น ส่วนสารประกอบฟอสเฟตที่ใช้ได้ผลดีกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เรียงตามประสิทธิภาพได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต , โซเดียมเตตระโพลีฟอสเฟต , โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต , เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต , โซดิลิกโซเดียมเมตาฟอสเฟต และ ไดโซเดียมฟอสเฟต (Kramas.1976)

สารประกอบฟอสเฟต เช่น โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ได้มีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการอุ้มน้ำ การเกิดอิมัลชันและสี รวมทั้งป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันการใช้เกลือร่วมกับสารประกอบฟอสเฟตมีผลทำให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นภายหลัง

การให้ความร้อน เพิ่มความสามารถในการจับตัวกันของชิ้นเนื้อและเพิ่มการอุ้มน้ำมากกว่าการใช้เกลือเพียงอย่างเดียว (Shults and Wiergichi. 1972 ; Pepper and Schmidt. 1975)

สารประกอบฟอสเฟต เช่น โซเดียมไพโรฟอสเฟตเป็นสารประกอบที่ช่วยลดค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม เพิ่มความชุ่มฉ่ำน้ำของเนื้อ ปรับปรุงสีของเนื้อให้ดีขึ้นและช่วยเพิ่มค่าแรงยึดเกาะของชิ้นเนื้อด้วย (Mandigo. 1986) Pigott (1986) พบว่าสารโพสเฟตทำให้ค่า pH สูงขึ้นได้ต่างกันในช่วง 5.9-6.3 โซเดียมไพโรฟอสเฟตและ โซเดียมไตรโพสเฟต จะให้ค่า pH ประมาณ 6.2 และมีประสิทธิภาพทั้งในการเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลและความสามารถในการเก็บกักน้ำได้ดีกว่าสารโพสเฟตชนิดอื่น และถ้าผสม โซเดียมไพโรฟอสเฟตและ โซเดียมไตรโพสเฟต ในอัตราส่วน 6:4 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากกว่าการใช้เพียงตัวใดตัวหนึ่ง การใช้สารทั้งสองร่วมกันนี้ใช้ในปริมาณ 0.1 — 0.3 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงของเจลที่ดีที่สุด

การใช้สารประกอบฟอสเฟตทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลมีการละลายได้มากขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของค่า pH และค่า ionic strength ความสามารถในการละลายของโปรตีนจะมีค่าต่ำสุดในช่วง pI คือที่ pH 5 - 6 ซึ่งประสิทธิภาพของฟอสเฟตจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อมีการใช้ในปลาแซลมอนแข็งที่โปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ และสูญเสียความสามารถในการละลาย นอกจากนี้การใช้ฟอสเฟต 0.2-0.3 เปอร์เซ็นต์ ในผลิตภัณฑ์จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการเก็บกักน้ำของเจล ค่าความแข็งแรงของเจลคามาโบโกจะมีค่าต่ำสุดในช่วง pI และเมื่อค่า pH สูงขึ้นค่าความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นสูงกว่า 8 จะทำให้ความแข็งแรงของเจลต่ำลงและความสามารถในการเกาะตัวลดลง ค่า pH ที่เหมาะสมของซูริมิที่สับผสมแล้วก่อนที่จะนำไปให้ความร้อนอยู่ในช่วง 6.5-7.5 (Okada. 1985)

Paul and Palmer (1972) รายงานว่าการเติมเกลือแกง 2 เปอร์เซ็นต์ ในเนื้อวัวบดจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและยับยั้งการลดลงของ cooking loss ในขณะที่มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และถ้ามีการเติมเกลือแกงและโซเดียมไตรโพสเฟตจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายยาง (rubbery texture) ในผลิตภัณฑ์ที่สุกแล้วสารฟอสเฟต เป็นสารที่ช่วยให้ไส้กรอกมีความเหนียวและอุ้มน้ำได้ดี ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้นและไขมันมีความคงตัวดีขณะต้มหรือรมควัน ทำให้เนื้อแน่นขึ้น การใส่ฟอสเฟตมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติคล้ายสบู่ จึงเป็นการจำกัดระดับการใช้ฟอสเฟตในปริมาณสูงประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดการใช้ฟอสเฟตไม่เกินร้อยละ 0.5 สารฟอสเฟตที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมไตรโพสเฟต , เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟตและ เตตระโพแทสเซียมไพโรฟอสเฟต แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ โซเดียมไพโรฟอสเฟตและไตรโพสเฟต เนื่องจากมีคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเฉพาะในการช่วยให้มีการอุ้มน้ำได้ดีขึ้นในช่วงความเป็นกรดต่าง 6.0 ถึง 6.5 สารประกอบฟอสเฟตถ้าใช้ร่วมกับเกลือจะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองของ Hsu and Yu, (1999) พบว่าการใช้เกลือที่ระดับร้อยละ 2 – 2.5 ร่วมกับสารฟอสเฟตร้อยละ 0.5 จะช่วยลดการสูญเสียขณะให้ความร้อนได้และสามารถเพิ่มน้ำเข้าไปได้ถึงร้อยละ 22 ในลูกชิ้นอิมัลชันไขมันต่ำ

Puolanne et. al. (2001) ใช้ P_2O_5 กับเกลือร้อยละ 2.5 จะช่วยเพิ่มค่าการอุ้มน้ำ และค่าการอุ้มน้ำนั้นขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง เมื่อเติมสารฟอสเฟตลงไปจะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของเนื้อหมูเพิ่มจากเดิมคือ 5.50 - 6.12 เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 0.7 แต่เมื่อมีการใช้ปริมาณเกลือน้อยลงมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของส่วนผสม (batter) เปลี่ยนแปลงไปแต่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการใช้เกลือปริมาณมาก แต่ก็ลดลงมากกว่าส่วนผสมที่ไม่เติมฟอสเฟต ซึ่งการลดลงของค่าความเป็นกรดต่างมีผลต่อค่าการอุ้มน้ำของไส้กรอกความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โปรตีนเกิดประจุลบสามารถจับกับน้ำด้านที่มีประจุบวก สรุปได้ว่าถ้าใช้ปริมาณเกลือน้อยก็ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของส่วนผสมลดลงและมีผลต่อการอุ้มน้ำของไส้กรอก ต่อมา Hsu and Chung (2001) ทำการทดลองโดยลดปริมาณสารฟอสเฟตลงเหลือร้อยละ 0.17 ร่วมกับการใช้ kappa-carrageenan ปริมาณร้อยละ 2 ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นอิมัลชันไขมันต่ำ ซึ่งพบว่าได้รับการยอมรับมากที่สุด แต่การใช้ปริมาณสารฟอสเฟตที่ระดับน้อยกว่าร้อยละ 0.4 จะมีความแตกต่างของผลผลิตหลังให้ความร้อน (cooking yield) ต่อปริมาณไขมัน

Torley et. al. (2000) ได้ทดลองใช้ ไตรโพลีฟอสเฟต เปรียบเทียบกับ ไพรโพลีฟอสเฟต ในไส้กรอกหมูที่ทำจากเนื้อหมู PSE ปรากฏว่าค่า shear stress ของเจลเพิ่มขึ้นและค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังให้ความร้อน (cooking loss) ลดลงเมื่อใช้ ไตรโพลีฟอสเฟต ที่ระดับร้อยละ 0.37 Marcy et al. (1988) พบว่าการใช้โซเดียมแอสซิไคโพรฟอสเฟตพบว่าสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในไส้-กรอกลงได้ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.4.7 อุณหภูมิและเวลาในการผสม

Pepper and Schmidt (1975) พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการนวดผสมขึ้นในช่วง 5, 10 และ 20 นาที จะทำให้ค่าความแข็งแรงของเจล การจับตัวกัน และผลผลิตที่ได้ของ beef roll มีค่าเพิ่มมากขึ้น Gillett et. al. (1977) กล่าวว่าประสิทธิภาพการสกัดโปรตีนจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการสกัดต่ำลงจาก 35 - 4 องศาเซลเซียส ความสามารถในการสกัดโปรตีนลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะโปรตีนที่สกัดออกมาบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพและจับตัวกัน อุณหภูมิ 7.2 องศาเซลเซียส เป็นที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากเนื้อ 50 กรัม ด้วยสารละลายเกลือเข้มข้น 7.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมินี้อาจเปลี่ยนแปลงตามสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน เช่น เวลา ปริมาณเกลือที่ใช้ เป็นต้น แต่โดยทั่วไปควรรักษาอุณหภูมิต่ำในการสกัดโปรตีนเพื่อที่จะได้การสกัดที่มีประสิทธิภาพดี

การผสมทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกัน การจับตัวของชิ้นเนื้อดีขึ้นแต่จะมีค่าสูงสุดที่จุดหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนสะสมในระหว่างการผสมทำให้โปรตีนถูกทำลายหรือเสียสภาพไปไม่สามารถสกัดออกมาได้ Mandigo(1986) พบว่า ปริมาณโปรตีนไมโอโอฟบริลที่สกัดได้เพิ่มตามระยะเวลาการผสมที่เพิ่มขึ้นจาก 0 - 6 นาที และลดลงหลังจากนั้น

2.4.8 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เจลเซ็ทตัวและคงตัว

อุณหภูมิมีผลต่อการเกิดเจลเนื่องจากอุณหภูมิแต่ละช่วงทำให้โปรตีนมีหน้าที่แตกต่างกัน พบว่าโปรตีนไมโอซินส่วนหัวและส่วนหาง ใช้อุณหภูมิในการตกตะกอยที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังนั้นในการเกิดเจลจึงเกิดจากการที่ส่วนหัวของโปรตีนไมโอซินเกิดการสานตัวกันก่อน หลังจากนั้นส่วนหางของไมโอซินจึงเกิดการตกตะกอนลงมา (Takeshi et. al. 1990)

