การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร

STUDY ON FACTORS AFFECTING GELATION OF PORK

พรทิพย์ มีนพกิจ

PORNTHIP MEENOPPHAKIJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-726-2

ขหม่.....
ขทะเบียน.....35707
น, เดือน, ปี19 มิ.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON FACTORS AFFECTING GELATION OF PORK

PORNTHIP MEENOPPHAKIJ

THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2000

ISBN 974-622-726-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2000
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร
นักศึกษา	นางสาวพรทิพย์ มีนพกิจ
รหัสประจำตัว	40066006
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.เยาวลักษณ์ สุวพันธพิศิษฐ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ , ดร.ยุพร พืชกมุทร

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้นในด้านเนื้อสัมผัส เริ่มจากการเก็บรักษาวัตถุดิบภายหลังจากการตัดแต่งและแช่เย็นมาแล้วไม่เกิน 24 ชั่วโมง พบว่าการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะการเก็บรักษาที่ทำให้เนื้อมีคุณภาพดีและเมื่อนำไปแปรรูปทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ดี โดยการทดสอบด้วยการพับแล้วจัดอยู่ในเกรด 3 และมีค่าน้ำหนักสูญเสียเมื่อได้รับความร้อน (Cooking loss) ต่ำ โดยมีค่า 12.88 เปอร์เซ็นต์

การบดเนื้อให้ละเอียดมีผลต่อการสกัดได้ของโปรตีน จากการศึกษาพบว่าเมื่อบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นบดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 2 มิลลิเมตร และเติมเกลือที่ระดับ 4% แล้วนำไปให้ความร้อนเพื่อทำให้เจลของผลิตภัณฑ์มีการเซ็ทตัวและคงตัวที่เหมาะสม โดยใช้ความร้อนในการทำให้เจลเซ็ทตัวที่อุณหภูมิ 40 - 45 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และทำให้เจลคงตัวที่อุณหภูมิ 90 – 95 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่มีคุณภาพดี โดยการทดสอบด้วยการพับแล้วจัดอยู่ในเกรด 4 และมีค่าน้ำหนักสูญเสียเมื่อได้รับความร้อนต่ำ มีค่าอยู่ในช่วง 2.98 – 3.40 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการศึกษาผลของสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตต่อการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ พบว่าปริมาณสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพของเจลที่ดี โดยมีค่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) สูงถึง 316.777 กรัมเซ็นติเมตร เมื่อทดสอบด้วยการพับแล้วจัดอยู่ในเกรด 5 และผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำน้ำมากขึ้นโดยมีค่าน้ำหนักสูญเสียเมื่อได้รับความร้อนต่ำเพียง 1.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่ได้จะต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของการใช้เกลือเพียงอย่างเดียว (3.19 เปอร์เซ็นต์)

จากสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้ศึกษา อาจนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เนื้อลดขนาด อิมัลชั่น เช่น หมูยอ ซึ่งการเติมไขมันในสูตรควรใช้ในรูปของพรีอิมัลชั่น (Fat emulsion) โดยให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีเกลือเหลืออยู่ไม่เกิน 2.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study on Factors Affecting Gelation of Pork.
Student	Miss Pornthip Meenopphakij
Student ID.	40066006
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2000
Thesis advisor	Assist. Prof. Yauwalak Surapantapisit
Thesis co - advisor	Assist. Prof. Dr. Ratiporn Haruenkit
	Dr. Yuporn Puechkamut

ABSTRACT

This research aims to understand factors affecting gelation of pork meat for development of meat product with high juiciness and to obtain consumer acceptance. The experiments were conducted by varying temperatures of storage of pork meat after being slaughtered and chilled for less than 24 hours. It was found that the meat stored at -4 °C for 1 hour had the best texture, indicated by folding test grade of 3 and cooking loss value of 12.88%.

Extraction of protein from pork meat was shown to be directly proportional to surface area of grounded meat particle. The result showed that the best texture of pork meat product was obtained by adding 4% NaCl during grounding the meat through 2 millimeter plate. This was followed by cooking the meat at optimum heat of 40 - 45 °C for 20 minutes and 90 – 95 °C for another 20 minutes to allow the gel to set and stabilise, respectively. The product obtained had a folding test grade of 4 and cooking loss value between 2.98 and 3.40%

The effect of sodium tripolyphosphate on gelation of pork meat product was also investigated. It was found that using 0.5% sodium tripolyphosphate resulted in meat product with a high gel strength value of 316.777 g.cm and a folding test grade of 5. The product had the highest juiciness, indicated by a cooking loss value as low as 1.67%. This cooking loss value was found to be less than a half of that obtained when using salt alone (3.19%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The information gained from this study may be useful for development of comminuted emulsion meat product (Vietnam sausage). The fat used in this product was in a fat emulsion form. This provided the final product containing less than 2.5% salt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ความรู้ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ และคำแนะนำอันมีค่าและเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระติพร หาเรือนกิจ และ ดร.ยุพร พืชกมุทร ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม อีกทั้งให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุจิรา ตราปราบ ที่ได้ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งช่วยตรวจสอบและแก้ไขรวมทั้งให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ดร. ศศิวิมล ชื่นอิ่ม ที่ได้ตรวจสอบและแก้ไขบทคัดย่อภาษาอังกฤษจนบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความสมบูรณ์และถูกต้อง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธ์ประสาทความรู้ในด้านการอาหารแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษาจนข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณทุนราชกรีฑาสโมสรและบัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ และบริษัท Fresh Meat จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เรื่องวัตถุดิบตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิคและเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณคุณนุจรี อินอุดม คุณจักรภพ บุญกว้าง คุณจารุณี ยาห้องกาศ และคุณรัตนภัทร เที่ยงมิตร เป็นอย่างมากที่ได้ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด รวมถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่ได้ให้ความปรารถนาดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ท่านได้สนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พรทิพย์ มีนพกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

สารบัญ.....V

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ขอบเขตของการศึกษา.....2

1.3 วัตถุประสงค์.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ.....3

2.2 คุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ของโปรตีน.....13

2.3 การเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์.....19

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์.....34

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....45

3.1 วัตถุดิบ.....45

3.2 อุปกรณ์ในการผลิต.....45

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์.....46

3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ (Salt - soluble protein).....46

3.5 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity).....47

3.6 สถานที่ทำการทดลอง.....47

3.7 วิธีการทดลอง.....48

3.8 การเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปทดสอบคุณภาพ.....51

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....52

4.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาวัตถุดิบต่อคุณภาพของการเกิดเจล.....52

4.2 ผลของการบดเนื้อให้ละเอียดต่อการสกัดได้ของโปรตีนด้วยเกลือในปริมาณต่าง ๆ กัน.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ทำให้เจลเซ็ทตัวและคงตัวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์.....64
4.4 ผลของการใช้สารประกอบฟอสเฟตเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของเจล.....66
4.5 ผลของการนำสภาวะที่เหมาะสมมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ.....70

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....73

ข้อเสนอแนะ.....74

บรรณานุกรม.....75

ภาคผนวก.....82
ก. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไขมัน.....83
ข. วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและความเป็นกรด-ด่าง.....86
ค. วิธีวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าน้ำหนักความสูญเสีย
เมื่อได้รับความร้อน.....88
ง. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ.....90
จ. วิธีทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยวิธี Folding test.....92
ฉ. วิธีทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการวัด Gel strength.....94
ช. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gel strength และค่า Cooking loss
ของผลิตภัณฑ์.....98
ซ. ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมูยอและขั้นตอนการผลิต Fat emulsion.....100

ประวัติผู้เขียน.....102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะของโปรตีนกล้ามเนื้อที่ละลายได้....9

2.2 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ชนิดต่าง ๆ (มิลลิกรัม/100กรัม)....11

2.3 แสดงปริมาณวิตามินที่สำคัญในเนื้อสัตว์ชนิดต่าง ๆ (กรัม/100กรัม)....12

2.4 แสดง Functional properties of food proteins....14

2.5 แสดง Functional roles of food proteins in food system....15

4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสุกรก่อนนำไปศึกษา....52

4.2 แสดงผลของระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (การทดสอบโดยการพับ) ที่ได้จากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาตามอุณหภูมิและเวลาต่างกัน....57

4.3 แสดงผลของระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (การทดสอบโดยการพับ) ที่มีปริมาณเกลือต่างกันและวัตถุดิบมีการบดผ่านแผ่นแว่นขนาดต่าง ๆ กัน....63

4.4 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเซ็ทตัวและคงตัวของเจลต่อค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์....65

4.5 แสดงผลของปริมาณ STP ต่อค่า pH ความชื้น และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์ ค่า cooking loss และค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์....67

4.6 แสดงค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติม Fat emulsion....71

จ1 แสดงการแบ่งเกรดคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากการทดสอบโดยการพับ....92

ช1 แสดงข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gel strength และค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์....99

ช2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gel strength และค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงโครงสร้างของไมโอซิน ส่วนที่เป็นหัวกลมและหางยาว และแสดงจุดที่แตกออก เมื่อถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์....1

2.2 แสดงโมเลกุลไมโอซินและส่วนฟิลาเมนต์หนา....7

2.3 แสดง Shematic diagram of the myosin molecule showing the length and molecular weight of its various subunits....7

2.4 แสดงลักษณะการเกาะจับของน้ำภายในกล้ามเนื้อในรูปแบบต่าง ๆ....11

2.5 แสดงความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ของโปรตีน....14

2.6 แสดงการเกาะกันระหว่างขั้วประจุที่ต่างกันของโมเลกุลโปรตีนและโมเลกุลของน้ำ....18

2.7 แสดง Formation of a gel network structure by polymers....21

2.8 แสดง A proposed mechanism for heat – induced gelation of globular protein....22

2.9 แสดงกลไกการเกิดเจลของไมโอซิน....26

2.10 แสดงการเกิดเจลของแอกโตไมโอซินจากโปรตีนไมโอไฟบริล....26

2.11 แสดงการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโปรตีนในระหว่างกระบวนการผลิตซูริมิ....28

2.12 แสดงกระบวนการเกิดเจลของคามาโบโกะ (Kamaboko)....29

2.13 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกของกรดอะมิโน....31

2.14 แสดงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสายโพลีเปปไทด์....32

2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือกับค่า Gel strength ของคามาโบโกะ....39

4.1 แสดงอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน....52

4.2 แสดงปริมาณความชื้นของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน....53

4.3 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน....54

4.4 แสดงปริมาณความชื้นของเนื้อแบตเตอร์ที่ได้จากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน....55

4.5 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์ที่ได้จากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน....55

4.6 แสดงค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเนื้อสุกร ที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน....56

4.7 แสดงกราฟที่จากการวัดค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือเพียงอย่างเดียว....60

4.8 แสดงผลของการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นขนาดต่าง ๆ กันและปริมาณเกลือที่ใช้ในการปั่นผสม ต่อปริมาณการสกัดได้ของโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.9 แสดงผลของการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นขนาดต่าง ๆ กันและปริมาณเกลือ
ต่อค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์....62
4.10 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 4%
และฟอสเฟต 0.5%....69
4.11 แสดงค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์สูตรที่เติมเกลือและมันแข็งในปริมาณต่าง ๆ กัน....70
จ1 แสดงลักษณะตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยการพับ....93
ฉ1 แสดงเครื่องวัด Gel strength (Texture analyser รุ่น TA-XT2)....96
ฉ2 แสดงลักษณะของตัวอย่างที่ใช้วัด Gel strength....96
ฉ3 แสดงลักษณะการวัด Gel strength ของผลิตภัณฑ์....97
ฉ4 แสดงลักษณะกราฟที่ได้จากการวัดค่า Gel strength....97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โปรตีนเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกาย นอกจากจะช่วยทำให้ร่างกายเจริญเติบโตแล้วยังช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ช่วยทำให้ระบบการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ เป็นไปตามปกติ แหล่งของโปรตีนที่พบมาก ได้แก่ เนื้อสัตว์ นม ไข่ และถั่ว พบว่าโปรตีนที่ได้จากถั่วมักจะขาดกรดอะมิโนไลซีน ดังนั้นเนื้อสัตว์ นม และไข่ จึงเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญเนื่องจากให้กรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน

กล้ามเนื้อประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำประมาณ 75.5 % โปรตีนรวม 18 % ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) 3.5 % แป้ง 1.2% ไขมัน 2.5 % ที่เหลือเป็นส่วนน้อยคือคาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ วิตามิน และสารอินทรีย์ (เยาวลักษณ์. 2536) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเนื้อสัตว์มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง จึงเหมาะแก่การบริโภค และในปัจจุบันนี้มีผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเนื้อสัตว์เป็นจำนวนมาก อาทิเช่น ไส้กรอก ลูกชิ้น หมูหยอง หมูยอ ฯลฯ สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเนื้อสุกรและเนื้อไก่ เป็นที่น่าสังเกตว่าผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์จะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ต้องอาศัยคุณลักษณะที่สำคัญทางเนื้อสัมผัส คือ ความยืดหยุ่น ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำน้ำ นอกจากนี้ยังต้องมีคุณลักษณะทางด้านกลิ่นรสและสีที่ดีด้วยจึงจะเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ คือ คุณภาพของวัตถุดิบทั้งชนิดเนื้อสัตว์และตำแหน่งของกล้ามเนื้อ กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อการเกิดคุณลักษณะในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี มีเนื้อสัมผัสที่ดี และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

การเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์ มีผลโดยตรงต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยมากการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสัตว์มักจะมุ่งเน้นเรื่องการเกิดเจลของเนื้อปลาและเนื้อไก่ สำหรับเนื้อสุกรยังมีข้อมูลเป็นจำนวนน้อยทำให้ข้อมูลที่ได้ยังไม่เพียงพอกับการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากเนื้อสุกรที่นับวันยิ่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นถ้าได้มีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร ผลที่ได้ย่อมเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องตลอดจนโรงงานผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จากเนื้อสุกรได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร โดยทำการศึกษาเรื่องการเก็บรักษาวัตถุดิบ ขนาดของการบดวัตถุดิบ ปริมาณเกลือในการนวดผสม อุณหภูมิที่ใช้ในการต้ม และปริมาณโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีทางด้านเนื้อสัมผัสซึ่งจะมีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร

1.3.2 เพื่อศึกษาปริมาณของโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร

1.3.3 เพื่อศึกษาการใช้สารประกอบฟอสเฟตเพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1.3.4 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สำเร็จให้มีคุณภาพที่ดีทางด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อ

2.1.1 โปรตีน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในเนื้อแดงของวัว สุกร แกะ พบว่ามีส่วนประกอบต่าง ๆ โดยเฉลี่ยดังนี้ น้ำ 75.5% โปรตีน 18% ไขมัน 3% แป้ง 1.2% ไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (NPN) 3.5% วิตามินและเกลือแร่อีกเล็กน้อย (เยาวลักษณ์. 2536) องค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามปัจจัยต่าง ๆ คือ สายพันธุ์ อายุ อาหารที่ใช้เลี้ยง

โปรตีนจากกล้ามเนื้อแบ่งตามคุณสมบัติในการละลายได้ 3 ประเภท คือ

2.1.1.1 ซาร์โคพลาสมิก โปรตีน (Sarcoplasmic protein)