โปรตีนที่ละลายได้็นสารละลายเกลือเมื่อมีการละลายออกมาแล้วจะเกิดการโพลิเมอไรซ์และก่อตัวเป็นโครงร่างตาข่ายเมื่อให้ความร้อน การให้ความร้อนจะทำให้โปรตีนเกิดการเซ็ทตัวคือการเริ่มเซ็ทตัวของเจลของโปรตีนที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส การเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถเกิดเจลได้อย่างช้าๆ ให้ลักษณะเจลที่ใสซึ่งจะทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรงดีเมื่อนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง

Samejima et. al. (1981) พบว่าเมื่อให้ความร้อน ส่วนหัวของไมโอซินมีแนวโน้มที่จะเกาะรวมตัวกัน โดยส่วนหัวที่เป็นทรงกลมของไมโอซินจะเกี่ยวกับการออกซิเดชันของกลุ่มซัลไฮดริลและการเหยียดตัวของส่วนหางของไมโอซินที่เป็นฮีลิกซ์คอยล์เนื่องจากความร้อน ทำให้โอกาสเกิดพันธะระหว่างส่วนต่างๆ ของสายมีมากขึ้น เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย

Ngapo et al. (1999) ศึกษาการแช่เยือกแข็งของเนื้อหมู การแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็วจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหลังแช่เยือกแข็งน้อยแต่ถ้าแช่เยือกแข็งแบบช้าจะเกิดการสูญเสียน้ำได้มากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบรวดเร็ว และมีโปรตีนสูญเสียออกมากับน้ำมาก เนื้อหมูที่ทำการเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -3 ถึง -10 องศาเซลเซียส จะเกิดการสูญเสียน้ำได้มากกว่าเนื้อหมูที่เก็บแช่เยือกแข็งไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ เนื่องจากผลึกน้ำแข็งเกิดการหลอมละลายแล้วเกิดผลึกใหม่ที่มีขนาดใหญ่ทำให้โครงสร้างมีรูขนาดใหญ่จึงเกิดการสูญเสียน้ำมากเมื่อทำการละลายน้ำแข็ง

Bustabad(1999) พบว่าการเก็บรักษาเนื้อสัตว์แบบแช่เยือกแข็งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าการเก็บรักษาแบบแช่เย็น Carballo et al. (2000) พบว่าการใช้ความดันสูงช่วยให้ batter ที่ทำจากเนื้อหมูผ่านการแช่เยือกแข็งมีความคงตัวมากขึ้น

2.4.9 อัตราการให้ความร้อนในระหว่างการทำให้เจลคงตัว

อัตราการให้ความร้อนในระดับต่ำและคงที่มีผลต่อการเกิดเจลและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการให้อัตราการให้ความร้อนที่ต่ำจะทำให้โปรตีนมีเวลาที่ใช้ในการคลายตัวและการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่ายมากขึ้น จะทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรง

อัตราการให้ความร้อนมีผลต่อการเกิดเจลและความคงตัวของเนือบดที่มีปริมาณเกลือ 2.5 เปอร์เซ็นต์ และ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 0.31 องศาเซลเซียสต่อนาที จะให้เจลที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการให้ความร้อนที่ 0.51 1.22 และ 1.62 องศาเซลเซียสต่อนาที (Barbut and Mittal. 1990) แต่ได้มีรายงานของ Saliba et. al. (1987) พบว่าอัตราการให้ความร้อนไม่มีผลต่อความเหนียวและความยืดหยุ่นของไส้กรอกแฟรงค์เฟอ์เตอร์ Lan et. al. (1995b) ศึกษาอัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 7 องศาเซลเซียสต่อนาทีและค่าความเป็นกรดต่างที่ 5.5, 6.0, 6.5, และ 7.0 ที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร เนื้อโค เนื้อปลา และเนื้อไก่ พบว่าเมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำที่ค่าความเป็นกรดต่าง 6.5 และ 7.0 เจลที่ได้มีความยืดหยุ่นและความเหนียวมากกว่าเมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่า กล้ามเนื้อทุกชนิดยกเว้นเนื้อไก่ส่วนอกจะมีเจลที่มีความแข็งแรงสูงสุดเมื่อความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.0 นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการเกิดเจลของโปรตีนชนิดต่างๆ ดังนี้ ไมโอซิน แอกติน โปรตีนไมโอไฟบริล โปรตีนชาร์โคพลาสติก และโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ของเนื้อสุกรส่วนสะโพกพบบอก (Semimembranosus) และเนื้อไก่พบว่า เมื่อทำการเตรียมที่ pH 6.0 เกลือ (NaCl) 2 เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการให้ความร้อน 0.7 องศาเซลเซียสต่อนาที ไมโอซินจากเนื้อสุกรให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อไก่แะยังมีน้ำหนักสูญเสียเมื่อให้ความร้อนในปริมาณที่น้อยกว่าเนื้อไก่ ส่วนแอกตินไม่สามารถเกิดเจลได้ แต่สามารถทำให้ไมโอซินเกิดเจลได้ดีเมื่อมีอัตราส่วนที่เหมาะสมกับไมโอซิน นอกจากนี้ยังพบว่าเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลจากเนื้อไก่และเนื้อสุกรมีน้ำหนักสูญเสียเมื่อให้ความร้อนต่ำที่สุดรองลงมาคือ โปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและโปรตีนชาร์โคพลาสติก

2.4.10 โซเดียมไบคาร์บอเนต (โซเดียมไบคาร์บอเนต หรือ Baking Soda)

สารเคมีที่สามารถพบได้ในครัวเรือนทำให้ระดับความเป็นกรดลดน้อยลงในเนื้อหมูสัน, เนื้อหมูขาหลังและชิ้นเนื้อส่วนอื่นๆ และจะถูกใช้ในการหมักแฮมในประเทศโปแลนด์ นักวิจัยจะใช้สารโซเดียมไบ-คาร์บอเนตในการป้องกันการเกิดเนื้อ PSE โดยการรักษาเนื้อหลังการถูกฆ่า เราสามารถฉีดสารโซเดียมไบ-คาร์บอเนตในเนื้อที่ถูกตัดจากข้างหนึ่งของเนื้อ PSE ในขณะที่อีกข้างหนึ่งไม่ฉีดสารโซเดียมไบคาร์บอเนต เราจะพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยากรดในกล้ามเนื้อลดลงซึ่งจะหมายความว่าเนื้อจะมีการอุ้มน้ำและมีสีเหมือนเนื้อปกติ เมื่อมีการฉีดสารโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไป เนื้อรสชาติที่เพิ่มขึ้นทำให้ผู้บริโภคสามารถแยกความแตกต่างได้ ซึ่งการเติมสารโซเดียมไบ-คาร์บอเนตจะมีผลต่อสี เนื้อสัมผัส ความนุ่ม และการอุ้มน้ำ ทำให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้นและชุ่มน้ำ สีของเนื้อจะมีความสว่างขึ้น ซึ่งวิธีดังกล่าวจะไม่มีผลต่อกลิ่นของเนื้อ

นักวิจัยเชื่อว่าวิธีนี้จำเป็นจะต้องใช้สารโซเดียมไบคาร์บอเนตในช่วง 2 ถึง 3 ชั่วโมง หลังจากการฆ่าสัตว์ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกล้ามเนื้อ นักวิจัยพยายามรักษาคุณภาพเนื้อสัตว์ที่ถูกฆ่าในแต่ละวัน การเกิดความเป็นกรดในกล้ามเนื้อจะทำให้เนื้อไม่สามารถคืนสภาพได้ (เนื้อ PSE) แต่การเติมสารโซเดียมไบคาร์บอเนตจะทำให้โครงสร้างกล้ามเนื้อขยายตัวและมีการเก็บรักษาของเหลวมากขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้เนื้อมีสีที่จืดจางลดน้อยลงปัจจุบันได้มีการใช้สารโซเดียมไบคาร์บอเนตกับเนื้อหมูสดที่แช่ในตู้เย็นซึ่งจะพบในร้านขายหมู (George Gallepp, 2002 ; <http://www.scienceblog.com/community>)

เนื้อหมูที่ซื้อตามท้องตลาด จะมีความชื้นประมาณ 76.4 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนประมาณ 21.1 เปอร์เซ็นต์ ไขมันประมาณ 1.1 เปอร์เซ็นต์ และ เถ้า 1.3 เปอร์เซ็นต์ เนื้อที่นำมาใช้จะถูกหันให้เป็นชิ้นพร้อมกับการแช่เย็น โดยจะมีเนื้อหมูที่ไม่ติดเกลือ (ตัวควบคุม) เนื้อหมี่เติมเกลือ (NaCl) 1.5 เปอร์เซ็นต์ โซเดียม ไตรโพลี-ฟอสเฟต ไมโอซิน และแอคตินเป็นโปรตีนที่สามารถละลายในเกลือได้มีปริมาณมากขึ้น การใช้เกลือ และเกลือผสมโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ช่วยให้นเนื้อมีความอุ้มน้ำมากขึ้นและสามารถเปลี่ยนคุณสมบัติเนื้อหมูเกิดเจล (Fernandez et al. 2001) การหมักส่วนผสมที่มีระดับของ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และ โซเดียมไบ-คาร์บอเนต ที่ระดับต่างๆ โดยการฉีดเข้าที่เนื้อส่วนสะโพกของหมูตัวเมีย ได้ทดสอบกับผู้ชิมที่ผ่านการฝึก-ฝน โดยการประเมินส่วนผสมในการหมักมี 4 แบบ ซึ่งแบ่งได้ดังนี้ แบบที่ 1 มี โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไบคาร์บอเนต เท่ากับ 0.70 โมลาร์ แบบที่ 2 มี โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เท่ากับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไบคาร์บอเนต เท่ากับ 0.70 โมลาร์ แบบที่ 3 มี โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไบคาร์บอเนต เท่ากับ 0.35 โมลาร์ แบบที่ 4 มี โซเดียม

ไดรโพลิฟอสเฟต เท่ากับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไบคาร์บอเนต เท่ากับ 0.3 โมลาร์ ซึ่งการหมัก ส่วนผสมทั้ง 4 แบบ สามารถลดกลิ่นที่ผิดปกติของเนื้อหมูตัวเมีย และสามารถปรับปรุงประสาท สัมผัสทางคุณลักษณะเนื้อสัมผัส [Jeffery et al. 2003]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบและอุปกรณ์

มีดและเขียง

เครื่องชั่งน้ำหนัก

ถุงพลาสติกและหนังยาง

กระป๋องพลาสติก

ช้อน และกะละมัง

อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

เครื่องนวดเนื้อ

เครื่องบดเนื้อ

เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer : TA — XT2)

เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)

พิมพ์หมูยอ

เทอร์โมมิเตอร์

เนื้อหมูส่วนสันนอก

น้ำเปล่า

3.2 สารเคมี

เกลือ

โซเดียมไตรฟอสเฟต

โซเดียมไบคาร์บอเนต (Baking soda)

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาผลของเวลาในการนวดและสารโซเดียมไอบคาร์บอเนต ต่อคุณภาพเนื้อ

3.3.1.1 การหาระยะเวลาในการนวด

ใช้เนื้อหมูสดส่วนสันนอกหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด $2 \times 2 \times 1$ เซนติเมตร³ ที่แช่เย็นจัด อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส มาเพื่อนำไปหมักรวมกับส่วนผสมที่มีเกลือ (NaCl) 2.0 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 20.0 เปอร์เซ็นต์ โดยนวดผสม 1 นาทีเปรียบเทียบกับ การนวดผสมที่ระดับเวลา 10 นาที ซึ่งแบ่งระยะการนวดเป็น 3 ลักษณะคือ

แบบที่ 1 นวด 10 นาที ขั้นตอนเดียวติดต่อกันไป

แบบที่ 2 นวด 5 นาที ขั้นตอนแรกพักเนื้อไว้ 10 นาที และนวดต่ออีก 5 นาที

แบบที่ 3 นวด 5 นาที ขั้นตอนแรกพักเนื้อไว้ 20 นาที และนวดต่ออีก 5 นาที

นำเนื้อหมูที่นวดได้ลงในถุงพลาสติก แช่เย็นจัด 2-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปต้มให้สุกในอ่างน้ำร้อน (water bath) 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

ตรวจสอบคุณภาพเนื้อด้านต่างๆ ดังนี้

3.3.1.1.1 ความนุ่มของเนื้อ โดยใช้เครื่อง texture analyzer

3.3.1.1.2 เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield)

3.3.1.1.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักหลังต้มสุก (% cooking loss)

3.3.1.1.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) โดยใช้วิธีการเหวี่ยง แยกน้ำออกด้วยความเร็วสูง (centrifuge)

เลือกระยะเวลาในการนวดที่ดีที่สุด ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้แผนการทดลอง แบบ Complete Randomized Design (CRD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วย

โปรแกรม SPSS และวิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test

3.3.1.2 การศึกษาระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพของเนื้อ

นำเนื้อหมูสดหั่นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด $2 \times 2 \times 1$ เซนติเมตร³ หมักรวมกับส่วนผสมที่มีเกลือ (NaCl) 2.0 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 20.0 เปอร์เซ็นต์ และเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มลงในเนื้อ 4 ระดับ คือ 0, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์และทำการนวดเนื้อ โดยใช้ผลของการนวดที่ดีที่สุดจากข้อ 3.3.1.1 จากนั้นนำเนื้อหมูมาใส่ถุงพลาสติกแช่เย็นจัดที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปต้มสุกในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที และตรวจคุณภาพเนื้อเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.3.1.1

3.3.2. ศึกษาผลของเวลาในการแช่เย็นและสารโซเดียมไบคาร์บอเนต ต่อคุณภาพเนื้อหมูปอด

3.3.2.1 การศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่เย็นเนื้อหมูปอดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพเนื้อ

นำเนื้อหมูส่วนสันนอกแช่เย็นจัดอุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียสมานาน และบดละเอียดผ่านแวนขนาด 55 มิลลิเมตร เพื่อนำไปเติมส่วนผสมต่างๆ คือ เกลือ 2.0 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการนวดเป็นเวลา 2 นาทีแล้วนำเนื้อที่นวดได้ไปเก็บแช่เย็นไว้ที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 20 และ 25 ชั่วโมง ตามลำดับและทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่เย็นต่อคุณภาพเนื้อบดนวดที่ได้ โดยนำมาเนื้อหมูปอดมาใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท นำไปทำให้สุกในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

ตรวจคุณภาพเนื้อหมูปอดที่ได้โดยวิเคราะห์ค่า gel strength เพื่อนำผลของระยะเวลาในการแช่เย็นเนื้อที่ดีที่สุดไปใช้ในการศึกษาต่อไป

3.3.2.2 การทดสอบเบื้องต้นของคุณภาพเนื้อหมูในการดูดซึมน้ำที่ระดับต่างๆ

นำเนื้อหมูส่วนสันนอกแช่เย็นจัดอุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส และบดละเอียดผ่านแวนขนาด 55 มิลลิเมตร มาหมักรวมกับส่วนผสมที่มีเกลือ (NaCl) 2.0 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ เติมปริมาณน้ำในระดับ 40 เปอร์เซ็นต์ 60 เปอร์เซ็นต์ 80

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นวดเนื้อ 2 นาที เพื่อศึกษาระยะเวลาของเนือบดจะดูดซึมน้ำได้หมด และเลือกกระดပ်ปริมาณน้ำที่มากเกินไปที่เนื้อหมูไม่สามารถดูดน้ำไว้ได้มาใช้ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในการทดลองต่อไป

3.3.2.3 การศึกษาระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพของเนื้อหมูปด

เติมปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 4 ระดับ คือ 0, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ ในเนื้อหมูปดและหมักกับส่วนผสมที่มีเกลือ 2.0 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำที่ระดับเพิ่มมากเกินไปที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.3.2.2 นวดเนื้อ 2 นาที จากนั้นนำเนือบดที่นวดได้มาตรวจคุณภาพด้านต่างๆ คือ

3.3.2.3.1 การหาค่าความแข็งของเจล โดยใช้เครื่อง texture analyzer

3.3.2.3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) โดยใช้วิธีการเหวี่ยงแยกน้ำออกด้วยความเร็วสูง (centrifuge)

3.3.2.3.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักหลังต้มสุก (% cooling loss)

3.3.2.3.4 เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield)

3.3.2.3.5 การตรวจคุณภาพของเนื้อเชิงพรรณนาด้านสี ความสดใส และการเกาะจับตัวของเนื้อหมูปด

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม SPSS และวิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test

3.3.2.3.6 ศึกษาคุณภาพของเนื้อหมูปดขึ้นรูปด้านประสาทสัมผัสโดยการชิม เพื่อดูการยอมรับของผู้บริโภคในแง่ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยแบบทดสอบ Hedonic scale ที่ 9 ระดับคะแนน ผู้ชิม 25 คน และประเมินค่าคะแนนเฉลี่ยที่ได้โดยใช้แผนการทดลองแบบ Random Complete Block Design (RCBD) และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของปัจจัยด้วย Duncan Multiple Range Test

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาผลของเวลาในการนวดและสารโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อ

4.1.1 การหาระยะเวลาในการนวดเนื้อ

ใช้เนื้อสควสันนอกที่แช่เย็นจัดที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส นำมาหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 2x3x1 เซนติเมตร³ หมักรวมกับส่วนผสมที่ประกอบด้วยเกลือ(NaCl) 2 เปอร์เซ็นต์, โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ และนวด 1 นาทีเปรียบเทียบกับการนวดเนื้อ 3 แบบคือ การนวด 10 นาที การนวด 5 นาทีพัก 10 นาทีแล้วนวดต่อ 5 นาทีและการนวด 5 นาทีพัก 20 นาทีแล้วนวดต่อ 5 นาที และตรวจคุณภาพของเนื้อที่นวด ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แรงเฉือน (กรัม) ความสามารถในการอุ้มน้ำ(เปอร์เซ็นต์) การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุก(เปอร์เซ็นต์) และผลผลิตของเนื้อ(เปอร์เซ็นต์) ที่นวดด้วยระยะเวลาต่างๆกัน