โปรตีนซาร์โคพลาสมิกมีอยู่ประมาณ 30% ของปริมาณโปรตีนกล้ามเนื้อทั้งหมด มีคุณสมบัติที่ละลายได้ในน้ำและสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นต่ำ (Ionic strength 0.06) หน้าที่ของ Sarcoplasmic protein ช่วยทำให้ไขมันและน้ำในไส้กรอกผสมเข้ากันได้ดี (emulsion) โดยทำหน้าที่เหมือนกับ Myofibrillar protein คือเป็น emulsifier ของไขมัน ในผลิตภัณฑ์ emulsion ที่เกิดจาก Sarcoplasmic protein มีความคงตัวน้อยกว่า emulsion จาก Myofibrillar protein แต่มีความคงตัวดีกว่า emulsion จาก Connective tissue protein และโปรตีนจำพวกนี้จะตกตะกอนด้วยความร้อนและจะเข้าไปเกาะกับ Myofibrillar protein และเชื่อว่า Sarcoplacmic protein เป็นตัวขัดขวางการเกิดเจล โปรตีนที่สำคัญได้แก่

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

2) **globulin x** เป็นโปรตีนรูปร่างทรงกลมคล้ายกับเอนไซม์ทั่วๆไป บทบาทและหน้าที่ยังไม่แน่ชัด

3) **myoglobin** เป็นโปรตีน chromoprotein ที่มี heme เป็นองค์ประกอบคล้ายกับ haemoglobin บางทีเรียกว่า haemoglobin ของกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ในการรับ-ส่งออกซิเจนในเซลล์กล้ามเนื้อ เป็นตัวการทำให้กล้ามเนื้อมีสี สีของเนื้อขึ้นอยู่กับ myoglobin ถึงกว่า 90% ที่เหลืออีก 10% ขึ้นอยู่กับ haemoglobin โดยทั่วๆ ไปในกล้ามเนื้อลายพบ myoglobin ไม่มาก พบเพียง 0.1-0.2% ของโปรตีนทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมด แต่สำหรับกล้ามเนื้อชนิดที่ต้องทำงานหนักและต้องการพลังงานมากจากกระบวนการ electron transport system เช่น กล้ามเนื้อหัวใจจะมี myoglobin อยู่มากเป็นพิเศษ

2.1.1.2 ไมโอไฟบริลลาร์ โปรตีน (Myofibrillar protein)

โปรตีนไมโอไฟบริล คือโปรตีนในไมโอไฟบริลซึ่งเป็นโครงสร้างของกล้ามเนื้อและทำหน้าที่ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ มีอยู่ประมาณ 55-60% ของโปรตีนทั้งหมด ภายหลังจากที่สัตว์ตายโปรตีนชนิดนี้ทำให้เกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อเนื่องจากการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นในระหว่าง rigor mortis โปรตีนชนิดนี้เป็น heat-coagulable protein ซึ่งจะ coagulate ที่อุณหภูมิ 130-135 องศาฟาเรนไฮต์ มีคุณสมบัติคือละลายได้ในสารละลายของเกลือเช่น สารละลาย KCl 0.6 โมลาร์ คุณสมบัติที่ละลายได้ในเกลือนี้เองที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการทำผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยการเติมเกลือแกง (NaCl) 2-3% ก่อนหรือในระหว่างการบดสับหรือปรุงผสมเนื้อ เพื่อให้เกลือละลายโปรตีนออกจากเนื้อ โปรตีน actin และ myosin ที่ละลายหรือถูกสกัดออกมาในขณะที่สับเนื้อกับเกลือแกงนี้จะทำให้เกิดลักษณะเป็น solubilized protein sol หรือ paste และเมื่อนำไปให้ความร้อน sol จะเปลี่ยนไปเป็น gel (gel-network) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนเป็นรูปตาข่าย (actomyosin network) มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีความยืดหยุ่น การเกิดโครงสร้างของเจลนี้เกิดขึ้นเนื่องจากพันธะเชื่อมข้าม (cross - linking) ของ actomyosin จากพันธะไฮโดรเจน (hydrogen - bonding) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำและจากพันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic - bonding) ซึ่งเกิดขึ้นทีหลังเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โปรตีนที่พบคือ

1) **myosin** เป็นโปรตีนของฟิลาเมนต์หนา (thick filament) เป็นโปรตีนชนิด hexameric มีโมเลกุลสายยาวขนาดใหญ่และมีปริมาณมากที่สุดประมาณ 35-43% ของโปรตีนไมโอไฟบริล myosin แต่ละโมเลกุลยาว 160 นาโนเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-13 นาโนเมตร มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 ดาลตัน แบ่งออกเป็นส่วนหัวและส่วนหาง (ภาพที่ 2.1 – 2.3) ซึ่งส่วนหัวคือ ส่วน myosin light chain (MLC) มีรูปร่างเป็นก้อนกลม เรียกว่า globular head แต่ละหัวมีเอนไซม์ ATPase สามารถเกิดแรงกระทำ (interaction) กับแอกตินได้ เอนไซม์ ATPase สามารถย่อยสลาย ATP ไปเป็น ADP และฟอสเฟตอนินทรีย์ (Pi) MLC ประกอบด้วยโปรตีน 3 หน่วยย่อย (ภาพที่ 2.3) ดังนี้ ส่วนที่แยกได้ด้วยด่าง เรียก " alkaline light chain (LC - 1) " มีน้ำหนักโมเลกุล 20,700-25,000 ดาลตัน ส่วนที่สองคือส่วนที่แยกได้ด้วย 5.5' - dithiobis (2 - nitrobenzoic acid) เรียกว่า " DTBN light chain (LC-2) " มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับ Phosphoylate โดย kinase แต่หน้าที่ยังไม่ชัดเจน และส่วนสุดท้ายคือ ส่วนที่ละลายในด่างเรียกว่า " alkaline light chain - 2 (LC - 3) " และส่วนหางคือ ส่วน myosin heavy chain (MHC) ซึ่งมี 2 สายพันรอบซึ่งกันและกันเกิดเป็นโครงสร้างแบบ แอลฟา-เฮลิกซ์ (α - helix) มีลักษณะเป็นแท่ง (rod shape) แต่ละสายของ MHC มีขนาด 200,000 ดาลตัน และเมื่อใช้ proteolytic enzyme (trypsin) ย่อย myosin จะได้ 2 ส่วนคือ ส่วนของ heavy meromyosin (HMM) และส่วนของ light meromyosin (LMM) ซึ่ง HMM ประกอบไปด้วยส่วนของ globular head และส่วนต้นของสายแอลฟา-ฮีลิกซ์ ส่วนของ HMM ยังคงมีความสามารถที่จะเกิดแรงกระทำกับแอกตินได้และแอกติวิตีของเอนไซม์ ATPase ยังคงอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

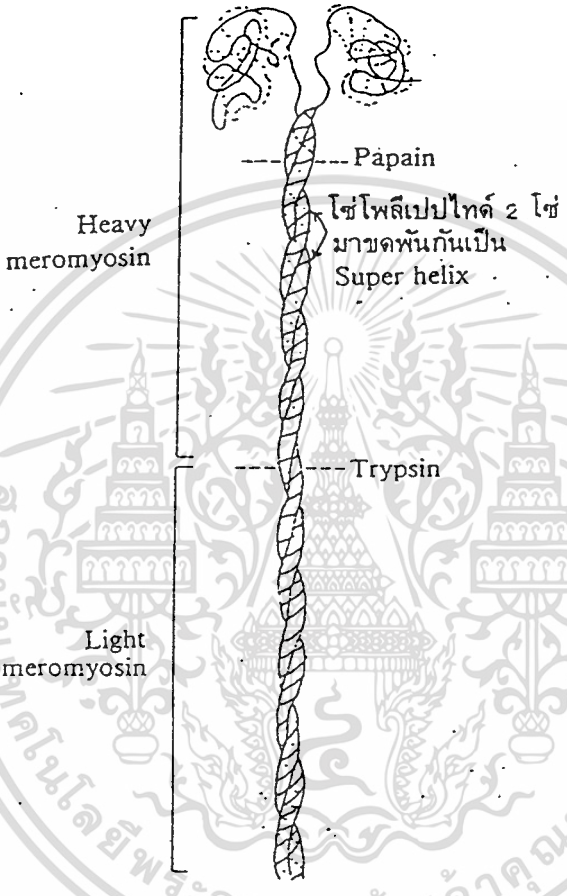
ATPase ยังคงอยู่LMM เป็นส่วนที่เหลือของแท่งแอลฟา - ฮีลิกซ์ เมื่อย่อย HMM ด้วยเอ็นไซม์ปาเปน (papain) เกิดเป็นส่วนย่อย 2 ส่วน คือ เอส-1 (S-1) เป็นส่วนก้อนกลมของ globular head และเอส-2 (S-2) เป็นส่วนแท่งแอลฟา - ฮีลิกซ์ตอนต้น

ไมโอซินเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นเช่นไลซีน (Lysine) อยู่สูง จึงจัดว่าเป็นโปรตีนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่ง mysoin ถูกกำหนดโดยยีน พบว่าเนื้อไก่มียีน 31 ตัวควบคุมส่วน MHC (Xiong. 1994) และ mysoin ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเจลในช่วงการให้ความร้อนด้วย mysoin สามารถสกัดได้โดยใช้น้ำเกลือที่มีความแรงของไอออนสูง (ionic strengh 0.6) ที่มี pH เป็นด่างเล็กน้อย สามารถทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนหลายครั้งตามด้วยการละลายในน้ำเกลือที่มีความแรงไอออนสูง สารละลายที่ใช้กันทั่วไปในการสกัดคือ KCl 0.47 โมลาร์ Phosphate 0.1 โมลาร์ และ Pyrophosphate 0.1 โมลาร์ ที่ pH 6.5

2) actin เป็นโปรตีนของฟิลาเมนต์บาง (thin filament) มีมากเป็นอันดับสองในโปรตีนไมโอไฟบริลมีประมาณ 20-25% เป็นโปรตีนที่ติดแน่นกับโครงสร้างของกล้ามเนื้อมากกว่าไมโอซิน actin ประกอบด้วยกรดอะมิโนโพรลีน (Proline) จำนวนมาก กรดอะมิโนนี้ประกอบด้วยหมู่อิมิโน (imino group, N-H) ทำให้เกิดการขดพันกันระหว่างโซ่ polypeptide เกิดเป็นโมเลกุลรูปทรงกลม ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.5 นาโนเมตร โมเลกุลรูปทรงกลมนี้คือ จี-แอกติน (G-actin) หรือ globular actin และเป็นรูปโมโนเมอร์ (monomer form) ของ actin แอกตินฟิลาเมนต์ (actin filament) เป็นเส้นใยที่เกิดจาก จี-แอกตินโมโนเมอร์มาเชื่อมต่อกันตามความยาวเกิดเป็น เอฟ-แอกติน (F-actin หรือ fibrous actin) การเชื่อมต่อกันของจี-แอกตินคล้ายกับไข่มุกที่ร้อยเป็นพวงยาว เอฟ-แอกติน 2 เส้นซึ่งขดเป็นเกลียวจะพันกันไปมา เกิดเป็นซุปเปอร์ฮีลิกซ์ (super helix) ซึ่งเป็นลักษณะของแอกตินฟิลาเมนต์ เส้นผ่านศูนย์กลางทั้งหมดของแอกตินฟิลาเมนต์ยาวประมาณ 6-8 นาโนเมตร ไอโซอิเล็กทริกพอยท์ (pH = pI คือ สภาวะที่มีประจุไฟฟ้าน้อยที่สุดและการละลายน้อยที่สุด) ของแอกตินประมาณ 4.7 แอกตินมีน้ำหนักโมเลกุล 43 ดาลตัน มีตัวเก็บลำดับของกรดอะมิโนแล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน actin เป็นองค์ประกอบสำคัญในการกิดโซล (sol) ซึ่งจะเพิ่มความยืดหยุ่น

3) actomyosin เมื่อผสมแอกตินและไมโอซินที่บริสุทธิ์ในหลอดทดลองจะเกิดสารเชิงซ้อนแอกโตไมโอซิน ลักษณะของแอกโตไมโอซินจะข้นมากแม้ว่าแอกตินจะไม่มีแอกติวิตีของเอนไซม์แต่มันสามารถเปลี่ยนแปลงแอกติวิตีของ ATPase ของไมโอซินในสารเชิงซ้อนแอกโตไมโอซิน แอกติวิตีของแอกตินที่บริสุทธิ์จะถูกกระตุ้นโดย Ca^{2+} แต่ยับยั้งโดย Mg^{2+} การเกิด cross bridge ระหว่างแอกตินและไมโอซินมีหมู่ SH เกี่ยวข้องอยู่ด้วย สารเชิงซ้อนแอกโตไมโอซินในสภาวะที่เหมาะสมสามารถหดตัดได้และสามารถแยกเป็นแอกตินและไมโอซินเมื่อมี Mg^{2+} และ ATPase

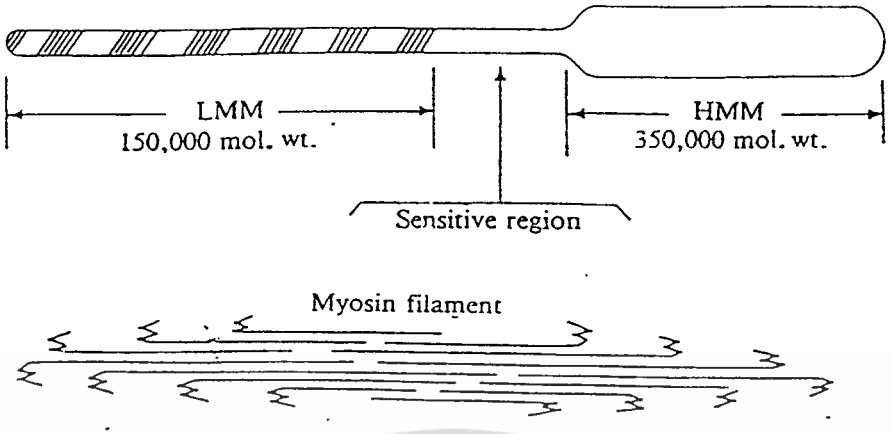
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของไมโอซิน ส่วนที่เป็นหัวกลมและหางยาว
และแสดงจุดที่แตกออกเมื่อถูกไฮโดรไลซ์ ด้วยเอนไซม์

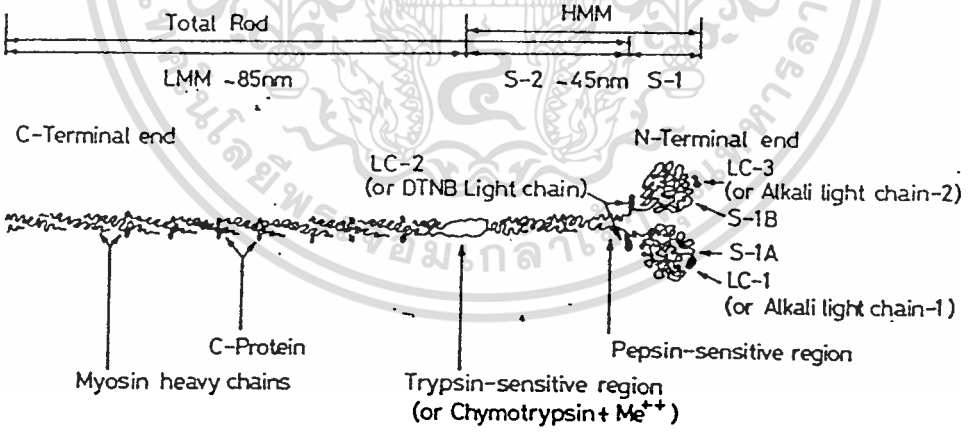
ที่มา : รัชนี ตัณฑะพานิชกุล (2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงโมเลกุลไมโอซินและส่วนฟิลาเมนต์หนา

ที่มา : รัชนี ตันตะพานิชกุล (2537)



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

ที่มา : Asghar *et. al.* (1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) tropomyosin เป็น dinamic protein มีประมาณ 8 - 10% ของโปรตีนไมโอไฟบริล ประกอบด้วย 2 หน่วยย่อย คือ α - tropomyosin มีน้ำหนักโมเลกุล 34,000 ดาลตัน และ β - tropomyosin มีน้ำหนักโมเลกุล 36,000 ดาลตัน ทั้ง α- และ β - tropomyosin สามารถรวมตัวกันได้เป็น β/ β β/α α/α โดย α/α (homodimer) มีกรดอะมิโนที่เป็นกรดและเบสเป็นส่วนประกอบจำนวนมากและมีปริมาณโพรลีนต่ำซึ่งทำให้มีคุณสมบัติเป็นเส้นใย ในแอกตินฟิลาเมนต์จะมีเส้น tropomyosin พันไปตามผิวนอกของสายโซ่คู่ที่ขดเป็นเกลียวของเอฟ - แอกติน ความยาว 1 โมเลกุลของ tropomyosin เท่ากับ จี - แอกติน 7 โมเลกุล ในแอกตินฟิลาเมนต์ α/α พบมากในเนื้อขาวของกระต่าย ส่วน β/α (heterodimer) พบมากในเนื้อแดงของกระต่าย (Xiong. 1994)

5) troponin มีอยู่ประมาณ 8 - 10% ของโปรตีนไมโอไฟบริล เป็นโปรตีนชนิดทรงกลม มีปริมาณโพรลีน (Proline) ค่อนข้างสูง ประกอบด้วย 3 หน่วยย่อย คือ troponin - C มีน้ำหนักโมเลกุล 18,000 ดาลตัน troponin - I มีน้ำหนักโมเลกุล 23,000 ดาลตัน และ troponin - T มีน้ำหนักโมเลกุล 37,000 ดาลตัน เช่นเดียวกับ tropomyosin คือจะวางตัวอยู่ตามร่องของสายโซ่คู่ของเอฟ – แอกติน และคร่อมบนเส้น tropomyosin หรืออาจอยู่ใกล้ส่วนปลายของโมเลกุลของ tropomyosin ซึ่ง troponin จะมีอยู่เป็นระยะๆ ตามความยาวของแอกตินฟิลาเมนต์ troponin สามารถจับกับ Ca^{2+} และมีบทบาทสำคัญต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ สารเชิงซ้อนระหว่าง troponin และ tropomyosin รวมกันเรียกว่า " แฟกเตอร์ของการผ่อนคลาย " (relaxing factor) การมีสารเชิงซ้อนนี้อยู่จะห้ามการหดตัวของกล้ามเนื้อ

นอกจากนี้ยังมีโปรตีนชนิดอื่นที่พบในเส้นใยกล้ามเนื้อที่ยังไม่ทราบบทบาทที่ชัดเจน แต่เชื่อว่าคงมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อด้วย ได้แก่

6) α - actinin มีอยู่ประมาณ 2 - 2.5% ของโปรตีนไมโอไฟบริล มีน้ำหนักโมเลกุล 100,000 ดาลตัน โครงสร้างประกอบด้วย polypeptides 2 สาย เป็นองค์ประกอบหลักของ Z - line ทำหน้าที่เป็นสารยึด (cementing substance) อยู่ใน Z filament นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าโปรตีนนี้มีองค์ประกอบส่วนหนึ่งเป็นเอนไซม์ phosphocreatine kinase พบมากใน Z - line ที่ติดกับ actin filament และสามารถทำให้เอฟแอกตินเกิดเป็นเจลได้ซึ่งปรากฏการณ์นี้ขึ้นกับอุณหภูมิและผันกลับได้ถ้ามี tropomyosin

7) β - actinin เป็น globular protein อยู่ที่ปลายของ F-actin เชื่อกันว่าโปรตีนนี้มีบทบาทในการกำหนดความยาวของ thin filament โดยรักษาความยาวของ actin filament ให้อยู่ประมาณ 1 ไมโครเมตร ในแต่ละครึ่งของซาร์โคเมียร์ถ้าไม่มี β - actinin แอกตินฟิลาเมนต์ในหลอดทดลองจะมีความยาว 3 - 4 ไมโครเมตรหรือยาวกว่านี้

8) C - protein พบจำนวนเพียงเล็กน้อยโดยจับรวมอยู่กับ myosin เข้าใจว่ามีบทบาทในการรวมกันของโปรตีน myosin ไปเป็น thick filament

9) desmin เป็นโปรตีนที่พบเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของส่วนที่ไม่ละลายของ Z – line โปรตีนนี้พบเป็นพิเศษในกล้ามเนื้อหัวใจ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) M - protein พบเป็นองค์ประกอบของ M – line

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะของโปรตีนกล้ามเนื้อที่ละลายได้

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

ที่มา : Acton *et. al.* (1982)

2.1.1.3 สโตรมอล โปรตีน (Stromal protein)

มีประมาณ 15% ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของร่างกาย พบอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน มีคุณสมบัติคือไม่ละลายในสารละลายใด ๆ แต่อาจละลายได้บ้างในสารละลายเข้มข้นของกรดและเบส ถูกทำให้เสียสภาพ (denature) โดยยูเรียและความร้อน โปรตีนประเภทนี้ได้แก่ อิลาสติน (elastin) เรติคิวลิน (reticulin) ซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่เปลี่ยนเป็นเจลาตินเมื่อให้ความร้อน และคอลลาเจน (collagen) ซึ่งมีปริมาณ 20 - 25% ของโปรตีนชนิดนี้และมีปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) สูง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเจลาติน ซึ่งเพิ่มความยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสในช่วงการแปรรูปที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส โดยการวัดปริมาณคอลลาเจนเพื่อเป็นค่าเปรียบเทียบความนุ่มและความกระด้างของผลิตภัณฑ์ สามารถวัดได้จากปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน collagen และ reticulin มีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายคลึงกันซึ่งช่วยให้เกิด emulsion ในผลิตภัณฑ์เนื้อ collagen และ reticulin จะถูกสกัดออกมาด้วยเกลือที่เติมลงไปในเนื้อ แล้วจึงไปเคลือบเม็ดไขมัน ซึ่งทำให้เกิด emulsion ได้แต่เป็น emulsion ที่มีความคงตัวต่ำมาก เมื่อให้ความร้อน emulsion จาก collagen และ reticulin จะถูก gelatinized ทำให้ไขมันแยกตัวออกมา นับเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดมันเยิ้มออกมาจากไส้กรอก สำหรับ elastin นั้นเป็นโปรตีนที่ unreactive จึงไม่ถูกสกัดออกมาและมีผลน้อยมากกับการผลิตไส้กรอกและไม่มีส่วนช่วยในการเกิด emulsion ในไส้กรอก

2.1.2 ไขมัน

มีอยู่ประมาณ 12 – 20% ของน้ำหนักของสัตว์ที่มีชีวิต โดยกระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย สัตว์ต่างชนิดกันมีจำนวนไขมันไม่เท่ากันและมีความแตกต่างในชนิดของกรดไขมัน เช่น ไขมันของโค กระบือ จะมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าไขมันสุกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 คาร์โบไฮเดรต

มีเพียงเล็กน้อยในเนื้อได้แก่ เม็ดไกลโคเจนและไกลโคโปรตีน ปริมาณของไกลโคเจนในสัตว์ก่อนฆ่ามีความสำคัญต่อคุณภาพของเนื้อและอายุการเก็บรักษาเนื้อ

2.1.4 น้ำ

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อสัตว์ พบว่าเนื้อสัตว์จะมีน้ำอยู่ประมาณ 50 - 75% ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสัตว์ อายุและชนิดของกล้ามเนื้อ ปริมาณน้ำในเนื้อมีความสัมพันธ์กับความชุ่มฉ่ำน้ำ ความนุ่มและรสชาติของเนื้อนั้นๆ และมีผลต่อคุณภาพเนื้อในระหว่างการเก็บรักษาไม่ว่าจะเป็นลักษณะการแช่เย็น การแช่แข็งหรือการทำแห้ง ปริมาณของน้ำในเนื้อจะเป็นสัดส่วนกลับกับปริมาณไขมันเสมอ นักวิทยาศาสตร์รายงานว่าในเนื้อสดปริมาณน้ำในเนื้อ 70% อยู่ในไมโอไฟบริล 20% อยู่ในซาร์โคพลาสซึมและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน10%

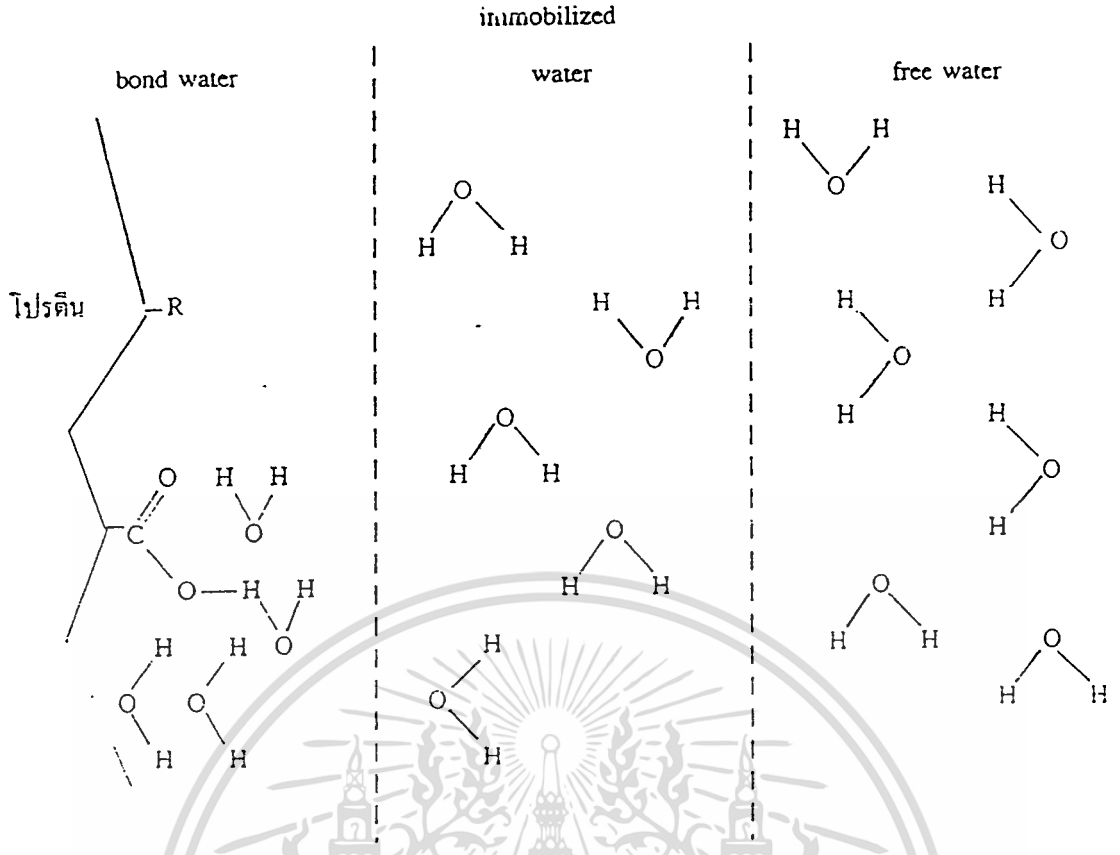
ลักษณะของน้ำในเนื้อมี 3 แบบคือ (ภาพที่ 2.4)

2.1.4.1 Bound water (น้ำที่ถูกตรึง) คือน้ำซึ่งเกาะแน่นอยู่กับโปรตีนโมเลกุลโดยเกาะอยู่กับส่วนที่มีประจุและกลุ่มที่มีขั้ว (Polar group) ของโปรตีนในลักษณะที่เรียงกันเป็นชั้นเดียว (Monolayer) และมีบางส่วนจับกับกลุ่มไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic group) เรียงต่อกันออกมาเป็นชั้นๆ มีอยู่ประมาณ 4-5% น้ำส่วนนี้ถูกขับออกมาได้ยากมากแม้จะมีแรงภายนอกมากระทำก็ตาม

2.1.4.2 Immobilized water (น้ำที่ถูกจำกัดการเคลื่อนที่) คือน้ำที่ถูกกักอยู่ระหว่างชั้นของโปรตีน เป็นน้ำส่วนที่อยู่ถัดไปจากส่วนที่ถูกตรึงด้วยประจุไฟฟ้าของโมเลกุลของโปรตีน กล่าวคือ น้ำส่วนนี้อยู่ห่างจากประจุไฟฟ้าบนโมเลกุลของโปรตีนออกมามากกว่าน้ำส่วนแรก ดังนั้นน้ำส่วนนี้จึงถูกดึงดูดด้วยประจุไฟฟ้าของโปรตีนด้วยแรงที่อ่อนกว่าน้ำส่วนที่ถูกตรึง น้ำส่วนนี้จะถูกขับออกจากกล้ามเนื้อได้ง่ายกว่าส่วนแรก แต่จะถูกขับออกมาได้มากหรือน้อยขึ้นกับแรงภายนอกที่มากระทำต่อกล้ามเนื้อ และสถานภาพของโปรตีนที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและกายภาพของกล้ามเนื้อภายหลังจากสัตว์ตายแล้ว

2.1.4.3 Free water (น้ำที่เป็นอิสระ) คือน้ำที่อยู่ในลักษณะของของเหลว กล่าวคือไหลได้อย่างอิสระภายในเนื้อเยื่อสัตว์เช่น น้ำในซาร์โคพลาสซึมหรือน้ำในระหว่างชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน น้ำพวกนี้คือส่วนที่แยกหรือระเหยได้ง่าย น้ำส่วนนี้เป็นส่วนที่อยู่ไกลที่สุดจากประจุไฟฟ้าบนโมเลกุลของโปรตีน ดังนั้นจึงถูกดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนมาก ที่ยังคงอยู่ภายในเนื้อได้ก็เพราะแฝงอยู่ตามรูพรุนตายในก้อนเนื้อบ้าง ถูกยึดอยู่ด้วยแรงตึงผิวบ้าง น้ำส่วนนี้จะถูกขับออกจากกล้ามเนื้อง่ายที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะการเกาะจับของน้ำภายในกล้ามเนื้อในรูปแบบต่างๆ

ที่มา : Forrest *et. al.* (1975)

2.1.5 เกลือแร่และวิตามิน

แร่ธาตุในเนื้อที่สำคัญ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โพแทสเซียม โซเดียม และแร่ธาตุอื่น ๆ อีกในปริมาณเล็กน้อย แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ (มิลลิกรัม/100กรัม)

	Na	K	Ca	Mg	P(P_2O_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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อสัตว์มีวิตามินเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก แต่เนื้อสัตว์เป็นแหล่งที่ให้วิตามินบีที่สำคัญหลายชนิดโดยเฉพาะ ไทอามิน ไนอาซินและไรโบฟลาวิน ในสุกรพบว่ามีวิตามินบีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและเนื้อไก่มีปริมาณไนอะซินอยู่สูง ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณวิตามินที่สำคัญในเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ (กรัม/100กรัม)