วิธีการนวด	Shear Force (g)	Water Holding Capacity (%)	Cooking Loss (%)	Yield (%)
นวด 1 นาที	3033.320±84.39 ^c	63.651±2.16 ^a	33.211±3.78 ^b	66.789±3.78 ^a
นวด 10 นาที	2696.120±70.40 ^b	66.608±2.07 ^{ab}	18.313±1.76 ^a	81.687±1.76 ^b
นวด 5 นาทีพัก 10 นาที แล้วนวดต่อ 5 นาที	2361.360±83.67 ^a	72.282±0.53 ^c	16.116±1.39 ^a	83.884±1.39 ^b
นวด 5 นาทีพัก 20 นาที แล้วนวดต่อ 5 นาที	2274.240±98.26 ^a	68.463±2.07 ^b	15.003±0.95 ^a	84.997±0.95 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 พบว่าการนวดเนื้อแบบนวด 5 นาทีพัก 20 นาทีแล้วนวดต่อ 5 นาทีจะทำให้เนื้อมีความนุ่มมากที่สุด โดยพิจารณาจากแรงเฉือนที่ใช้ตัดชิ้นเนื้อ ซึ่งวัดค่าได้เท่ากับ 2274.240 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับกรนวดเนื้อแบบนวด 5 นาทีพัก 10 นาทีแล้วนวดต่อ 5 นาที จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการนวด 1 นาทีและ 10 นาที ซึ่งมีค่าแรงเฉือนสูงถึง 2696.120 – 3033.320 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นเนื้อยิ่งน้อยแสดงว่าเนื้อมีความนุ่มและชุ่มน้ำมากขึ้น ซึ่งการนวดและการพักเนื้อจะช่วยให้ น้ำหมักซึมเข้าสู่ชิ้นเนื้อได้มากขึ้น น้ำถูกจับไว้ในชิ้นเนื้อได้ดีและเมื่อทำการนวดอีกครั้ง จะยิ่งทำให้น้ำสามารถจับอยู่ในโมเลกุลของโปรตีนได้ดีขึ้น จึงส่งผลให้เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพบว่าการนวดแบบ 5 นาทีพักเนื้อ 10 นาทีและนวดต่อ 5 นาที เนื้อจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดเท่ากับ 72.282 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรนวดแบบต่างๆ พบว่าจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อจะมีผลต่อการสูญเสียน้ำเมื่อทำให้เนื้อสุก โดยพบว่า ถ้าเนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีและเก็บกักน้ำไว้ในโมเลกุลของเนื้อมาก เมื่อทำให้เนื้อสุก เนื้อจะสูญเสียน้ำน้อยลงและเนื้อจะไม่แห้ง จึงทำให้ เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่า การนวดแบบนวด 5 นาที พักเนื้อ 20 นาทีและนวดต่อ 5 นาที จะทำให้เนื้อสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุกน้อยที่สุดเท่ากับ 15.003 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรนวดเนื้อแบบ นวด 5 นาที พักเนื้อ 10 นาทีและนวดต่อ 5 นาที จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาค่าผลผลิต พบว่าการนวดเนื้อแบบนวดแล้วพักเนื้อ 20 นาที จะทำให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น เท่ากับ 84.997 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรนวดเนื้อแบบนวดแล้วพักเนื้อ 10 นาที พบว่าจะแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการนวดเนื้อจะมีผลต่อคุณภาพเนื้อ โดยการนวดเนื้อแบบมีการพักเนื้อ 10 และ 20 นาที เนื้อจะมีคุณภาพที่ดีที่สุด โดยค่าแรงเฉือน ค่าการสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุก และค่าผลผลิตจะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำ จะมีความแตกต่างทางสถิติ จึงเลือกการนวดเนื้อแบบนวด 5 นาทีพัก 10 นาทีและนวดต่อ 5 นาที เพื่อทำการศึกษาระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อต่อไป

4.1.2 การศึกษาระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อ

ใช้เนื้อหมูสดหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 2x3x1 เซนติเมตร³ หมักกับส่วนผสมที่มี เกลือ (NaCl) 2 เปอร์เซ็นต์ , โซเดียมไตรฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ น้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) 4 ระดับ คือ 0 , 1.0 , 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ และทำการนวดเนื้อแบบนวด 5 นาที พัก 10 นาทีและนวดต่อ 5 นาที และวิเคราะห์คุณภาพเนื้อที่เติมปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แรงเหวี่ยง (กรัม) ความสามารถในการอุ้มน้ำ(เปอร์เซ็นต์) การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุก(เปอร์เซ็นต์) และผลผลิตของเนื้อ(เปอร์เซ็นต์) ของเนื้อหมักที่มีการเติมปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณต่างๆกัน

NaHCO ₃ (%)	Shear Force (g)	Water Holding Capacity (%)	Cooking loss (%)	Yield (%)
0	1530.983±74.03 ^a	53.475±0.71 ^a	10.283±0.81 ^b	89.717±0.81 ^a
1.0	1495.167±153.02 ^a	65.402±7.29 ^b	8.634±8.52 ^a	91.366±1.40 ^b
1.5	1408.333±129.04 ^a	70.114±1.98 ^b	8.523±0.04 ^a	91.477±0.04 ^b
2.0	1387.600±88.46 ^a	77.766±1.53 ^c	8.192±0.49 ^a	91.807±0.49 ^b

หมายเหตุ ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.2 การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณมากขึ้น จะทำให้คุณภาพของเนื้อดีขึ้น โดยพบว่า การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยทำให้เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น เท่ากับ 77.766 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 0, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อน้อยกว่า อยู่ในช่วงระหว่าง 53.475 – 70.114 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อจะมากขึ้น เมื่อเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต มากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้ชิ้นเนื้อเมื่อทำให้สุกจะสูญเสียน้ำน้อยลง เนื่องจากโซเดียมไบคาร์บอเนตจะทำให้เนื้อมีความเป็นด่างเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด เท่ากับ 8.192 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเนื้อมีความสามารถในการกักเก็บน้ำในโมเลกุลของเนื้อมากขึ้น และจะเพิ่มประสิทธิ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภพในการจับน้ำภายในโมเลกุลของโปรตีน ทำให้ผลผลิตสุดท้ายมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยลง และ การที่ชั้นเนื้อมีการอุ้มน้ำที่ตีมากขึ้นจะทำให้แรงที่ใช้ในการตัดชั้นเนื้อน้อยลง โดยการเติมโซเดียม ไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะใช้แรงตัดชั้นเนื้อน้อยที่สุดเท่ากับ 1387.600 กรัม โดยจะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับการเติมปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณต่างๆ เนื่องจากโซเดียม ไบคาร์บอเนต จะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อ ให้มีความนุ่มมากกว่าการใช้แค่เกลือและ ฟอสเฟต ซึ่ง Sheard and Tali (2004) ได้ศึกษาการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในเนื้อพบว่า เมื่อใช้ โซเดียมไบคาร์บอเนตปริมาณมากขึ้นจะทำให้เนื้อหมักมีค่าแรงเฉือนลดลง และผลผลิตของเนื้อมี ค่าเพิ่มมากกว่าการที่ไม่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต

ดังนั้นการเติม โซเดียมไบคาร์บอเนต 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เนื้อมีความ คุณภาพทางด้านความนุ่มและความชุ่มน้ำ การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้เนื้อสุกและน้ำหนักผลผลิตไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณา พบว่าที่ระดับที่ 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะให้คุณภาพ เนื้อที่ดีที่สุดและเมื่อทำการชิม พบว่า การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตมากจะทำให้เนื้อมีความเค็ม มากขึ้นเนื่องจาก โซเดียมไบคาร์บอเนตจะมีเกลือเป็นส่วนประกอบทำให้เนื้อมีความเค็มมากขึ้น ตามปริมาณที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นตามลำดับ

4.2 การศึกษาผลของเวลาในการแช่เย็นและระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อบด

4.2.1 การศึกษาผลของเวลาในการแช่เย็นต่อคุณภาพเนื้อหมูปด

จากการนำเนื้อหมูส่วนสันนอกที่แช่เย็นจัดที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส มาหั่นและบด ละเอียดผ่านแผ่นแว่น เพื่อนำไปเติม เกลือ(NaCl) 2 เปอร์เซ็นต์,โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการนวด 2 นาที และนำเนื้อที่นวดได้ไปแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 20 และ 25 ชั่วโมง ตามลำดับ และตรวจคุณภาพเนื้อโดยวัดค่าความแข็งแรง ของเจลได้ผลดังตารางที่ 4.3

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการแช่เย็นที่ 25 ชั่วโมงจะทำให้เจลของเนื้อบดมีความแข็งแรงมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงของเจล ที่คำนวณจาก แรงที่กดลงบนตัวอย่างคูณกับระยะทาง ซึ่งการแช่เย็น 25 ชั่วโมง จะได้ค่าความแข็งแรงของเจล เท่ากับ 225.43 กรัมต่อเซนติเมตร เมื่อ เปรียบเทียบกับการแช่เย็นที่ 15 และ 20 ชั่วโมง พบว่าค่าความแข็งแรงของเจล จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเกิดเจล เป็นผลจากเกลือที่ละลายโปรตีนไมโอซินออกจากเนื้อ ซึ่ง

ความแข็งแรงของเจลจะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณของโมโนอินที่ถูกสกัดออกมาและเมื่อนำเนื้อไปทำให้สุก เนื้อบดจะจับตัวกันดีและมีความนุ่ม ดังนั้นเวลาที่ใช้แช่เย็นต่างกันจะไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเจล ดังนั้น การทดลองจึงใช้เวลาแช่เย็น 25 ชั่วโมง เนื่องจากมีความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์และตรวจคุณภาพเนื้อบด

ตารางที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงของเจลเนื้อหมูปดที่หมักไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลาต่างๆ กัน

เวลาที่ใช้แช่เย็น (ชั่วโมง)	Gel Strength (g.cm)
15	222.604±0.53 ^a
20	224.230±3.49 ^a
25	225.430±1.23 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.2 การศึกษาความสามารถของเนื้อบดในการดูดน้ำ

ใช้เนื้อหมูปดมาหมักรวมกับ เกลือ(NaCl) 2 เปอร์เซ็นต์, โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 3 ระดับ คือ 40 เปอร์เซ็นต์, 60 เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจับเวลาที่เนื้อสามารถดูดน้ำได้หมด เพื่อเลือกปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการเติมลงในส่วนผสม โดยจะเลือกปริมาณน้ำที่เนื้อดูดไม่หมด เพื่อทำการศึกษาผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อบด โดยเวลาที่เนื้อสามารถดูดน้ำได้หมด ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสามารถของเนื้อบดในการดูดน้ำที่ปริมาณระดับต่างๆ