ชนิดของวิตามิน	เนื้อสุกร	เนื้อวัว	เนื้อไก่	เนื้อแกะ
A	20	20	80	10
B1	800	200	200	200
B2	200	200	200	200
Niacin	4,500	4,500	7,000	5,000
B6	500	400	500	300
Pantothenic acid	1,000	1,000	900	600
Folic acid	7	10	30	9
B12	1	2	0.5	2.5
C	2,000	1,500	5,000	1,000
D	1	-	-	-

ที่มา : Niinivaara and Antila (1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ของโปรตีน

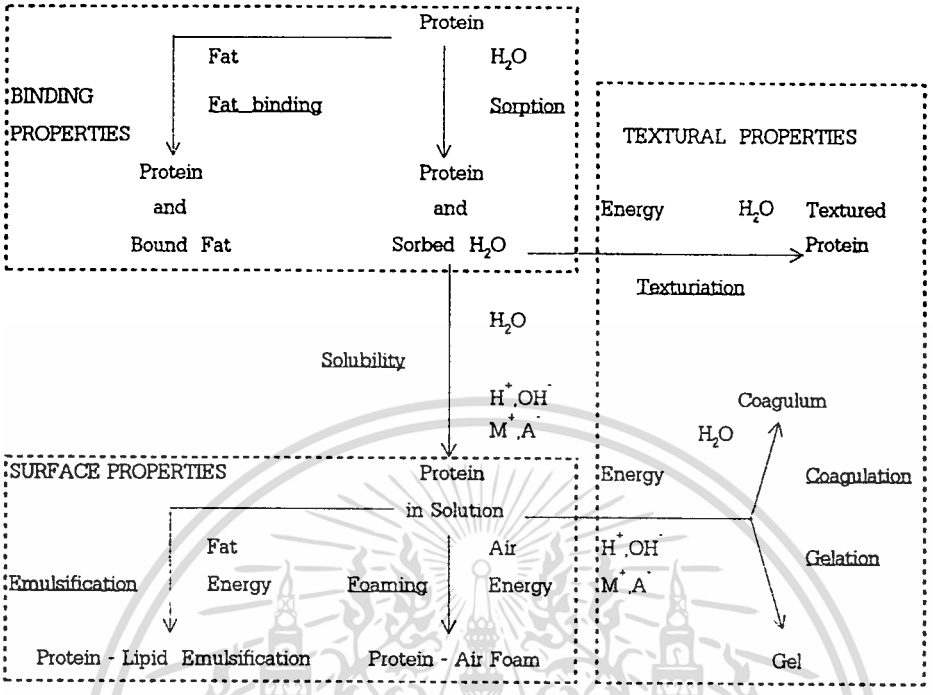
ผู้บริโภคชื่นชอบอาหารโดยพิจารณาจากลักษณะปรากฏ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส ซึ่งโปรตีนสามารถทำให้เกิดคุณสมบัติเหล่านี้ได้ เช่น การเซ็ทตัวเมื่อได้รับความร้อนของไข่ขาว การเกิดอิมัลชั่นของโปรตีนเนื้อสัตว์ เป็นต้น โปรตีนให้คุณค่าทางโภชนาการและมีคุณสมบัติต่างๆ ที่มีบทบาทในกระบวนการผลิต การแปรรูปอาหารและในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้โปรตีนยังเป็นสารที่มีความสามารถทำปฏิกริยากับสารประกอบชนิดอื่นในอาหารได้เช่น สามารถทำปฏิกริยากับโปรตีน น้ำตาล ไขมัน โพลีฟีนอล และสารประกอบอื่นๆ ดังนั้นการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์โปรตีนต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติการใช้ประโยชน์หรือคุณสมบัติทางหน้าที่ (Functional properteis) ของผลิตภัณฑ์โปรตีนนั้น อาหารแต่ละชนิดต้องการโปรตีนที่มีคุณสมบัติการใช้ประโยชน์ต่างกัน เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต้องการคุณสมบัติการละลาย ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ส่วนใหญ่ต้องการคุณสมบัติที่ช่วยทำให้เกิดการยืดหยุ่น (elasticity) ความสามารถในการจับน้ำและน้ำมัน (water absorption and fat absorption) คุณสมบัติในการเป็นอิมัลชั่น (emulsification) และคุณสมบัติในการเกิดเจล (gelation) ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติการใช้ประโยชน์ของโปรตีนแสดงในภาพที่ 2.5 การที่โปรตีนสามารถทำหน้าที่ต่างๆ ในอาหารได้นั้นต้องอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมี และโครงสร้างของโปรตีน เช่น ขนาด (size) รูปร่าง (shape) กรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบ (amino acid composition) ลำดับการเรียงตัวของกรดอะมิโน (amino acid sequence) ประจุสุทธิ (net charge) เป็นต้น โปรตีนที่เป็นทรงกลมที่พบมากในโปรตีนในอาหารหลาย ๆ ชนิดมีส่วนไม่ชอบน้ำ 40 - 50% ซึ่งการมีส่วนที่ชอบและไม่ชอบน้ำจะเป็นตัวกำหนดหน้าที่ทางการใช้ประโยชน์ของโปรตีน เช่น การละลาย (การละลายเป็นสภาวะของความสมดุลย์ระหว่างพันธะโปรตีนกับโปรตีนและโปรตีนกับสารละลายซึ่งเกี่ยวกับคุณสมบัติทางธรรมชาติของผิวโปรตีนทางด้านฟิสิกส์เคมีโดยเกี่ยวกับการม้วนงอของสายโพลีเป่ปไทด์) การนำความร้อน (โปรตีนที่มีส่วน hydrophillic ที่ผิวมากกว่าจะมีการนำความร้อนดีกว่าและถูกทำให้เสียสภาพได้ง่ายกว่าที่มีส่วนนี้อยู่ภายใน) นอกจากปัจจัยภายในตัวโปรตีนเองแล้วยังมีปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการทำหน้าที่ของโปรตีน เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความแข็งแรงของอิออน (ionic strength) การเกิดพันธะกับส่วนประกอบอื่น ๆ ปริมาณเกลือ ปริมาณฟอสเฟตและอุณหภูมิที่ใช้

หน้าที่ของโปรตีนสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

1. คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับผิวหน้าของโปรตีน (Surface - related properties)
2. คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับขนาดและรูปร่างของโปรตีน (Hydrodynamic properties)

คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้โปรตีนทำหน้าที่ในอาหารได้แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ของโปรตีน

ที่มา : Pomeranz (1985)

ตารางที่ 2.4 แสดง Functional properties of food proteins.

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

ที่มา : Damodaran (1994)

ผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบในปริมาณมากมักจะต้องการคุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ของโปรตีนซึ่งจะแตกต่างกันตามชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอาจต้องการเพียงคุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ของโปรตีนเพียงคุณสมบัติเดียวหรือมากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดง Functional roles of food proteins in food systems

Function	Mechanism	Food system	Protein source
1. Solubility	Hydrophillicity	Beverages	Whey proteins
2. Viscosity	Water binding , hydrodynamic , size , shape	Soups , gravies , salad dressing	Whey proteins , egg proteins
3. Water binding	H-bonding , ion , hydration	Meat sausages , cakes , bread	Muscle proteins , egg proteins
4. Gelation	Water entrapment and immobilization , network	Meats , gel , cakes bakeries , cheese	Muscle proteins , egg and milk proteins
5. Cohesion / Adhesion	Hydrophobic , ionic and H-bonding	Meats , sausages , pasta , baked goods	Muscle proteins , 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 proteins , egg proteins , milk proteins
8. Foaming	Interfacial adsorption , film formation	Whipped toppings , ice cream , cakes , dressing	Egg proteins , milk proteins
9. Fat and flavor binding	Hydrophobic bonding , entrapment	Simulated meats , bakery , doughnuts	Milk proteins , egg proteins

ที่มา : Damodaran (1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนในเนื้อสัตว์ในผลิตภัณฑ์อาหารให้คุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1 การละลาย (Solubility)

การละลายของโปรตีนเป็นสภาวะของความสมดุลย์ระหว่างพันธะโปรตีนกับโปรตีนและโปรตีนกับสารละลาย ซึ่งเกิดจากปฏิกริยาของ electrostatic และ hydrophobic ของโมเลกุลโปรตีน การละลายของโปรตีนเป็นการละลายแบบ colloidal ทำให้เกิดการกระเจิงแสงได้ ซึ่งโปรตีนอาจละลายได้ทั้งหมด หรือละลายบางส่วน หรือไม่ละลายเลยก็เป็นได้ การละลายเป็นคุณสมบัติทางการใช้ประโยชน์ที่สำคัญของโปรตีน เนื่องจากใช้ในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการแยกโปรตีนและยังเป็นคุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงส่วนผสมของโปรตีนที่ใช้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นดัชนีในการบ่งชี้ถึงความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น ความสามารถในการจับน้ำ การเกิดฟอง การเกิดอิมัลชั่นและการเกิดเจล

โปรตีนในเนื้อสัตว์สามารถละลายได้ในเกลือซึ่งมีผลต่อกระบวนการแปรรูปมาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป (restructured meat product) และผลิตภัณฑ์ลดขนาด (comminuted meat product) ปกติการละลายเกิดขณะปั่นผสมและมีการใส่เกลือ เมื่อโปรตีนเกิดการละลายออกมาแล้วโปรตีนจะสามารถทำหน้าที่อื่นๆ ได้เช่น การเกิดเจล เกิดอิมัลชั่น เป็นต้น

2.2.2 การจับกับน้ำมันและไขมัน (Oil and Fat Binding Property)

ความสำคัญของคุณสมบัติการจับกับไขมันขึ้นกับชนิดของอาหาร เช่น อิมัลชั่น ไส้กรอก การจับกับไขมันโดยส่วนประกอบอื่น ๆ ในอาหาร เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสและคุณภาพด้านอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ การจับกับไขมันของโปรตีนขึ้นกับ ชนิดของโปรตีน สภาวะการแปรรูป ส่วนประกอบของส่วนผสม ขนาดชิ้นเนื้อ อุณหภูมิ โดยการที่โปรตีนสามารถจับกับไขมันได้คือใช้ส่วนที่ไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ

ในผลิตภัณฑ์อิมัลชั่นเม็ดไขมันจะถูกล้อมรอบด้วยโปรตีน แต่การจับกับไขมันไม่ใช่แค่โปรตีนมีการล้อมรอบเท่านั้นแต่ยังเกี่ยวกับการเกิดปฏิกริยาทางเคมีด้วย โปรตีนที่ไม่ละลายและมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สูงสามารถจับกับน้ำมันได้สูงซึ่งเมื่อมีการจับกันแล้วยากที่จะสกัดได้ด้วยสารสกัด

2.2.3 การเกิดอิมัลชั่น (Emulsification)

อิมัลชั่นประกอบด้วยของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งซึ่งรวมตัวกันไม่ได้ ของเหลวที่กระจายตัวอยู่เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นจุดเล็กๆ น้ำมันและไขมันไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้จึงสามารถทำให้เกิดอิมัลชั่น การทำให้อิมัลชั่นคงตัวต้องมีสารตัวที่สามเป็นตัวเชื่อม เรียกสารตัวนี้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การเกิดอิมัลชั่นเป็นกระบวนการที่สำคัญในการผลิตอาหารทั่วๆ ไป ขนาดของหยดไขมันมีได้ตั้งแต่ 0.2 - 50 ไมโครเมตร อิมัลชั่นเป็นส่วนผสมของส่วนประกอบหลายๆ อย่างของเม็ดไขมัน อาหารที่เป็นอิมัลชั่นมี 2 ประเภท คือ O/W (oil in water) เป็นลักษณะครีม และ W/O (water in oil) เป็นลักษณะไข

ความสามารถของโปรตีนในการเป็นอิมัลชั่น คือ โปรตีนสามารถทำให้เกิดเป็นเนื้อเดียวกันและคงความเป็นเนื้อเดียวกันได้ การเกิดอิมัลชั่นคือโปรตีนจับตัวกับไขมันและคาร์โบไฮเดรตและสามารถคงตัวอยู่ได้

อาหารที่มีความต้องการคุณสมบัตินี้ของโปรตีนเช่น ผลิตภัณฑ์นม ซึ่งต้องการความเป็นเนื้อเดียวกันของสี ความรู้สึกเมื่อสัมผัสในปาก (mouthfeel) รสชาติและการละลาย ส่วนผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีการลดขนาดและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อื่น ๆ ต้องการเรื่องความคงตัวของอิมัลชั่นคือการที่ไขมันไม่มีการรวมตัวกันเมื่อได้รับความร้อน

2.2.4 ความสามารถของการอุ้มน้ำ (Water holding capacity , WHC)

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

ความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีนของเนื้อสัตว์พบว่าโปรตีนมีเพียง 18 - 20% แต่สามารถทำให้น้ำในเนื้อส่วนที่เหลืออีก 70 - 75% มายึดเกาะอยู่ได้แล้วยังมีความสามารถอุ้มน้ำที่เติมจากภายนอกเข้ามาไว้ในตัวมันได้อีกในกระบวนการผลิต เช่น ผลิตภัณฑ์อิมัลชั่น หรือการผลิตลูกชิ้นและหมูยอ โดยมีการเติมน้ำลงไปอีกถึง 20 - 30% ของปริมาณเนื้อที่ใช้

เนื้อสัตว์ที่มีคุณสมบัติของการอุ้มน้ำที่ไม่ดีจะมีการสูญเสียน้ำ เช่น การเก็บซากในห้องเย็น ถ้าโปรตีนในเนื้ออุ้มน้ำไว้ไม่ดีจะมีการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อและเมื่อนำเนื้อมาทำให้สุกพบว่าปริมาณน้ำที่สูญหายไปในระหว่างกระบวนการผลิตสูง และเนื้อค่อนข้างแห้งกระด้างไม่ชวนบริโภค ในผลิตภัณฑ์อิมัลชั่นจะทำให้เกิดการแยกตัวของไขมัน น้ำและโปรตีนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำและมีลักษณะอ่อนนิ่ม