น้ำ (เปอร์เซ็นต์)	เวลา (นาที)
40	ดูดน้ำหมดภายใน 1.5 นาที
60	ดูดน้ำหมดภายใน 4 นาที
80	ดูดน้ำไม่หมด

จากตารางที่ 4.4 พบว่าการเติมน้ำ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื้อบดสามารถดูดน้ำเก็บไว้ในโครงสร้างได้หมด โดยใช้เวลาน้อยที่สุด คือ 1.5 นาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า ปริมาณน้ำ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื้อจะดูดน้ำได้หมด ส่วนปริมาณน้ำ 40 เปอร์เซ็นต์ เนื้อบดสามารถดูดน้ำเก็บไว้ในโครงสร้างได้หมด โดยใช้เวลา 4 นาที สำหรับปริมาณน้ำ 80เปอร์เซ็นต์ เนื้อจะดูดน้ำได้เพียงบางส่วนเท่านั้นและไม่สามารถดูดน้ำได้หมด เนื่องจากเนื้อจะมีความสามารถในการดูดน้ำได้ปริมาณหนึ่งเท่านั้น โดยถ้าเติมปริมาณน้ำมากกว่าที่เนื้อสามารถดูดเก็บไว้ในโครงสร้างได้ เนื้อจะไม่สามารถดูดน้ำได้หมด ดังนั้นการทดลองจึงเลือกการใช้ปริมาณน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำการศึกษาผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตที่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ

4.2.3 การศึกษาระดับโซเดียมไบคาร์บอเนตที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อหมูปอด

นำเนื้อบดมาหมักรวมกับ เกลือ(NaCl) 2 เปอร์เซ็นต์, โซเดียมไตร โพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์, น้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ และ โซเดียมไบคาร์บอเนต 4 ระดับคือ 0, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ นวดเนื้อ 2 นาที และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 25 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำเนื้อบดมาขึ้นรูปและวิเคราะห์คุณภาพเนื้อ ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะความแข็งของเจล ความสามารถในการอุ้มน้ำ(เปอร์เซ็นต์) การสูญเสียน้ำหนักเมื่อทำให้สุก(เปอร์เซ็นต์) และผลผลิตของเนื้อ (เปอร์เซ็นต์) ที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตระดับต่างๆ

NaHCO ₃ (%)	Gel Strength (g.cm)	Water Holding Capacity (%)	Cooking loss (%)	Yield (%)
0	142.988±1.09 ^a	49.020 ± 0.17 ^a	38.536 ± 0.94 ^a	61.464 ± 0.94 ^a
1.0	171.211±1.92 ^b	74.570 ± 0.53 ^c	22.786 ± 0.98 ^c	77.214 ± 0.98 ^c
1.5	186.539±1.73 ^c	75.190 ± 1.42 ^{cd}	18.875 ± 0.62 ^b	81.125 ± 0.62 ^d
2.0	193.637±3.82 ^d	78.602 ± 1.32 ^d	15.906 ± 0.98 ^a	84.094 ± 0.98 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 4.5 เนื้อหมูปอดที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์จะช่วยทำให้เนื้อมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากเป็น 78.602 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 0, 1 และ 1.5เปอร์เซ็นต์ พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์-

บอเนต 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากโซเดียมไบคาร์บอเนตจะช่วยเพิ่มความสามารถของเนือบคในการอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างมากขึ้น ทำให้เนื้อสูญเสียร่น้ำน้อยลงเมื่อทำให้สุก โดยการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 2.0 เปอร์เซ็นต์ เนื้อจะสูญเสียร่น้ำน้อยที่สุดเมื่อทำให้สุก มีค่าเป็น 15.906 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ปริมาณต่างๆ ซึ่งการสูญเสียร่น้ำน้อยลงเมื่อทำให้สุก จะส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของเนือบคเพิ่มมากขึ้น โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่าผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 84.094 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลผลิตของเนือบคจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เติมมากขึ้น และจะมีความสัมพันธ์กับการสูญเสียร่น้ำหนักเมื่อทำให้สุก โดยถ้าน้ำหนักเมื่อทำให้เนื้อสุกมีค่าต่ำจะส่งผลให้ค่าผลผลิตเพิ่มมากขึ้นและค่าความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเนือบคสามารถกักน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เจลที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่น โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ ค่าความแข็งแรงของเจลจะมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 195.637 กรัมต่อเซนติเมตร ซึ่งเมื่อเทียบกับการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ปริมาณ 0 ,1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความแข็งแรงของเจลจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือ เจลของเนือบคที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีความแข็งแรงของเจลมาก เนื้อบคมีความยืดหยุ่นดีและอุ้มน้ำได้มากที่สุดและเมื่อทำการตรวจลักษณะเนือบคขึ้นรูปเพื่อคุณลักษณะของเนื้อเชิงพรรณาด้าน สี ความสดใส และการเกาะตัวกัน จะได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ลักษณะของเนือบคขึ้นรูปโดยพิจารณาด้วยวิธีเชิงพรรณนา ทางด้านสี ความสดใสและการเกาะตัวกันของเนื้อ

โซเดียมไบคาร์บอเนต(%)	ลักษณะเจลของเนื้อ		
	สี	ความสดใส	การเกาะตัวกัน
0	เนื้อจะมีสีเขียวซีด	เนื้อ ไม่สดใส	เนื้อเกาะตัวกันไม่ดี
1.0	เนื้อเริ่มจะมีสีเขียวซีด	เนื้อเริ่มมีความสดใสน้อย	เนื้อมีการเกาะตัวกันได้บ้าง
1.5	เนื้อจะมีสีแดง	เนื้อมีความสดใสกระเจิงแสงดี	เนื้อมีการเกาะตัวกันดี
2.0	เนื้อจะมีสีแดง ชมพูตามธรรมชาติของเนื้อหมู	เนื้อมีความสดใสมากที่สุด โดยเนื้อมีการกระเจิงแสงดี	เนื้อมีการเกาะตัวกันดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเรา และไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเรา

จากตารางที่ 4.6 เนื้อหุบคที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตมากขึ้นจะทำให้เนื้อที่ได้มีลักษณะที่ดี ความสดใสและการจับเกาะกันดีมากขึ้น โดยเนื้อสดก่อนทำให้สุกที่ไม่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (0 เปอร์เซ็นต์) พบว่า เนื้อบดที่ได้จะมีลักษณะเนื้อที่เกาะตัวกันไม่ดีเนื่องจากเนื้อไม่สามารถดูดน้ำได้หมดและเนื้อมีลักษณะเหลวละ และเมื่อทำให้สุกพบว่า เนื้อจะมีลักษณะไม่เกาะติดกันและค่อนข้างแข็งกระด้าง เมื่อนำมาตัดเป็นชิ้นพบว่า ผิวหน้าของรอยตัดจะแตกขาดง่ายและเป็นขุ่ย เนื่องจากเนื้อเกาะตัวกันไม่ดี สีผิวของเนื้อจะไม่สดใส แต่เนื้อบดที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ ก่อนทำให้สุกพบว่า เนื้อบดจะดูดน้ำได้หมดและใช้เวลาเร็วกว่าเนื้อที่ไม่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต และพบว่า เนื้อที่ได้มีความหนืดมากขึ้น เนื่องจาก การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของพันธะไอออนิก (ionic strength) ขึ้นในส่วนผสมของเนื้อ ทำให้โปรตีนไมโอซินสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น จึงช่วยทำให้เนื้อมีการจับตัวกันดีขึ้น และโปรตีนไมโอซินที่ละลายออกมามากจะเกิดการคลายตัวของเกลียวโปรตีน ทำให้การเกาะตัวกันของโปรตีนไมโอซินและโปรตีนแอคตินดีขึ้น ส่งผลให้การจับกับโมเลกุลของน้ำมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้เกิดการหักเหของแสงที่มากกระทบเปลี่ยนไป จึงมองเห็นเนื้อหุบมีความโปร่งแสงมากขึ้น เนื้อจะดูมีสีสดใสมากขึ้น และเมื่อนำเนื้อไปทำให้สุก สีของเนื้อจะมีสีขาวนวลมากกว่าการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับ 0, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เนื้อมีความสดใสมากกว่าที่ระดับ 0, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้น เนื้อจะมีความสามารถในการจับเกาะกันได้ดีและเนื้อมีความนุ่มและชุ่มน้ำดีมากขึ้นตามลำดับ สำหรับการศึกษาคูณภาพเนื้อหุบคขึ้นรูปด้านประสาทสัมผัสโดยการชิม ด้วยแบบทดสอบ Hedonic Scale คิดคะแนนเฉลี่ยที่ได้ แสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เติมปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตแต่ละระดับ

โซเดียมไบ- คาร์บอเนต (%)	ลักษณะผลิตภัณฑ์				
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	3.080±1.44 ^a	3.960±1.67 ^a	4.200±1.71 ^a	3.640 ± 1.80 ^a	3.560 ± 1.58 ^a
1.0	5.600±1.32 ^b	5.040±1.79 ^a	5.520±1.66 ^{bc}	5.160 ± 1.67 ^b	5.400 ± 1.55 ^b
1.5	5.880±1.54 ^b	4.560±1.87 ^a	5.960±1.51 ^c	5.880 ± 1.67 ^{bc}	6.000 ± 1.44 ^b
2.0	5.360±1.70 ^b	4.560±2.06 ^a	5.360±1.82 ^{bc}	6.120 ± 1.33 ^c	5.72 ± 1.74 ^b