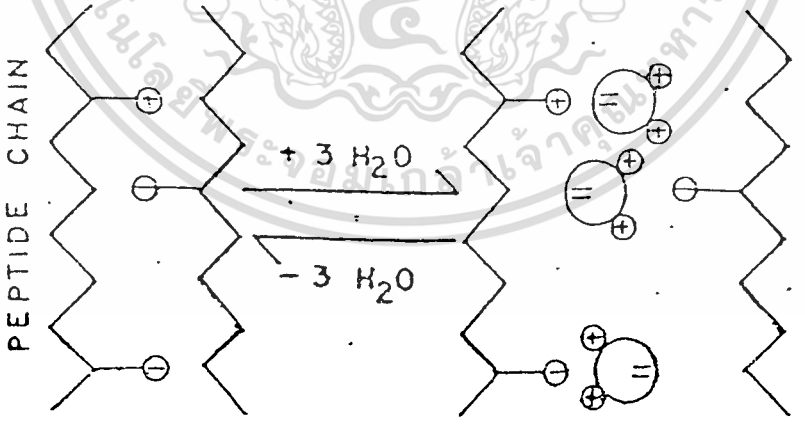
โปรตีนแต่ละชนิดมีความสามารถในการยึด (binding) น้ำได้แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับ degree of hydration ของโปรตีนเอง ซึ่งเกิดจาก hydration ของ polar side chains หรือ hydrogen bonding ซึ่ง H^+ (slightly positive hydrogen) จะถูกประจุลบของออกซิเจนและไนโตรเจนยึดจึงทำให้โมเลกุลของน้ำติดอยู่ระหว่าง folds หรือ coils และที่ผิวของโปรตีนได้ นอกจากนี้ยังเกิดจากอิออนที่ผิวของโปรตีนซึ่งยึดกับน้ำได้โดย electrostatiction และอาจเกิดการรวมกันเป็น iceberg ขึ้นรอบ ๆ hydrophobic group โดยทั่ว ๆ ไปโปรตีน 1 กรัมจะยึดกับน้ำได้ประมาณ 0.2 - 0.5 กรัม degree of water binding ของเนื้อขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ การให้ความร้อน การแช่แข็ง การบดสับ การแตกสลายตัวของโปรตีนโดยการย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลาย ซึ่งเกิดจากการใช้ความร้อนหรือเอนไซม์จากธรรมชาติหรือจากเชื้อจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลง pH โดยการเติมกรดหรือด่างซึ่ง hydration จะต่ำที่สุดที่ pH เท่ากับ pI ของโปรตีน การเติมเกลือและสารประกอบฟอสเฟต การเกิด ionization ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่ม - ลดหรือการเปลี่ยนแปลงอิออน การเคลื่อนย้ายของอิออนนี้เองมีผลทำให้เกิด salt formation ทำให้โปรตีนถูก ionized เพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิด hydrogen bonding ซึ่งสามารถยึดโมเลกุลของน้ำ (hold water molecules) ไว้ได้ นอกจากนี้การที่กล้ามเนื้อเกิดการเกร็ง (rigor mortis) มีผลทำให้ pH ของเนื้อสัตว์ที่ได้รับการเลี้ยงดูอย่างดีลดลงถึง 5.5 ซึ่งใกล้เคียงกับ pI ของ actomyosin เป็นผลทำให้ hydration ของเนื้อลดลงจะเห็นได้จากการต้มเนื้อในระหว่างการเกิด rigor mortis ทำให้เนื้อสูญเสียน้ำออกมามาก แต่เมื่อ rigor mortis ผ่านพ้นไป pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โปรตีนจะมี negative ions มากกว่า internal zwitterions จึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของ ions ขึ้นได้อีก ทำให้มีผลต่อ hydration

การเกาะตัวของน้ำและโปรตีนในกล้ามเนื้อ โดยส่วนใหญ่แล้วพบเกาะอยู่กับกลุ่ม structural protein ถึง 65% พบเพียง 5% น้ำจะเกาะติดกับกลุ่ม globular protein ส่วนที่เหลือประมาณ 30% นั้นน้ำจะเกาะอยู่กับกลุ่ม water soluble nonprotein

การที่โปรตีนของกล้ามเนื้อสามารถจะดูดจับกับน้ำได้ก็เป็นเพราะคุณสมบัติความมีขั้วของ R group จากภาพที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงการเกาะกันระหว่างโมเลกุลของน้ำ และกลุ่ม R ของกรดอะมิโนบนเปปไทด์ของโปรตีนโดยจะหันขั้วไฟฟ้าที่มีประจุต่างกันเข้าหากัน



ภาพที่ 2.6 แสดงการเกาะกันระหว่างขั้วประจุที่ต่างกันของโมเลกุลโปรตีนและโมเลกุลของน้ำ

ที่มา : Hamm (1975)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติน้ำถูกกักในช่องว่างแมททริกส์ ในกรณีที่โครงสร้างแมททริกส์ไม่มีเส้นใยโปรตีนบาง (thin filament) จะเกิดการสูญเสียโครงสร้าง โดยเส้นใยโปรตีนหนา (thick filament) จะรวมตัวกัน นอกจากนี้การกำจัด tropomyosin หรือ troponin ก่อให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างของโปรตีนมีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้ง ปริมาณ tropomyosin ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีผลต่อการจับกับน้ำของซูริมิ มีปริมาณตั้งแต่ 1 - 6% ของโปรตีนทั้งหมด ซูริมิที่ปราศจาก tropomyosin จะมีปริมาณน้ำเพียง 16 กรัม / กรัมของโปรตีน ในขณะที่ปริมาณสูงสุดเท่ากับ 60 กรัม / กรัมของโปรตีน ดังนั้นถ้าขาด tropomyosin ซูริมิจะมีลักษณะเปราะ ไม่เหนียว (Lanier. 1986)

2.2.5 การเกิดเจล (Gelation)

คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทางด้านเนื้อสัตว์ มักจะกล่าวถึงการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากการเกิดเจลส่งผลให้เกิดความเหนียว ความยืดหยุ่นและความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์

กลไกการเกิดเจลเริ่มจากโปรตีนเกิดการคลายตัว (protein unfolding) เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 30 – 40 องศาเซลเซียส เช่นเมื่อทำการปั่นผสมเนื้อสุกรบดกับเกลือในเครื่องผสม (mixer) จะส่งผลให้โปรตีนเกิดการคลายตัว หลังจากนั้นโปรตีนจะมาจับเรียงตัวกันใหม่ระหว่างโปรตีนกับโปรตีน (protein – protein interaction) เกิดการสานตัวเป็นร่างแหที่มีลักษณะข้นหนืดแต่ยังไม่คงตัว ลักษณะข้นหนืดที่เกิดขึ้นเรียว่า " sol " ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 45 – 55 องศาเซลเซียส และลำดับสุดท้ายของการเกิดเจลคือ โปรตีนจะเกิดเป็นโครงร่างสามมิติ (three – dimension network) ที่มีความอยู่ตัวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส (Xiong and Brekke. 1990) เจลที่ได้จากโปรตีนเนื้อสัตว์ในลักษณะนี้จะไม่สามารถกลับไปเป็นลักษณะเดิมได้อีก (thermo – irreversible gels) เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะแตกต่างจากพวก agar หรือ gelatin ที่สามารถกลับไปเป็นลักษณะเดิมได้ (thermo – reversible gels) คือจะหลอมละลายเมื่อได้รับความร้อน

2.3 การเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์

2.3.1 ความหมายของเจล

เจล คือ โปรตีนรวมตัวกันโดยเป็นโพลิเมอร์กับโพลิเมอร์และโพลิเมอร์กับสารละลายที่สมดุลย์กันฟอร์มตัวเป็นตาข่าย

เจล คือ เป็นการเชื่อมกันระหว่างหน่วยโครงสร้างเพื่อให้เป็นโครงสร้างตาข่ายที่ป้องกันการไหลของของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลแมททริกส์ (Gel metrix) คือ การเชื่อมกัน การรวมกันที่อิ่มตัวในสารละลายที่เป็นส่วนต่อเนื่อง โปรตีนที่มีมวลโมเลกุลสูงและมีกรดอะมิโนที่มีหมู่ hydrophobic สูงจะให้เจลที่แข็งแรง เพราะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน การเพิ่มหมู่ SH , S-S ระหว่างการเสียสภาพของโปรตีนทำให้โครงสร้างตาข่ายจับกันแข็งแรงขึ้นระหว่างการให้ความร้อนจะทำให้พันธะ SH แยกกันและ S-S เจอกันโดยโปรตีนเกิดการคลายตัว ซึ่งความแข็งแรงของเจลขึ้นกับขนาดและรูปร่างของสายโพลิเปปไทด์มากกว่าส่วนประกอบทางเคมี เช่น ค่าเฉลี่ยของมวลโมเลกุลของกรดอะมิโนจะเท่ากับสแคว์รูทของความแข็งแรงของเจล และน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนที่สามารถเกิดเจลได้ต้องมีไม่ต่ำกว่า 23,000 ดาลตัน

การเกิดเจล (gelation) คือ

- ปรากฏการณ์ที่โปรตีนเรียงตัวประสานกันอย่างมีแบบแผนเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติโดยมีโมเลกุลของน้ำระหว่างร่างแหเหล่านั้น (ภาพที่ 2.7) เจลที่ได้มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่มีความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกิดเจลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของชูริมิและผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยการเกิดเจลที่ดีควรมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นสูง

- การคลายตัวของโปรตีนและมีการจับกันใหม่ที่จุดเฉพาะเพื่อฟอร์มตัวเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ การคลายตัวของโปรตีนเป็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโปรตีนระดับที่ 2 ซึ่งการคลายตัวอาจมาจากการให้ความร้อน การมีกรด ด่าง ยูเรีย การเกิดโครงร่าง 3 มิติเกิดจากปฏิกริยาระหว่างโปรตีนกับโปรตีนและโปรตีนกับสารละลาย (น้ำ) โมเลกุลเกิดพันธะระหว่างกันจึงเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย

- การเปลี่ยนจากโปรตีนดั้งเดิมไปเป็นโปรตีนเสียสภาพ ซึ่งทำให้เกิดเป็นพันธะระหว่างโปรตีนกับโปรตีน การเสียสภาพของโปรตีนไม่ใช่แค่การคลายตัวของสายโปรตีนเท่านั้น แต่ยังเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ ของกรดอะมิโนที่เป็น aromatic ring กรดอะมิโนบางตัว เช่น ทริปโตเฟน สามารถเปลี่ยนจากการมี hydrophobic ปานกลางไปเป็นที่มีขั้วมากขึ้นระดับการเสียสภาพของโปรตีนเป็นสิ่งจำเป็นในการเกิดเจล

2.3.2 ลักษณะการฟอร์มเจล

ลักษณะการฟอร์มเจลแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

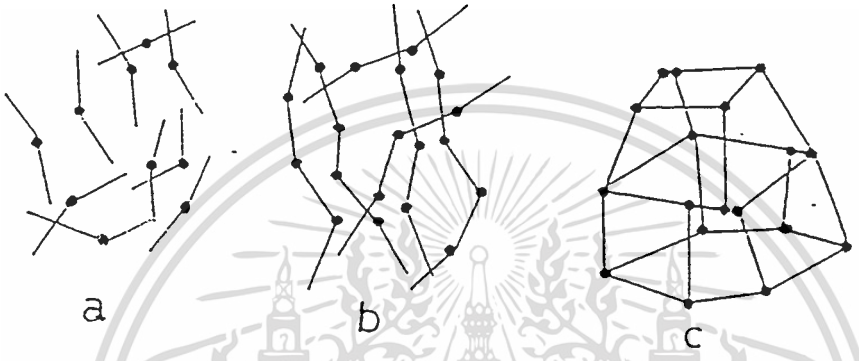
2.3.2.1 coagulum-type gel เกิดกับโปรตีนที่มี non - polar residue ภายใต้การตกตะกอนอย่างอิสระโดยเกิด hydrophobic interaction ซึ่งเจลจะมีความยืดหยุ่นและมี WHC ต่ำ และไม่สามารถกลับไปเป็นเหมือนเดิมได้เมื่อได้รับความร้อน (Thermo - irreversible gel) เช่น การเกิดเจลของเนื้อสัตว์

2.3.2.2 translucent gel เกิดกับพวกโปรตีนที่มี non - polar เหลืออยู่น้อย ปกติเจลจะจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ มีความยืดหยุ่นสูง มีค่า WHC สูง สามารถหลอมละลายเป็นเหมือนเดิมได้เมื่อได้รับความร้อน (Thermo - reversible gel) เช่น เจลาติน วุ้น เมื่อโปรตีนใน progel state (ภาพที่ 2.8) ถูกความเย็นเกิดโมเลกุลเสียสภาพบางส่วนมีการเกิด refold การเกิด refold และการฟอร์มเป็น intramolecular interaction จะลดจำนวนของหมู่ฟังก์ชันที่สามารถทำหน้าที่ได้สำหรับ intermolecular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

interaction ทำให้เจลมีความอ่อนและปริมาณโปรตีนที่น้อยที่สุดที่ต้องการฟอร์มตัวเพื่อให้เจลคงอยู่ได้ต้องมีมากกว่าการสูญเสียโปรตีน refold ขณะที่ cooling

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



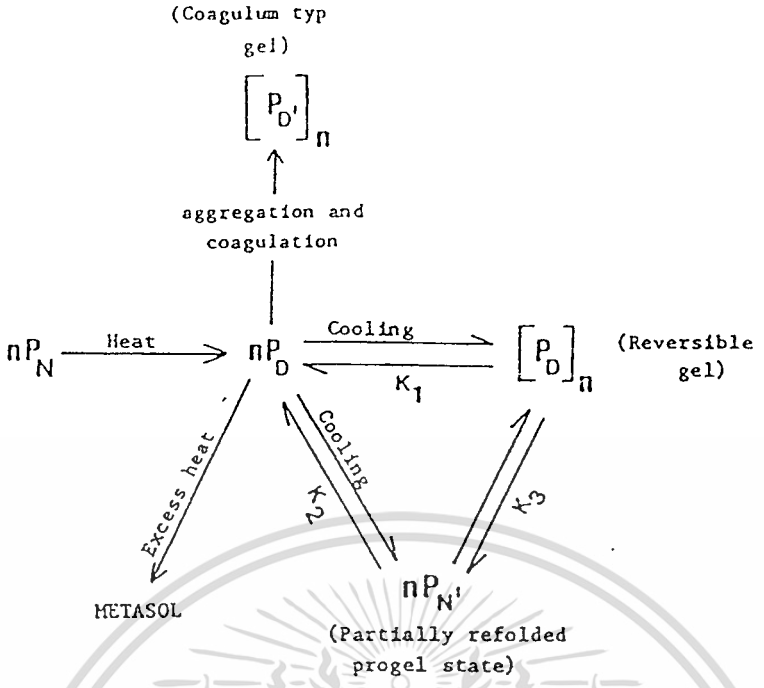
ภาพที่ 2.7 แสดง Formation of a gel network structure by polymers. In order to form a three - dimentional network structure there must be at least three cross - links on every molecule , as shown in c . In a or b , a network structure is not formed . •_____ ; polymer , • ; cross - link.