หมายเหตุ - ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้งเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.7 การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในระดับต่างๆ จะมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยลักษณะปรากฏของเนือบคขึ้นรูปที่มีการ การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ระดับ 1.0 , 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผู้ชิมจะให้คะแนนมากที่สุด สำหรับเนือบคที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากผู้ชิมชอบสีและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี คือ เนื้อจะมีผิวหน้าที่ไม่ซีดหรือแห้งแตกมากเกินไป สำหรับกลิ่นของเนื้อพบว่า เนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตทุกระดับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในการทดลองไม่มีการเติมกลิ่นในผลิตภัณฑ์ จึงได้กลิ่นของเนือบคอย่างเดียว ซึ่งผู้ชิมจะไม่ชอบกลิ่นของเนื้อมากนัก โดยส่วนใหญ่จะให้คะแนนสำหรับเนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.0 เปอร์เซ็นต์ มากที่สุด ส่วนด้านรสชาติของเนื้อ พบว่า เนือบคที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.0 เปอร์เซ็นต์และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีรสชาติของเนือบคที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ชิมส่วนใหญ่จะให้คะแนนกับเนือบคที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์มากที่สุด เนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้เนือบคมีรสชาติที่เค็มมากขึ้น ดังจะเห็นได้ว่า เนือบคที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีคะแนนรสชาติและการยอมรับน้อยลง แต่จะมีรสชาติที่ดีกว่าเนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเนื้อสัมผัสของเนือบค พบว่า การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.0 เปอร์เซ็นต์ จะมีลักษณะเนื้อที่ใกล้เคียงกับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และเนือบคที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.5 เปอร์เซ็นต์จะมีลักษณะเนื้อที่ใกล้เคียงกับที่ 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้บริโภคจะให้คะแนนกับเนือบคที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 2.0 เปอร์เซ็นต์ มากที่สุด เนื่องจากเนือบคเกาะตัวกันดี เนื้อมีความนุ่มและความสามารถในการอุ้มน้ำสูง อีกทั้ง เนือบคจะมีเจลที่มีความแข็งแรงมาก เวลาเคี้ยวจะรู้สึกเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเทียบกับเนื้อที่ไม่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต เนื้อจะเกาะตัวกันไม่ดีและเนือบคจะอุ้มน้ำได้น้อย สำหรับความชอบโดยรวม พบว่า การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.0 , 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยผู้ชิมจะให้คะแนนมากที่สุดกับเนื้อที่ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 1.5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากรสชาติไม่เค็มมากเกินไป สีของเนือบคยังคงสดใส และเนือบคมีความสามารถในการอุ้มน้ำดีและมีความนุ่ม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาระยะเวลาในการนวดเนื้อที่ให้คุณภาพเนื้อที่ดีที่สุด พบว่า การนวดเนื้อแบบนวด 5 นาทีพักเนื้อ 10 นาทีแล้วนวดต่ออีก 5 นาทีและการนวดแบบนวด 5 นาทีพักเนื้อ 20 นาทีแล้วนวดต่ออีก 5 นาที จะทำให้ได้เนื้อที่มีค่าแรงเฉือน การสูญเสียน้ำเมื่อทำให้เนื้อสุก (เปอร์เซ็นต์) และผลผลิต(เปอร์เซ็นต์) ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงเลือกการนวดแบบนวด 5 นาทีพักเนื้อ 10 นาทีแล้วนวดต่อ 5 นาที มาใช้ในการศึกษาผลของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อคุณภาพเนื้อ โดยพบว่า การเติมปริมาณ โซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้น โดยเนื้อจะมีแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นเนื้อต่ำสุดเท่ากับ 1387.600 กรัม และเนื้อจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อดีที่สุด โดยเท่ากับ 77.766 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้ง มีปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในระหว่างทำให้สุกต่ำ ส่งผลให้มีค่าการผลิตต่ำ ผลผลิตสุดท้ายจะสูญเสียน้ำหนักน้อยลงตามลำดับ

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับเนื้อหมอบ พบว่า การแช่เย็นเนื้อหมอบที่ผสมส่วนผสมต่างๆ แล้วเป็นเวลา 5-25 ชั่วโมง จะไม่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อหมอบที่ได้ และจากการใช้เนื้อหมอบเติมน้ำ 80 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับส่วนผสมอื่นๆ คือ เกลือ 2 เปอร์เซ็นต์ , โซเดียมไตรฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นระดับที่เนื้อไม่สามารถดูดน้ำได้หมด เมื่อนำมาศึกษาเกี่ยวกับการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต พบว่า เนื้อหมอบที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.0 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของเนื้อได้ดีที่สุดในด้าน สี การเกาะตัวกัน ความสดใสนุ่มของเนื้อ เป็นต้น โดยเนื้อบดจะมีความแข็งแรงของเจลสูงถึง 193.637 กรัมต่อเซนติเมตร และเนื้อบดจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำถึง 78.602 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ความเร็วในการนวดหมูขึ้นควรใช้ระยะเวลา ความเร็วรอบในการหมุนเหวี่ยง การพักเนื้อที่คงที่ สม่ำเสมอตลอดการทดลอง
2. ระยะเวลาในการแช่เย็นเนื้อหมูบด ควรใช้เวลาไม่น้อยกว่า 15 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบดขึ้นรูป มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มาก การเกิดเนื้อสัมผัสที่ในด้านความยืดหยุ่นของเจล
3. ระดับการใช้สารโซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณมาก จะทำให้ผลิตภัณฑ์ มีรสชาติเค็มฝาด ฝืด ฝื่อน ช้ำ ขมเล็กน้อย
4. ควรมีการศึกษาปัจจัยการแช่แข็งของเนื้อหมูขึ้นว่ามีผลต่อคุณภาพในการทำลายโครงสร้างของโปรตีนมากน้อยเพียงใด เพื่อการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ชัยณรงค์ คันทพนิต .2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช , 276 หน้า
- ศิวาพร ศิวเชช .2535 .วัตถุดิบอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร. นครปฐม :ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรม การเกษตรแห่งชาติ , 328 หน้า
- ปาริฉัตร หงสประกาศ .2545. เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชันและเจล. พิมพ์ครั้งที่ 1. พรทิพย์ มินพกิจ .2543. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร . สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์. 2536. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- รัชณี ตันตะพานิชกุล. 2537. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. พิมพ์ครั้งที่ 6 : 400 หน้า
- อบุเชย วงศ์ของและชนิษฐา พูนผลกุล .2547. หลักการประกอบอาหาร . พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,163 หน้า
- Acton ,J.C. 1972. The effect of meat particle size on extractable protein , cooking loss and Binding Strength in chicken loaves. **J. of Food Sci.** 37 : 240-243.
- Acton , J.C. ; Ziegler. G.R. and Burge. D.L. 1983. **Food and Nutrition.** 18 : 99-121.
- Akahane , T. ; Chihara , S. ; Niki , T. ; Sano , T. ; Tsuchiya , T. ; Ookami , S.F. and Matsumoto , J. 1985. Differential Scanning Colorimetric studies on thermal Behaviors of myofibrillar protein. **Bull Jap. Soc — Sci. Fish.** 51 : 1814-1846.
- Asghar , A. ; Samejima. K. and Yasui. T. 1985. Functionality of muscle protein in gelation mechanisms of structured meat products. **Food science and Nutrition.** 22 : 27.
- Bustabad , O.M. 1999. Weight loss during freezing and the storage of trozen meat. **J. of Food Engineering.** 41 : 1-11.
- Carballo , J. ; Cofrades , S. ; Solas , T.M. and Colmenero , F.J. 2000. High pressure/thermal treatment of meat batters prepared from freeze-thawed pork. **Meat Science.** 54 : 357-364.
- Chan , J.K. ; Gill , T.A. ; Thompson , J.W. and Singer , D.S. 1995. Herring surimi during low temperature setting , physicochemical and textural properties. **J. of Food Sci.** 60(6) : 1248-1253
- Damodaran , S. 1994. Structure — Function Relationship of Food Proteins : **Protein Functionality in food system.** Institute of food technologists. Chicago, Illinois.
- Fernandaz , M.F. ; Cofrades , S. ; Carballo , J. and Jimenez , C.F. 2002. Salt and phosphate effects on the gelling process of pressure and heat treated pork batters. **Meat Science** 61(1) : 15-23.
- Forrest , J.C. ; Aberte. E.D. ; Hedrick. H.B. ; Judge. M.D. and Merke. R.A. 1975. **Principles of meat science.** Freeman San Francisco , California. 320p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gillett, T.A. ; Muburg, D.E. ; Brown, C.L. and Sinon, S. 1977. Parameter affection meat protein extraction and interpretation of model system data for meat emulsion formation. *J. of Food Sci.* 42 : 1606-1610.
- Girard, J.P. 1992. *Technology of Meat and Meat products*. New York : Ellis Horwood, 272 p.
- Hamm, R. 1975. Water—holding capacity of meat. *Meat*. Avi publishing Westport, Connecticut. P 321-403.
- Howe, J.R. ; Hamann, D.D ; Lanier, T.C. and Park, J.W. 1994. Fracture of Allaska Pollock gels in water : effect of minced muscle processing and test temperature. *J. of Food Sci.* 59 :777-780.
- Hsu, S.Y. and Chung, H.Y. 2001. Effects of K- carrageenan, salt, phosphates and fat on Qualities of low fat emulsified meatballs. *Meat Science.* 47 : 115-121.
- Hsu, S.Y. and Yu, S.H. 1999. Effects of phosphate, water, fat and salt on qualities of low-fat emulsified meatball. *Meat Science.* 39 : 123-130.
- Ishioroshi, M. ; Samejima, K. ; Arie, Y. and Yasui, T. 1981. Further stydies on roles of the head and tail regions of the myosin molecule in heat—induced gelation. *J. of Food sci.* 47 : 114-120, 124
- Iwata, K. and Okada, M. 1971. Protein denaturation in stored frozen alaska—Pollock muscle —I, protein extractability and kamaboko forming ability of frozen surimi. *Bull Jap. Soc Sci. Fish.* 137(2) : 1191-1198.
- Jean, P.G. 1992. *Technology of meat products*. England : Ellis horwood limited, 127-131.
- Jeffery, J.S. ; Fred, P. ; Jason, B. ; Gordon, L.S. and Rhonda, K.M. 2003. Strategies to eliminate atypical flavours and aromas in sow loins. I. Opimization of Sodium tripolyphosphate, Sodium bicarbonate, and injection level. *Meat Science* 65(2003)1211-1222.
- Katsuji, S. ; Takayasu, K. and Masaya, F. 1988. Relation between gelation behavior of ground chicken muscle and soybean proteins and their differential scanning calorimetric studies. *J. of Food sci.* 53 : 1076-1080.
- Kramas, E. 1976. *Processed Meat Technology*. Noyes Data Corp. Park Ridge, New Jersey. London, England.
- Lankey, J.W. ; Mandigo, T.W. and Calkins, C.R. 1986. Effect of salt and phosphate on the texture and colot stability of restructured beef steaks. *J. of Food Sci.* 51 : 873-875, 911
- Lan, Y.H. ; Novakofski, J. ; McCusker, R.H. ; Brewer, M.S. ; Carr, T.R. and Mckeith, F.K. 1995a. Thermal gelation properties of protein fractions from, pork and chicken breast muscle. *J. of Food Sci.* 60 :742-747, 752.
- Lan, Y.H. ; Novakofski, J. ; McCusker, R.H. ; Brewer, M.S. ; Carr, T.R. and Mckeith, F.K. 1995b. Thermal gelation of pork, beef, fish, chicken and turkey muscles as affected by heating rate and pH. *J. of Food Sci.* 60 : 936-940, 945.
- Lanier, T.C. 1986. Functional properties of surimi. *Food technology.* 40 : 107.

- Lanier, T.C. ; MacDonald, G.M. and Scott, D.N. 1988. **Surimi technology workshop notes**. Nelson, New Zealand. July 19-21. 131 p.
- Lee, C.M. 1984. Surimi processing technology. *Food Technol.* 38(1) : 69-80.
- Mandigo, R.W. 1986 Restructuring of muscle foods. *Food Technol.* 40(3) : 85-89.
- Marcy, J.A. ; Kraft, A.A. ; Hotchkiss D.K. ; Molins, R.A. ; Olson, D.G. ; Walker, H.W. and White, P.J. 1988. Effect of acid and alkaline pyrophosphate blends on the natural flora of a cooked meat system. *J. of Food Sci.* 53 : 25-27.
- Miller, D.D. 1998 . *Food Chemistry : a laboratory manual* . New York : Wiley., 153 page
- Miller, M.F. ; Davi, G.W. , Seideman, S.C. and Ramsey C.B. 1986. Effects of chloride salts on appearance, palatability, and storage traits of flaked and formed beef bullock restructured steaks. *J. Food Sci.* 51:1424-1426, 1434.
- Montejano, J.G. ; Hamann, D.D. and Lanier, T.C. 1984. Thermally induced gelation of selected comminuted muscle system — rheological changes during processing final strength and microstructure. *J. of Food Sci.* 49 : 1496-1505.
- Ngapo, T.M. ; Babare, I.H. ; Reynolds, J. and Mawson, R.F. 1999. Freezing and thawing rate effects on drip loss from sample of pork. *Meat Science.* 53 : 149-158.
- Niinivaara, F. and Antila, P. 1972. *Der Naehrwert des Fleisches*. Fleischforschung und praxis, Schriftenreihe Herft 8. Verlag Hess Druckwerk — statetten, Alzey. 50p.
- Niwa, E. 1992. Chemistry of surimi gelation. Edited by Lanier T.C. and M.C. Lee. *Surimi technology*. Marcel Dekker, Inc : New York : 389-421.
- Norsad, A. AKM ; Kanoh, E. ; Kanoh, S. and Niwa, E. 1996. contribution of transglutaminase to the setting of fish pastes at various temperatures, *Fisheries. Sci.* 62(1) : 94-97.
- Okada, M. 1985 Ingredients on gel texture, pp. 515-528. In R.E. Martin and R.L. Collette (eds). *Proceeding of the International Fisheries Institute*, Washington. D.C.
- Pappa, I.C. ; Bloukas, J.G. and Arvanitoyannis, I.S. 2000. Optimization of salt, olive oil and pectin level for low-fat frankfurters produced by replacing pork backfat with olive oil. *Meat Science.* 56 : 81-88.
- Park, S. ; Brewer, M.S. ; Mckeith, F.K. ; Bechtel, P.J. and Novakofski. 1996. salt, cryoprotectants and preheating temperature effects on surimi — like material from beef or pork. *J. of Food Sci.* 61 : 790-795
- Paul, P.C. and Palmer, H.H. 1972. *Food theory and applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- Pepper, F.H. and Schmidt, G.R. 1975. Effect on blending time, salt, phosphate and not — boned beef on binding strength and cook yield of beef rolls. *J. of Food Sci.* 40 : 227-229
- Pigott, M.G. 1986. Surimi: The “High tect” raw materials from minced fish flesh. *Food Rev. Int.* 2 : 213-246
- Pomeranz, Y. 1985. *Functional properties of Food components*. Academic press, Inc. , New York.

- Puolanne, J.E; Marita, H. ; Tuusunen, H.M and Vainionpaa ,I.J. 2001. Combined effects of NaCl and raw meat pH on water-holding in cooked sausage with and without added phosphate. *Meat Science*. 58 : 1-7.
- Ranken, M.D. 2000 *Handbook of Meat product Technology* . Oxford : Blackwell Science, 212 page
- Saliba, D.A. ; Focgeding, E.A. and Hamann D.D. 1987. Structural failure and nondestructive rheological analysis of frankfurter batters : Effects of heating rate and sugar. *J. Texture Studies*. 18 : 241.
- Samejima, K. ; Ishioroshi, M. and Yasui, T. 1981 relative roles of the head and tail portion of the molecule in heat—induced gelation of ไมโอซิน. *J. of Food Sci*. 46 : 1412-1418
- Sano, T. ; Noguchi, S.F. ; Matsumoto, J.J. and Tsuchiya T. 1989a. Dynamic viscoelastic behavior of F-actin on heating. *J. of Food Sci*. 54 :231.
- Sano, T. ; Noguchi, S.F. ; Matsumoto, J.J. and Tsuchiya, T. 1989b Role of F-actin in thermal gelation of fish actomyosin. *J. of Food Sci*. 54 :800-804.
- Sheard, P.R. and Tali. A. 2004. Injection of salt, tripolyphosphate and bicarbonate marinade solutions to improve the yield and tenderness of cooked pork loin. *Meat Science* 68,2 : 305-311
- Shults, G.W. and Wierbichi, E. 1972. Effect of condensed phosphate on pH, swelling and water holding capacity of beef. *J. of Food Sci*. 37 : 860-864.
- Suzuki, T. 1981 *Fish and Krill Protein : Processing and Technology*. Applied Sci. Publisher. , London. 260 p.
- Taketshi, S. ; Noguchi, S.F. ; Matsumoto, J.J. and Tsuchiya, T. 1990. Thermal gelation characteristics of myosin subfragments. *J. of Food Sci*. 55 : 55-58, 70.
- Torley, P.J.; Bruce, R.A. and Trout, R.C. 2000. The effect of ionic strength, polyphosphates type, pH, cooking temperature and preblending on the functional properties of normal and pale, soft, exudative (PSE) pork. *Meat Science*. 55 : 451-462.
- Unal, S.B. 2004 .Experimental theory, fundamentals and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats. *Journal of Food Engineering* 65,2 : 263-272
- Wynveen, E.J. 2001 .Pork quality is affected by early postmortem phosphate and bicarbonate injection. *Sensory and Nutritive Qualities of Food* 66,6 : 886-891
- Xiong, Y.L. and Breake, C.J. 1989. Changes in protein solubility and gelatin properties of chicken myofibrils during storage. *J. Food Sci*. 54 : 1141-1146.
- Xiong, Y.L. 1994. Myofibrillar during protein from different muscle fiber types : Implication of biochemical and functional properties in meat processing. *Crit. Rev. Food science and Nutrition*. 34(3) :229-320.
- Xiong, Y.L. and Breake, C.J. 1990a. Thermal transition of salt—soluble protein form pre and postrigor chicken muscle *J. Food Sci*. 55 :1540-1543, 1570.
- Xiong, Y.L. and Breake, C.J. 1990b. Physicochemical and gelation properties of pre and postrigor chicken salt-soluble proteins. *J. Food Sci*. 55 : 1544-1548.

Yasui , T. ; Ishioroshi , M. and Samejima , K. 1980. Heat — induced gelation of myosin in the presence of actin. **J. Food Biochem.** 4 : 61-78.