ที่มา : Niwa (1992)

2.3.3 กลไกการเกิดเจล

กลไกการเกิดเจลทั่ว ๆ ไปแสดงดังภาพที่ 2.8 เมื่อโปรตีนที่อยู่ในสภาพธรรมชาติ (nP_N) ได้รับความร้อนจะเสียสภาพทางธรรมชาติซึ่งอาจทำให้เกิดการรวมกันตกตะกอนเกิดเป็นเจลชนิด Coagulum - type gel หรือ ถ้าได้รับความเย็นจะทำให้โปรตีนอยู่ในสภาวะที่เป็น progel ได้ ซึ่งจะสามารถเปลี่ยนไปเป็นเจลชนิด Reversible gel ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 แสดง 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 (1988) อ้างโดย Damodaran (1994)

การเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์เป็นผลมาจากการรวมตัวกันของโมเลกุลของโปรตีนที่เสียสภาพเนื่องจากได้รับความร้อนแล้วเกิดการจัดรูปโครงร่างตาข่ายที่ต่อเนื่อง กลไกการเกิดเจลของโปรตีนแสดงได้ดังนี้

$$nP_N \xrightarrow[k1]{\text{denaturation}} nP_D \xrightarrow[k2]{\text{aggregation}} (P_D)n$$

n = จำนวนโมเลกุลโปรตีน

P = โปรตีน

N = native protein

D = denatured state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นแรกของการเกิดเจล คือ เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนจะเสื่อมสภาพและการเกิดการรวมตัวในขั้นที่ 2 ถ้าอัตราเร็วในการเกิดขั้นที่ 2 (k2) เร็วกว่าอัตราการเกิดในขั้นที่ 1 (k1) จะได้เจลที่ขุ่นไม่เป็นระเบียบและเกิด syneresis ได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามถ้า k2 เกิดช้าจะได้เจลที่ใสกว่าและยืดหยุ่นดีกว่า

กลไกการเกิดเจลของโปรตีนเนื้อสัตว์สามารถสรุปขั้นตอนในการเกิดเจลได้ดังนี้ (Suzuki. 1981)

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

ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ผ่านการจัดเรียงตัวก่อนนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น 28 – 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 – 3 ชั่วโมง หรือที่ 40 – 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 – 30 นาที จะให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการจัดเรียงตัว (Lee. 1984)

การเกิดโครงสร้างเจลของไมโอซิน เริ่มจากการเชื่อมส่วนหัวของโมเลกุลของไมโอซินด้วยพันธะไดซัลไฟด์ก่อนที่ส่วนหางของไมโอซินจะคลายตัวและเชื่อมกันด้วยพันธะชนิดที่ไม่ใช่โควาเลนท์ (noncovalent interaction) เกิดเป็นโครงสร้างเจล (Samejima *et. al.* 1981)

Norsad *et. al.* (1996) รายงานว่า พันธะชนิดที่ไม่ใช่โควาเลนท์โดยเฉพาะพันธะไฮโดรโฟบิกน่าจะมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงในขณะที่การเกิดพันธะโควาเลนท์จะมีบทบาทในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Chan *et. al.* (1995) พบว่าพันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโพลิเมอร์ของ MHC ระหว่างการคงตัวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 24 ได้แก่ พันธะไดซัลไฟด์ พันธะชนิดที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนท์ พันธะโควาเลนท์ที่ไม่ใช่ไดซัลไฟด์ สำหรับเจลที่ไม่ได้ผ่านการคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ (ชั่วโมงที่ 0) มากกว่า 60% ของพันธะทั้งหมดที่พบในโครงสร้างเจลเป็นพันธะชนิดที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนท์อย่างไรก็ตามพันธะโควาเลนท์จะมีบทบาทมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการคงตัว พันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างหมู่ซิสเตอีนของโปรตีนเป็นพันธะโควาเลนท์ที่มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมโยงโปรตีนและรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างของเจลที่เกิดขึ้น (Itoh *et. al.* 1980) โดยเฉพาะในเจลที่ไม่ได้ผ่านการคงตัวที่อุณหภูมิต่ำ (ชั่วโมงที่ 0) อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหลังจากปล่อยให้คงตัว 24 ชั่วโมงเมื่อเทียบกับพันธะโควาเลนท์ที่ไม่ใช่พันธะไดซัลไฟด์ซึ่งเพิ่มมากกว่า 50%

2.3.3.2 การแตกตัว (disintegration) การให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการแตกสลายของโครงสร้างเจลบางส่วน ทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง การลดลงนี้เข้าใจว่าเป็นผลมาจากเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอส ที่มีแอกติวิตีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้ MHC ถูกย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3 การตรึง (elasticity fixation) การให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส เส้นใยโปรตีนเริ่มจับกันมากขึ้น เป็นการรวมกลุ่มแบบสุ่ม (random network aggregation) (Montejano *et. al.* 1984) พันธะที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะเป็นพันธะไฮโดรโฟบิกและพันธะไดซัลไฟด์เป็นส่วนใหญ่ ทำให้โครงสร้างตาข่ายมีความคงตัวมากขึ้น เจลมีลักษณะทึบแสงและยืดหยุ่นเนื่องจากโปรตีนในเนื้อสัตว์มีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบเป็นโครงร่างแหสามมิติโดยเกี่ยวข้องกับพันธะไฮโดรเจนที่มีบทบาทในการเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำและพันธะไดซัลไฟด์ที่มีบทบาทต่อการเกิดเจลที่อุณหภูมิสูง ทำให้เจลเสถียรมากขึ้น

Lui *et. al.* (1982) ศึกษากลไกการรวมตัวของโปรตีน (coagulation และ aggregation) ในการเกิดเจลของโปรตีนกล้ามเนื้อปลา โดยการวัดความขุ่น (turbidity) ความหนืด (viscosity) ความว่องไวของปฏิกิริยาของเอนไซม์ CaATPase ปริมาณกลุ่มซัลไฮดริลทั้งหมดและการจับตัว (coagulation) ของสารละลายแอกโตไมโอซินของปลาม้า โดยการให้ความร้อนเพิ่มทีละ 1 องศาเซลเซียสต่อนาทีอย่างคงที่ พบว่าช่วงอุณหภูมิ 30 – 35 องศาเซลเซียส มีการรวมตัวกันของโปรตีนเล็กน้อย ไม่มีการสูญเสียความว่องไวของปฏิกิริยาของเอนไซม์ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นภายหลังจากที่ลดลงในช่วง 10 – 30 องศาเซลเซียส เพราะว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 30 องศาเซลเซียส โมเลกุลโปรตีนมีการจับกับน้ำ จึงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ช่วงอุณหภูมิ 37 – 40 องศาเซลเซียส ความว่องไวของปฏิกิริยาของเอนไซม์ลดลง 80% ของปริมาณเริ่มต้น ความขุ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการรวมตัวของโปรตีน (protein aggregation) ช่วงอุณหภูมิมากกว่า 35 องศาเซลเซียส โมเลกุลโปรตีนเกิดการคลายตัวอย่างสมบูรณ์ (complete unfolding) ช่วงอุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส ปริมาณกลุ่มซัลไฮดริลทั้งหมดลดลง 50% ของปริมาณเริ่มต้น จึงสรุปได้ว่า การออกซิเดชั่นของกลุ่มซัลไฮดริลมีส่วนช่วยเพิ่มการจับกันของโมเลกุลของโปรตีน และมีพันธะไฮโดรโฟบิกเป็นพันธะเด่นในการรวมตัวของโปรตีน

เมื่อพิจารณาเฉพาะโมเลกุลของไมโอซินพบว่า MLC ไม่มีผลต่อการเกิดเจล องค์ประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลของโมเลกุลไมโอซิน คือ MHC แอกตินไม่มีคุณสมบัติในการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้าง 3 มิติ แต่อย่างไรก็ตาม Yasui *et. al.* (1980) พบว่าตัวอย่างเจลที่มีส่วนผสมระหว่างไมโอซินและแอกตินมีค่าความแข็งแรงมากกว่าตัวอย่างที่มีไมโอซินแต่เพียงอย่างเดียว จึงถือว่าแอกตินมีผลส่งเสริม (synergistic effect) ความแข็งแรงของเจล Yasui *et. al.* (1982) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเกลือโปแตสเซียมคลอไรด์ 0.6 โมลาร์ และที่ pH 6.0 อัตราส่วนโดยมวลสารระหว่างไมโอซินต่อแอกตินที่ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงของเจลสูงสุดคือ 2.7 ต่อ 1 ซึ่งคิดเป็นอัตรส่วนต่อน้ำหนัก 15 ต่อ 1 ซึ่ง synergistic effect ของแอกตินเกิดจากการรวมตัวระหว่าง F - actin และไมโอซินบางส่วนเกิดเป็นแอกโตไมโอซินซึ่งเป็นตัวเชื่อมโยง (crosslinker) กับไมโอซินที่เหลืออยู่ในรูปอิสระ และทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรง สำหรับ troponin และ tropomyosin นั้นไม่มีผลต่อการเกิดเจลของแอกโตไมโอซินเนื่องจาก tropomyosin เป็นโปรตีนที่ทนต่อความร้อนได้สูงจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างและไม่เกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่าย

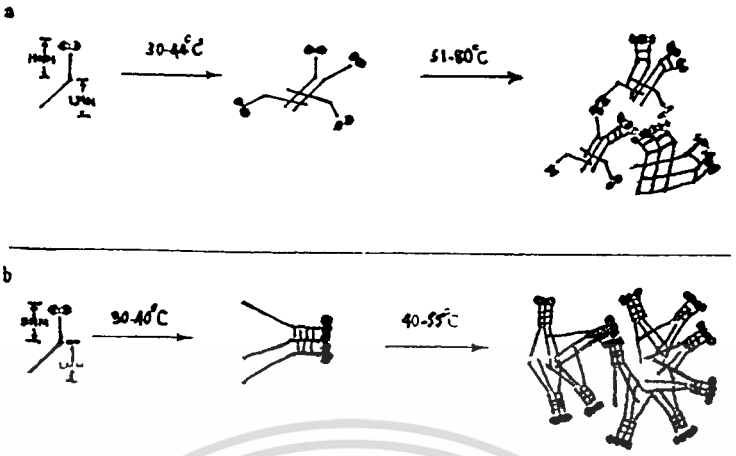
ส่วนแท่งของไมโอซินที่เป็นเกลียวแอลฟา - ฮีลิกซ์ มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดโครงสร้างตาข่าย (Samejima *et. al.* 1981) ค่าความแข็งแรงของเจลที่เตรียมจากส่วนของเกลียวแอลฟา - ฮีลิกซ์ มีค่าสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลที่ได้จากเอส - 1 หรือส่วนของ gloubular head โครงสร้างตัวอย่างที่เตรียมจากเอส - 1 เป็นลักษณะคล้ายการต่อเรียงกันของลูกปัด (bead - like structure) ซึ่งไม่เกิดเป็นร่างแห ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นตะกอนโปรตีน (curd) มากกว่าเป็นเจล ซึ่งแสดงว่า เอส - 1 ไม่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจล ส่วนเจลที่เกิดจากแท่งแอลฟา - ฮีลิกซ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสและโครงสร้างใกล้เคียงกับเจลที่เตรียมจากไมโอซิน ดังนั้นส่วนแท่งของโมเลกุลไมโอซินจึงเป็นบริเวณที่เกิดการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุล (intermolecular) เกิดเป็นโครงสร้าง 3 มิติของเจล Ishiorohi *et. al.* (1981) ศึกษาการเกิดเจลในส่วน HMM เปรียบเทียบกับส่วน LMM พบว่า HMM เกิดเจลที่แข็งแรงน้อยกว่า LMM แต่มีความแข็งแรงมากกว่าเจลที่เตรียมจาก เอส - 1 นอกจากนี้เจลที่เกิดจาก LMM มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับตัวอย่างที่เตรียมจากส่วนแท่ง ผลการทดลองเหล่านี้ชี้ชัดว่า ส่วนแท่งที่มีโครงสร้างแอลฟา-ฮีลิกซ์ มีความสำคัญต่อการเกิดโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

Sano *et. al.* (1990) รายงานว่าไมโอซินจากปลาคาร์พเริ่มจัดเรียงตัวเป็นร่างแหที่อุณหภูมิ 30 - 45 องศาเซลเซียส โดยเกิดจากส่วนของ LMM เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส บริเวณ HMM โดยเฉพาะส่วน gloubular head นั้นจะเกาะตัวรวมกันด้วยแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิกเนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีกรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก จึงกล่าวได้ว่า HMM ไม่สามารถเกิดเจลได้ในขณะที่ LMM สามารถเกิดการเรียงตัวเป็นร่างแห อย่างไรก็ตาม Taguchi *et. al.* (1987) ได้เสนอกลไกการเกิดเจลที่แตกต่างไปกล่าวคือ การจัดเรียงตัวของ HMM โดยเฉพาะส่วนของเอส-1 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 30 - 40 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส ส่วนของ LMM เริ่มคลายตัวออกจากกันและจัดเรียงเป็นร่างแห ข้อเสนอดังกล่าวสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Gill and Conway (1989) ซึ่งรายงานว่า ส่วนแท่งของไมโอซินซึ่งสกัดจากปลา cod คลายตัวออกทำให้กรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำเป็นตัวออกสู่ภายนอกและเกิดแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิกระหว่างสายไมโอซินที่อุณหภูมิ 40 - 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Chan *et. al.* (1993) พบว่าการจับตัวของไมโอซินจากปลา cod และ ปลา herring เริ่มต้นที่บริเวณ HMM S - 2 ที่อุณหภูมิ 30 - 40 องศาเซลเซียส กล่าวโดยสรุปคือ กลไกการเกิดเจลที่นำเสนอโดย Chan *et. al.* (1993) ; Gill and Conway (1989) และ Taguchi *et. al.* (1987) นั้น HMM รวมตัวกันในช่วงอุณหภูมิต่ำ (30 - 40 องศาเซลเซียส) และการคลายตัวของเกลียวแอลฟา - ฮีลิกซ์ เกิดในช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง (40 - 45 องศาเซลเซียส) ในขณะที่ Sano *et. al.* (1990) เสนอกลไกในทางตรงกันข้าม ความแตกต่างระหว่างสองกลไกนี้สามารถเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



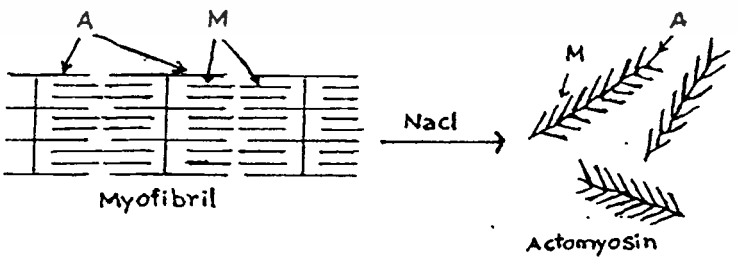
ภาพที่ 2.9 แสดงกลไกการเกิดเจลของไมโอซิน

ที่มา : (a) Sano *et. al.* (1990)

(b) Chan *et. al.* (1993)

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

เมื่อนำซูริมิมานวดผสมกับเกลือ NaCl 2 - 3% โครงสร้างของเนื้อปลาเริ่มแตกเป็น แอกติน ไมโอซิน และแอกโตไมโอซิน (ภาพที่ 2.10) ซึ่งโปรตีนเหล่านี้จะมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดเจลของซูริมิ การเกิดเจลของแอกโตไมโอซินมีจุดสำคัญมาจากการคลายตัวของไมโอซินซึ่งมีความจำเพาะของไมโอซินอยู่ในส่วนของ heavy chain ของโมเลกุล (Niwa. 1992)



ภาพที่ 2.10 แสดงการเกิดเจลของแอกโตไมโอซินจากโปรตีนไมโอไฟบริล เมื่อ A : actin M : myosin

ที่มา : Niwa. (1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดอะมิโนซึ่งเป็นส่วนประกอบของไมโอซิน จำนวนกว่าครึ่งหนึ่งจะเป็นพวกไฮโดรฟิลิกและประมาณ 80% ของกรดอะมิโนเหล่านี้เป็นชนิดที่เป็นด่างและชนิดที่เป็นกรด กรดอะมิโนเหล่านี้จะอยู่บริเวณผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีนและสามารถจับตัวกับน้ำ เมื่อโปรตีนแอกโตไมโอซินถูกสกัดออกมาอยู่ในสารละลายเกลือโซเดียมอิออน (Na^+)จะจับกับกรดอะมิโนชนิดที่เป็นกรด (COO^-) และคลอไรด์อิออน (Cl^-) จับกับกรดอะมิโนที่เป็นด่าง (NH_3^+) ทำให้โปรตีนคลายตัวออกจากกัน (unfolding) เกิดการกระจายตัวออกมาอยู่ในน้ำกลายเป็นสารละลายโปรตีน คือ sol ระดับความเป็นกรดด่างที่เป็นกลาง หมู่คาร์บอกซิลของกรดกลูตามิกและแอสพาร์ติกจะมีประจุลบ ในขณะที่หมู่อะมิโนไลซีนและอาร์จีนีนมีประจุบวก ดังนั้นจึงเกิดการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลเหล่านี้เมื่อมีการนวดผสมกับเกลือ เมื่อมีการเติมเกลือประจุของเกลือจะเกิดการรวมตัวกับน้ำและจะเชื่อมต่อกับพวกที่มีประจุตรงข้ามบริเวณผิวหน้าของโปรตีน