Yasui , T. ; Ishioroshi , M. and Samejima , K. 1982. Effect of actomyosin on heat — induced gelation of myosin. **Agric. Biol Chem.** 46 : 1049-1059.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

**วิธีวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าสูญเสียเมื่อได้รับความร้อนและเปอร์เซ็นต์ผลผลิต
ภายหลังจากผ่านความร้อน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC)

(Wierbicki et. al. 1962)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม ปั่นรวมกับน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 2 นาที
2. นำส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันมา 10 กรัม ใส่ในหลอด Centrifuge แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 5 นาที
3. เทน้ำส่วนบนทิ้งแล้วชั่งน้ำหนักที่เหลือ

$$\text{ร้อยละ WHC} = \frac{\text{น้ำหนักโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนเหวี่ยง}} \times 100$$

2. วิธีวิเคราะห์ค่าสูญเสียเมื่อได้รับความร้อน (Cooking loss, CL) (Bernthel et. al. 1991)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อนภายในภาชนะบรรจุ โดยบันทึกน้ำหนักภาชนะบรรจุเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนตามวิธีการทดลอง
2. น้ำหนักตัวอย่างภายหลังการให้ความร้อนและทำให้เย็นแล้ว โดยนำตัวอย่างที่ได้มาซับด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 1

$$\text{ร้อยละ CL} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อน} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังให้ความร้อน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อน}} \times 100$$

3. วิธีวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนทำการผสมน้ำหมัก หลังจากนั้นนำไปผสมกับน้ำหมักและนำไปผ่านความร้อนตามวิธีการทดลอง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างภายหลังจากผ่านความร้อนและทำให้เย็นแล้ว โดยตัวอย่างจะต้องชั่งน้ำหนักให้แห้ง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ ผลผลิต (Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังให้ความร้อน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างสด}} \times 100$$





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวัดค่าความแข็งแรงของเจล (Lan *et. al.* 1995a)

สำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่อทดสอบความแข็งแรงของเจล (gel strength) โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ทำได้โดย การนำผลิตภัณฑ์มาตัดเป็นท่อนยาว 3 เซนติเมตร

วิธีทดสอบ

1. ทำการ Calibrate Force ที่เครื่อง Texture analysis รุ่น TA-XT2 โดยใช้ลูกตุ้ม 5 กิโลกรัม ขณะทำการ Calibrate Force ต้องแน่ใจว่าไม่มีหัววัดอยู่ โดยเลือกที่ TA - Calibrate Force
2. ทำการ Calibrate Probe โดยการติดตั้งหัววัดลูกตุ้ม (Spherical probe) เข้ากับตัวเครื่องให้เรียบร้อยและตั้งระยะห่างระหว่าง Probe กับฐานแทนที่วัด 40 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการ Calibrate Probe โดยการเลือกที่ TA - Calibrate Probe
3. นำตัวอย่างมาวางบนฐานของเครื่องวัดและทำการตั้งค่าการทดสอบ กำหนดค่าในการทดสอบดังนี้

Setting Mode	:	Measure Force in Compression
Option	:	Return to Start
Pre-Test Speed	:	1.0 mm/s
Test Speed	:	1.1 mm/s
Post-Test Speed	:	10.0 mm/s
Distance	:	15 mm
Trigger Force	:	Auto - 10 g
Data Acquisition Rate	:	200 pps

4. ทำการวัดค่าแรงเฉือน โดยการเลือก TA - Run a test

วิธีการคำนวณ

ค่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{Gel strength} = \text{Force (g)} \times \text{Distance (cm)}$$

เมื่อ Force คือ แรงกดที่มากที่สุด มีหน่วยเป็นกรัม

Distance คือ ระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

2. การวัดค่าแรงเฉือน (Shear Force)

สำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่อทดสอบแรงเฉือน (shear force) โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ทำได้โดย การนำผลิตภัณฑ์เนื้อมาตัดให้ได้ขนาด 2x3x1 เซนติเมตร หมักเข้ากับน้ำหมักและให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

วิธีการทดสอบ

ทำการตั้งค่าเครื่องวัดเนื้อสัมผัสเหมือนการวัดค่าความแข็งของเนื้อ โดยใช้หัวตัด (Blade set with Guillotine) โดยค่าแรงเฉือนของตัวอย่างที่อ่านได้จากกราฟ คือ แรงที่ใช้ในการตัดชิ้นตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม



แบบประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัส

“Hedonic scale scoring test”

ชื่อผู้ทดสอบชิม..... วันที่ทดสอบ.....

ชื่อผลิตภัณฑ์ หมูปดขี้รูป

คำชี้แจง โปรดทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ และให้ระดับความชอบและไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์หมูปดขี้รูป ใช้สเกลที่เหมาะสมเพื่อแสดงให้เห็นว่า ท่าน ได้อธิบายความรู้สึกชอบและไม่ชอบในระดับใด โปรดใช้เหตุผลในการอธิบายความรู้สึกของท่านด้วย การแสดงความรู้สึกของท่านอย่างแท้จริงจะเป็นประโยชน์มากต่อการทดลองครั้งนี้

กำหนดการให้คะแนน

- | | |
|---------------------|------------------|
| 1 = ไม่ชอบมากที่สุด | 6 = ชอบเล็กน้อย |
| 2 = ไม่ชอบมาก | 7 = ชอบปานกลาง |
| 3 = ไม่ชอบปานกลาง | 8 = ชอบมาก |
| 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย | 9 = ชอบมากที่สุด |
| 5 = เฉยๆ | |

ระดับความชอบ					
ลักษณะปรากฏ					
กลิ่น					
รสชาติ					
เนื้อสัมผัส					
ความชอบรวม					

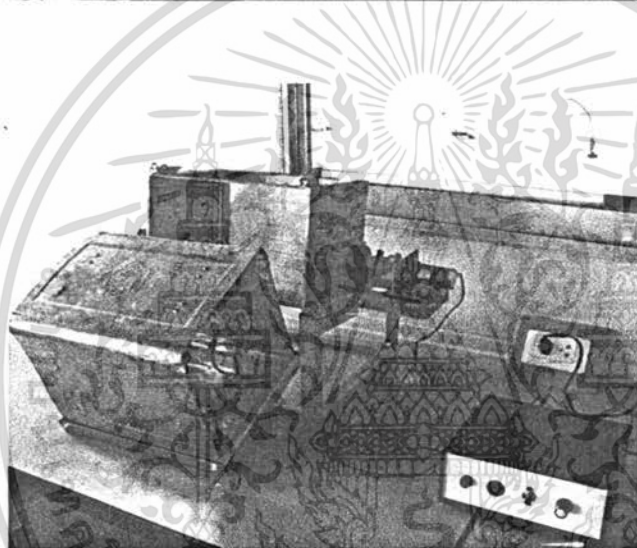
เหตุผลของความชอบหรือไม่ชอบผลิตภัณฑ์หมูปดขี้รูป (โดยเน้นที่รสชาติและเนื้อสัมผัส)

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

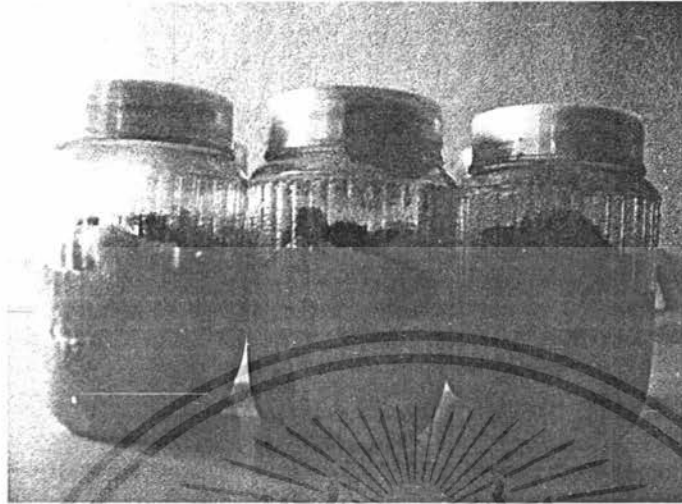


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ง1 แสดงเครื่องที่ใช้ในการนวดเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

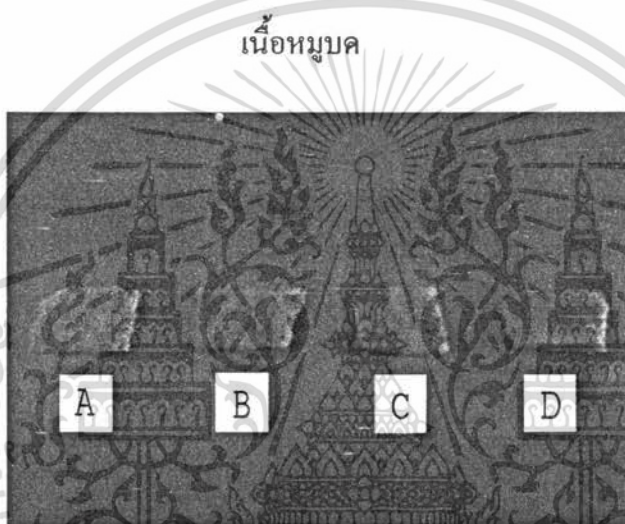
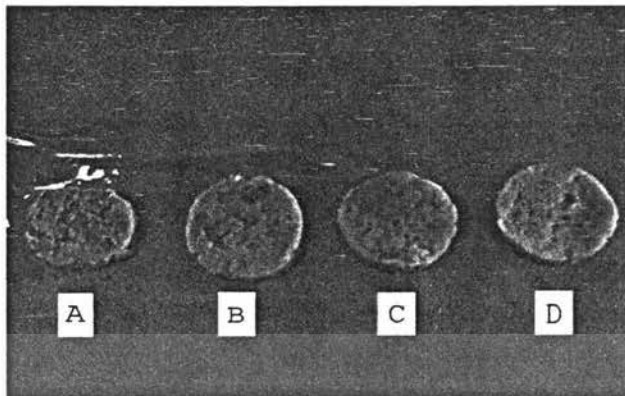


ภาพที่ ๓๒ แสดงบรรจุภัณฑ์ที่ใส่เนื้อสำหรับใส่ในเครื่องนวด และมีการใช้ลูกแก้วในการช่วยนวดเนื้อ เพื่อให้เนื้อ ดูนุ่มหนึบได้มากขึ้น



ภาพที่ ๓๓ แสดงเครื่อง Centrifuge ที่ใช้ในการหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เนื้อหมูชั้น

- A คือ เนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 0 เปอร์เซ็นต์ (Control)
- B คือ เนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 เปอร์เซ็นต์
- C คือ เนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 1.5 เปอร์เซ็นต์
- D คือ เนื้อที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ ๓๔ แสดงลักษณะเนื้อบดและเนื้อที่หั่นเป็นชิ้นที่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้