กลไกของกระบวนการเกิดเจลคือ เมื่อระดับของการคลายตัวลดลงจะมีการเชื่อมข้ามมากขึ้น อุณหภูมิที่ทำให้เกิดระดับการมีพันธะเชื่อมข้ามไม่แตกต่างและการเพิ่มความแข็งแรงของเจลระหว่างการทำให้เย็นมีสาเหตุจากการเพิ่มความคงตัวและการที่มี junction สูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดเจลต้องทำให้เกิดเจลสมดุลย์ระหว่างอัตราการคลายตัวกับการตกตะกอน การเกิดเจลต้องมีความสมดุลย์ระหว่างแรงดึงดูดและแรงผลัก แรงดึงดูดเกิดโดยหมู่ฟังก์ชันรอบ ๆ หมู่ที่เกิดการคลายตัวของโปรตีนและแรงผลักกันมาจากประจุที่ผิว โปรตีนที่เกิดการคลายตัวจะตกตะกอนโดยการตกตะกอนมีการเกิดพันธะระหว่างโปรตีนกับโปรตีน

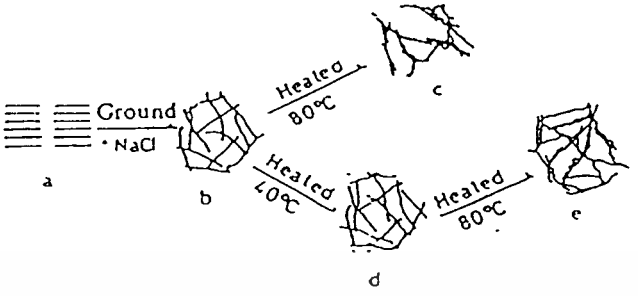
ระหว่างการให้ความร้อน และการเกิดเจล myosin เสียโครงร่างที่เป็นแอลฟา - ฮีลิกซ์และเกิดพันธะเชื่อมเกิดการรวมตัวกันตกตะกอนโดยการจับกันด้วยพันธะโควาเลนต์และนอนโควาเลนต์ การฟอร์มเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติที่เกิดจาก myosin และ myosin- rod โครงรูปจะเปลี่ยนแปลงเป็น helix to coil ในระหว่างการให้ความร้อน

ค่าความแข็งแรงของเจลของไมโอซินเรียงตามลำดับดังนี้ myosin filament > myosin heavy chain ≡ myosin monomers > total rod > LMM > S-2 fragments = S-1 fragments สายไมโอซินที่ยาวทำให้เจลที่ได้แข็งแรงมากกว่า monomeric myosin

การศึกษาเกี่ยวกับโปรตีนไมโอไฟบริลในระหว่างการให้ความร้อน (Niwa. 1992) โดยวิธีศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค (microstructure) พบว่ามีการแตกสลายในระหว่างการบดและการนวดผสม หลังจากที่มีการนวดผสมกับเกลือ อิออนของเกลือถูกดูดซึมสู่บริเวณผิวหน้าของโปรตีนไมโอไฟบริลและจับตัวกับโมเลกุลของน้ำ การละลายของโปรตีนไมโอไฟบริลทำให้ได้สารละลายที่ข้นหนืด ดังภาพที่ 2.11

หลังจากที่ให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนคงตัวที่อุณหภูมิต่ำภายใต้อิทธิพลของเกลือและให้อุณหภูมิที่สูงขึ้น โปรตีนจะเกิดการม้วนคลายตัวอย่างช้าๆ กรดอะมิโนที่อยู่ใกล้กันจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรโฟบิก ซึ่งในช่วงนี้ถ้ามีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและเวลาเพียงพอ อาจเกิดพันธะไดซัลไฟด์ขึ้นได้ ดังนั้นเจลที่ได้หลังจากการผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำประกอบด้วยโปรตีนที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ โปรตีนมีความสามารถกักเก็บน้ำได้สูง น้ำซึมผ่านออกจากเจลได้ยากเนื่องจากลักษณะต่างๆ เหล่านี้ทำให้เจลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำมีความสามารถกักเก็บน้ำได้ดี มีลักษณะใส และค่อนข้างยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 แสดงการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโปรตีนในระหว่างกระบวนการผลิตซูริมิ

a : เนื้อปลาบด

b : ซูริมิที่นวดผสมกับเกลือ

c : ซูริมิที่ให้ความร้อนโดยไม่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนคงตัว

d : ซูริมิที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนคงตัว

e : ซูริมิที่ให้ความร้อนโดยผ่านการให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนคงตัว

ที่มา : Niwa (1992)

เมื่อนำเจลที่ผ่านการให้ความร้อนเพื่อให้โปรตีนคงตัวมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการออกซิเดชันของหมู่ซัลไฮดริล เกิดพันธะไดซัลไฟด์ แอลฟา - ฮีลิกซ์จะคลายตัวออกมา เกิดพันธะไฮโดรโฟบิกระหว่างกรดอะมิโนที่อยู่ใกล้กัน โปรตีนเกิดการรวมตัวกันเป็นโครงร่างตาข่าย มีการปลดปล่อยโมเลกุลของน้ำ เจลที่ได้มีความกระด้างและใสมากขึ้น

หลังจากที่ผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นโดยทันที พันธะไฮโดรเจนจะเกิดได้ดีขึ้น ทำให้เจลที่ได้มีความแน่น (firmness) และโครงสร้างของแอลฟา-ฮีลิกซ์คืนตัวได้ดีขึ้น ในขณะเดียวกันเบต้า-สตรักเจอร์ของโปรตีนถูกสร้างขึ้นมาโดยการรวมตัวกันของสายโปรตีน ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากการให้ความร้อน น้ำอิสระถูกกักอยู่ภายในโครงร่างตาข่าย

โปรตีนซาร์โคพลาสมิก เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการตกตะกอนและไปเกาะตามโปรตีนที่ละลายในเกลือทำให้เกิดการขัดขวางการเรียงตัวของ Salt - soluble protein (SSP) ที่ถูกสกัดในขณะที่นวดกับเกลือ SSP นี้มีความสำคัญคือจะประกอบตัวกันทำให้เกิดลักษณะของ sol ซึ่งเมื่อนำไปให้ความร้อน sol จะเปลี่ยนเป็นเจล เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลโปรตีนเป็นรูปตาข่ายทำให้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อลดขนาด เช่น ลูกชิ้น หมูยอ มีความยืดหยุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเกิดเจลของเนื้อปลาในผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ จะมีการเปลี่ยนแปลงโปรตีนไมโอไฟบริลในกล้ามเนื้อไปเป็น sol ในขั้นตอนการสกัดด้วยเกลือซึ่งจะมีกลไกการเกิดเจลดังภาพที่ 2.12 โดยเมื่อเติมเกลือ 2-3% โดยน้ำหนักเนื้อปลาแล้วบดผสมไปกับเนื้อปลา จะทำให้เนื้อปลาที่บดมีลักษณะข้นหนืด โปรตีนที่ละลายออกมานี้จะเกิดการโพลิเมอร์ไรซ์เซชั่นและก่อตัวเป็นโครงร่างตาข่ายเมื่อให้ความร้อน นอกจากนั้นยังพบว่าสามารถใช้เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์แทนโซเดียมคลอไรด์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงระบบการเกิดเจล ความเข้มข้นของเกลือต่ำสุดที่จำเป็นสำหรับการสกัด myofibrillar protein คือ ประมาณ 2% (0.4 โมลาร์) ของน้ำหนักเนื้อปลาที่ pH 7.0 แต่ถ้า pH ต่ำกว่า 7.0 ต้องใช้ความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น (Shimizu. 1976) สำหรับอุณหภูมิในการสับผสมเนื้อปลาไม่ควรเกิน 10 องศาเซลเซียส และถ้าเกิดการล่าช้าของกระบวนการผลิตควรเก็บเนื้อปลาที่ผ่านการสับผสมแล้วไว้ที่ 5 องศาเซลเซียส และต้องให้ความร้อนภายใน 60 นาที (Babbit and Reppond. 1988)

เมื่อทำการสกัดเนื้อปลาด้วยเกลือ 2-3% ของน้ำหนักเนื้อปลา โปรตีนไมโอไฟบริลถูกสกัดออกมา ทั้งนี้เนื่องจากอิออนของ NaCl จะไปจับกับอนุมูลของ acidic และ basidic amino acid ทำให้ intermolecular ionic bond ระหว่างโมเลกุลโปรตีนเกิดการแยกออกจากกันเป็นผลทำให้โปรตีนเกิดการกระจายตัวออกมาอยู่ในน้ำ

ภาพที่ 2.12 แสดงกระบวนการเกิดเจลของคามาโบโกะ (Kamaboko)
ที่มา : Suzuki (1981)

2.3.4 ปฏิกริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำในเจล

ในโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ปริมาณน้ำที่ถูกล้อมรอบไว้ได้ประมาณ 10 กรัม / โปรตีน 1 กรัม เจลที่แข็งแรงมีน้ำ 98% และมีสารที่ทำให้เกิดเจล 2% บางกรณีมีน้ำถึง 99% น้ำจับโดยเกิดพันธะไฮโดรเจน หรือการคงอยู่ของโครงสร้างน้ำ พันธะไฮโดรเจนเป็นพันธะที่อ่อนแอมากเพราะปกติน้ำมีพันธะไฮโดรเจนมีทั้งตัวให้และรับอิเลกตรอนอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่อยู่ในเจลมีทั้งที่เกิดพันธะและน้ำที่เป็นอิสระ น้ำส่วนใหญ่ถูกตรึงไว้โดยไม่สามารถบีบออกมาได้ ความจุที่เก็บน้ำได้แตกต่างตามชนิดของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แร่ธาตุ ขนาดของอนุภาคโปรตีน pH อุณหภูมิ ionic strength เส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงที่โครงร่างตาข่าย

น้ำอยู่ในโพรงของโครงร่างโปรตีนโดยกลไกแคปิลารี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรง 1-100 นาโนเมตร น้ำถูกจับแน่นมากและถูกปลดปล่อยเมื่อเจลหดตัวเมื่อได้รับความร้อนเหนืออุณหภูมิการเกิดเจล ถ้าขนาดโพรง 100-200 นาโนเมตรจะสูญเสียความชื้น 10-50% 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
- น้ำอยู่ในโครงร่างตาข่ายที่ยังไม่มีรูปแบบแน่นอนที่เป็นโมเลกุลที่ละลายเกินจุดอิ่มตัว
- น้ำอยู่ในสารละลาย หรือแขวนลอยโดยแรง long range

2.3.5 พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจล

2.3.5.1 พันธะไฮโดรโฟบิก

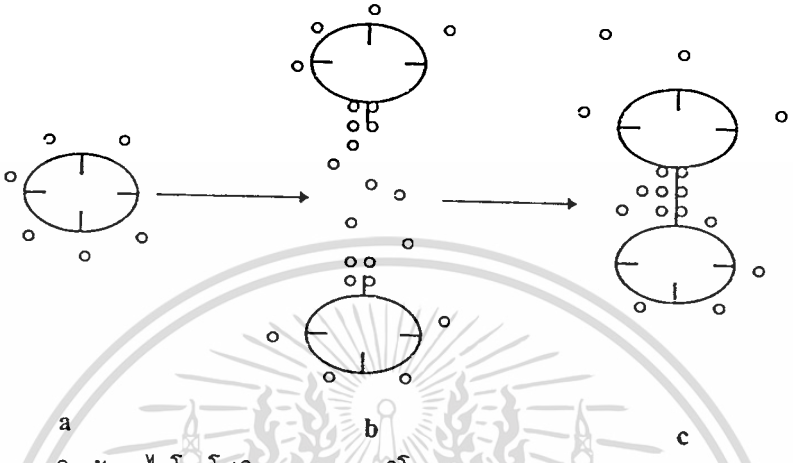
กรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของไมโอซินที่ไม่ชอบน้ำมีประมาณ 25% เช่น อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน โปรลีน ทริปโตเฟน และฟีนิลอะลานีน เมื่อกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำเหล่านั้นสัมผัสกับโมเลกุลของน้ำจะเกิดการจับกันโดยพันธะไฮโดรเจนรอบ ๆ กรดอะมิโน (hydrophobic hydration) แต่การจัดเรียงตัวในโมเลกุลดังกล่าวไม่ถาวร ดังนั้นกรดอะมิโนจึงหันด้านที่ไม่ชอบน้ำเข้าไปในโมเลกุลโปรตีนซึ่งมีผลต่อความคงทนของโครงสร้างโมเลกุลของโปรตีน โมเลกุลจึงจัดเรียงตัวคล้ายกับหยดน้ำมันที่ล้อมรอบด้วยน้ำ เรียกว่าแคล็ธเร็ธ (clathrate)

เมื่อหมู่ที่ไม่ชอบน้ำของโปรตีน 2 โมเลกุล สัมผัสกับน้ำก่อนการให้ความร้อน (a) โมเลกุลของโปรตีนที่แยกจากกันเป็น 2 โมเลกุลที่ล้อมรอบด้วยน้ำ (b) โมเลกุลของโปรตีน 2 โมเลกุลที่เชื่อมต่อกัน (c) ดังแสดงภาพที่ 2.13 ดังนั้นพันธะไฮโดรโฟบิกจะเกิดขึ้นเมื่อผ่านการให้ความร้อนกับโปรตีน พันธะชนิดนี้เกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ที่ไม่ชอบน้ำซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เกิดจากอิทธิพลของน้ำเป็นสำคัญ การเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกจะถูกยับยั้งโดยโพลิออล เช่น กลีเซอรีน ซูโครส ซอร์บิทอล และกรดอะมิโนบางชนิด เช่น กลูตามิกและไลซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออาจกล่าวได้ว่าพันธะไฮโดรโฟบิกเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างกรดอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำของโมเลกุลไมโอซิน แรงดึงดูดไฮโดรโฟบิกจะเกิดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการคลายตัวของกลุ่มอะมิโนที่ไม่ละลายน้ำจะเกิดได้มากที่อุณหภูมิสูง (Howe *et. al.* 1994)

เมื่อได้รับความร้อน ผิวหน้าของโมเลกุลของโปรตีนจะเปิดออก ทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำและเกิดแรงทำให้โมเลกุลของโปรตีนเคลื่อนที่เข้าหากัน



ภาพที่ 2.13 แสดงการเกิดพันธะไฮโดรโฟบิกของกรดอะมิโน
ที่มา : Lanier *et. al.* (1988)

2.3.5.2 พันธะไดซัลไฟด์

เป็นพันธะโคเวเลนท์ประเภทหนึ่ง การเกิดพันธะนี้เกิดจากการออกซิเดชั่นของ cysteine 2 โมเลกุลดังสมการ

$$\text{Protein} - SH + SH - \text{Protein} \xrightarrow{O_2} \text{Protein} - S - S - \text{Protein}$$

มีค่าพลังงานพันธะในช่วง 330 - 380 kJ / mol (Cheftel *et. al.* 1985) ดังนั้นพันธะนี้จึงมีความแข็งแรงมากกว่าแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก กรดอะมิโนที่สามารถสร้างพันธะประเภทนี้คือ กรดอะมิโนที่มีหมู่ซัลไฮดริล เช่น ซีสเตอีน Samejima *et. al.* (1981) พบว่า ส่วน globular head ของไมโอซินหรือเอส-1 เป็นบริเวณที่มีกลุ่มซัลไฮดริลมาก การเชื่อมต่อของ globular head ระหว่างโมเลกุลไมโอซินจึงสันนิษฐานได้ว่าเกิดพันธะไดซัลไฟด์

การเติมสารออกซิแดนท์จะทำให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระหว่างการให้ความร้อนพันธะไดซัลไฟด์ภายในโมเลกุลสามารถเปลี่ยนเป็นพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุล เจลจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารออกซิแดนท์ก่อนกระบวนการให้ความร้อน แต่การเติมสารรีดิวซ์ เช่น กรดแอสคอร์บิก และซีสเตอีน ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

พันธะไดซัลไฟด์จะเกิดที่อุณหภูมิสูง (80 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า) เมื่อเทียบกับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

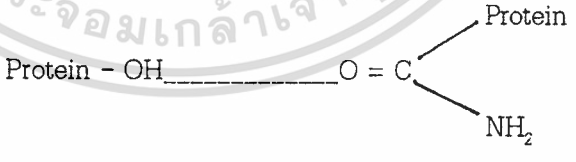
อุณหภูมิต่ำ การออกซิเดชั่นของหมู่ซัลไฮดริลเป็นพันธะไดซัลไฟด์จะเริ่มต้นอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 40 - 45 องศาเซลเซียส

2.3.5.3 พันธะโควาเลนต์

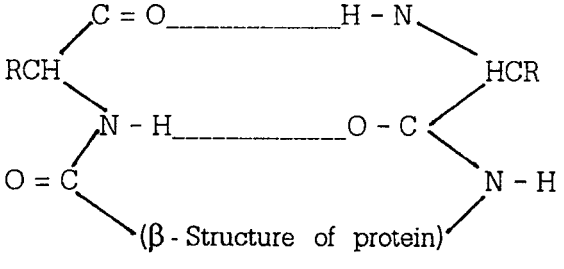
เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มแกมมา – คาร์บอกซีเอไมด์ ของกรดอะมิโนกลูทามีนและกลุ่มเอพซิลอน – อะมิโน ของกรดอะมิโนไลซีนมีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของเจล เนื่องจากพันธะโควาเลนท์มีค่าพลังงานพันธะที่สูง การเพิ่มพันธะชนิดนี้จึงมีผลให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง การเชื่อมโยงระหว่างกรดอะมิโนทั้งสองชนิดนี้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ transglutaminase นอกจากปริมาณ transglutaminase แล้วการเปิดตัวออกของ โปรตีนไมโอไฟบริล โดยเฉพาะไมโอซินจะต้องคลายตัวออกเพื่อให้กลุ่มแกมมา-คาร์บอกซีเอไมด์ของ กรดอะมิโนกลูทามีน และกลุ่มเอพซิลอน-อะมิโนของกรดอะมิโนไลซีนออกสู่ภายนอกและเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ดังนั้นการที่จะทำให้เกิด setting จึงต้องบดผสมเนื้อกับเกลือให้เป็นเพสก่อนนำไปให้อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อการเซ็ทตัว เนื่องจากเกลือสามารถละลายโปรตีนไมโอไฟบริล และทำให้โปรตีนคลายตัวออกในระดับหนึ่ง นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการเซ็ทตัวจะต้องเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไมโอซิน โดยต้องไม่สูงเกินไปจนเกิดการเสียโครงสร้างดั้งเดิมหรือการเสียสภาพ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดการเซ็ทตัวจะแตกต่างตามชนิดของเนื้อสัตว์ ขึ้นอยู่กับความคงตัวต่ออุณหภูมิของไมโอซิน

2.3.5.4 พันธะไฮโดรเจน

การเชื่อมต่อของพันธะ salt linkage เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและมีขั้วในสายของโปรตีน ซึ่งกรดอะมิโนที่แสดงความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนได้แก่ ไทโรซีน ซีรีน ไฮดรอกซีโพรลีน และ ทรีโอนีน ซึ่งจะมีหมู่ไฮดรอกซิลและกรดอะมิโนโพรลีน และ ไฮดรอกซีโพรลีน ซึ่งจะมีหมู่อิมิโน ซึ่งสองกลุ่มนี้จะแสดงตัวเป็นตัวให้และรับโปรตรอนขณะที่กลูตามิกและแอสพาร์ติกจะมีหมู่คาร์บอนิลซึ่งจะทำหน้าที่เหมือนเป็นตัวรับอิเลกตรอน มีจำนวนของอิมิโนและหมู่คาร์บอนิลเป็นจำนวนมากในสายโพลีเปปไทด์ ซึ่งการเกิดพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสายโพลีเปปไทด์ดังกล่าว



หรือ



ภาพที่ 2.14 แสดงพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสายโพลีเปปไทด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ R คือกรดอะมิโน ซึ่งแรงดึงดูดของพันธะไฮโดรเจน ได้แก่ แรงซึ่งเกิดจากประจุไฟฟ้า และจะมีค่าน้อยลงเมื่อให้ความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะคงสภาพรูปแบบภายในของโปรตีนซึ่งน้ำแพร่กระจายไปไม่ถึง ซึ่งอธิบายได้ว่าทำไม แอลฟา-ฮีลิค (α - helix) และเบต้า – สตรักเจอร์ (β - structure)ของโปรตีน จึงเสถียรในน้ำ เนื่องจากการศึกษาด้วยอินฟาเรด พบว่า แอลฟา-ฮีลิค จะเกิดการแตกสลายในระหว่างการให้ความร้อนกับซูริมิที่ 80 องศาเซลเซียส แต่จะคืนตัวภายหลังการให้ความร้อน โครงสร้างของเบต้า – สตรักเจอร์ของโปรตีนจะถูกสร้างในช่วงนี้ซึ่งจะมีผลต่อค่าความยืดหยุ่นของเจลซูริมิ พันธะไฮโดรเจนจะมีความสำคัญต่อการคงสภาพของน้ำภายในเจล จำนวนโมเลกุลของน้ำที่มีมากเกิดจากพันธะไฮโดรเจนกับกรดอะมิโนที่มีขั้ว ซึ่งมีมากบนผิวหน้าของโมเลกุล

เมื่อนำเจลมาทำให้เย็นความแข็งของเจลเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากบทบาทของพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการตรวจวัดคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของเจลโดยเฉพาะเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพจำเป็นต้องวิเคราะห์ที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์

2.4.1 ความแตกต่างของกล้ามเนื้อ

2.4.1.1 ชนิดของสัตว์

เมื่อนำเนื้อสุกร เนื้อโค เนื้อไก่ เนื้อปลา และเนื้อไก่งวง มาทดสอบการเกิดเจลที่สภาวะความเป็นกรดด่าง 6.0 ปริมาณเกลือ 2% อัตราการให้ความร้อน 0.7 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าเจลที่เตรียมได้จากเนื้อปลามีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นต่ำที่สุด และยังทำให้น้ำหนักสูญเสียเมื่อได้รับความร้อน (cooking loss) มีปริมาณมากที่สุดด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับเจลที่ได้จากเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ ส่วนเจลที่ให้ค่าความแข็งแรง (gel strength) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) สูงที่สุดรวมทั้งให้ค่าน้ำหนักสูญเสียเมื่อได้รับความร้อนต่ำที่สุด คือเจลของเนื้อไก่ ส่วนเนื้อหมูและเนื้อวัวให้เจลที่มีค่าความแข็งแรงอยู่ในช่วงกลาง ๆ (Lan *et. al.* 1995)

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

2.4.1.2 ตำแหน่งของกล้ามเนื้อ

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

2.4.2 ชนิดของโปรตีน

ชนิดของโปรตีนที่มีบทบาทสำคัญในการเกิดเจล เชื่อว่าเป็นโปรตีนแอกโตไมโอซิน (suzuki. 1981) ซึ่งเป็นสภาวะการจับกันตามธรรมชาติของไมโอซินกับแอกติน หรืออาจเป็นไมโอซินกับไมโอซิน

Akahane *et. al.* (1984) ศึกษาถึงบทบาทของโปรตีนที่มีต่อลักษณะการเกิดเจลของเนื้อกระต่ายทดลอง โดยเปรียบเทียบเจลที่ได้จากการผสมไมโอซินกับแอกตินในอัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าตัวอย่างแอกตินล้วนหรือไมโอซินล้วน เกิดเจลที่มีสภาพเป็นของเหลวใสหนืด ไม่สามารถเกิดเป็นรูปทรงได้และเมื่อเทลงบนพื้นราบของเหลวนี้จะแบนราบไปกับพื้นมีลักษณะคล้ายเลนส์ ส่วนตัวอย่างที่ผสมแอกตินและไมโอซินมีลักษณะเป็นโซลสีขาวขุ่น สามารถปั้นเป็นรูปทรงได้ และเมื่อให้ความร้อน (อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) ตัวอย่างไมโอซินล้วนมีการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของเจล ส่วนตัวอย่างแอกตินล้วนไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงของเจล แต่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ส่วนตัวอย่างผสมระหว่างไมโอซินกับแอกตินมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของไมโอซิน จึงสรุปว่าแอกตินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทำให้โซลยืดหยุ่นในช่วงก่อนให้ความร้อน และไมโอซินเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นในการเกิดเจลในช่วงให้ความร้อน โดยมีหน้าที่เกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงของเจลและความสามารถในการจับกับน้ำ ผลการทดลองที่ได้มีความคล้ายคลึงกับการรายงานของ Sano *et. al.* (1989) ที่ทำการทดสอบโดยใช้ dynamic viscoelastic behavior ของโปรตีนกล้ามเนื้อปลาคาร์ปเกี่ยวกับบทบาทของ F – actin ต่อกลไกการเกิดเจล พบว่าเมื่อให้ความร้อนไมโอซินเป็นโปรตีนที่จำเป็นต่อความยืดหยุ่นของเจลและความแข็งแรงของเจล ในขณะที่ F – actin เปลี่ยนสภาพเป็นก้อนแข็ง (curdy matter) สรุปว่า F – actin มีผลต่อความข้นหนืด (consistency) ของโซลก่อนให้ความร้อน แต่ไม่มีผลต่อความยืดหยุ่นของเจล ส่วนการทดลองของ Yasui *et. al.* (1980) ศึกษาถึงลักษณะของเจลของไมโอซินและแอกติน ของเนื้อกระต่าย พบว่า ปริมาณของ F – actin และ tropomyosin ในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อไมโอซินช่วยทำให้การจับตัวระหว่างไมโอซินกับแอกตินเป็นแอกโตไมโอซินได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการจับกันนี้เป็นการเพิ่มความแข็งแรงของเจล และการผสมเนื้อกับเกลือด้วยเครื่องผสมเป็นการเหนี่ยวนำการจับกันของโมเลกุลไมโอซินกับเส้นใยแอกตินเป็นแอกโตไมโอซิน

2.4.3 ปริมาณโปรตีน

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

Mutsumoto (1980) กล่าวว่า ถึงแม้ว่าจะนิยมใช้ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือเป็นตัวชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีน แต่การละลายได้ของโปรตีนไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่าโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปแล้วปริมาณเท่าใด ในขณะที่การวัดความข้นหนืดของสารละลายโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนคือ เมื่อเนื้อปลาถูกเก็บแช่เยือกแข็งนานขึ้น ความข้นหนืดก็จะลดลงตามลำดับ เนื่องจากไมโอซินมีการเปลี่ยนรูปร่างไปจากรูปแท่งโดยการม้วนตัวของโมเลกุลไมโอซินเองหรือเกิดการเกาะกันระหว่างโมเลกุลของไมโอซิน

สัดส่วนของโปรตีนที่พบในกล้ามเนื้อ เช่น สัดส่วนของไมโอซินต่อแอกติน หรือสัดส่วนของไมโอซินต่อแอกโตไมโอซินล้วนแล้วแต่มีผลต่อการเกิดเจล โดยมีสัดส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้เจลที่ได้มีความแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงมากที่สุดเมื่อมีไมโอซินต่อแอกตินเท่ากับ 15 : 1 (Ishioroshi *et. al.* 1980) และมีไมโอซินต่อแอกโตไมโอซินเท่ากับ 4 : 1 (Yasui *et. al.* 1982) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Judith *et. al.* (1988) ซึ่งพบว่าอกไก่งวงซึ่งมีปริมาณไมโอซิน 69% แอกโตไมโอซิน 18% จะให้เจลที่ดีกว่าเจลจากเนื้อส่วนขาไก่งวงซึ่งมีปริมาณไมโอซิน 76% แอกโตไมโอซิน 11% เนื่องจากสัดส่วนของไมโอซินต่อแอกโตไมโอซินในอกไก่งวงเท่ากับ 3.8 : 1 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิงมากกว่าสัดส่วนที่ได้จากขาซึ่งเท่ากับ 6.9 : 1 Liu (1982) พบว่า thin filament ซึ่งประกอบด้วยแอกติน โทรโพไมโอซิน และโทรโพนินเพียงอย่างเดียวไม่มีความสามารถในการเกิดเจลแต่จะเกิดเป็นก้อนแข็ง (curd)

2.4.4 ความเป็นกรด-ด่างของเนื้อสัตว์

โปรตีนจากอกไก่หรือเนื้อขาว (white muscle) จะเกิดเจลที่ดีกว่าโปรตีนจากขาไก่หรือเนื้อแดง (red muscle) เมื่อมีความเข้มข้นของโปรตีนเท่ากัน แต่ทั้งนี้ยังขึ้นกับค่าความเป็นกรดด่าง พบว่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมกับการเกิดเจลของเนื้อแดงเท่ากับ 5.5 ส่วนเนื้อขาวมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมเท่ากับ 6.0 (Xiong and Brekke. 1990b) ส่วนโปรตีนไมโอไฟบริลจากเนื้อหน้าอกและเนื้อขาของไก่งวงมีค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมเท่ากับ 6.0 และ 7.0 ตามลำดับโดยจะให้เจลแข็งแรงมากที่สุด แต่การละลายของโปรตีนเกิดที่ค่าความเป็นกรดด่างที่ 7 มากกว่า 6 มากกว่า 5 (Foegeding and Lanier. 1987)

Graham and Schmidt (1986) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวกันของผลิตภัณฑ์ beef rolls โดยเตรียมจากเนื้อชิ้นรูป ได้แก่ค่าความเป็นกรดด่าง และ ionic strength ค่า tensile strength จะสูงขึ้นถึง 80% เมื่อเพิ่มค่า ionic strength จาก 0.15 ถึง 0.43 และค่าความเป็นกรดด่างจาก 5.5 ถึง 6.35

Morita *et. al.* (1994) พบว่าโปรตีนไมโอซินในกระเพาะไก่เกิดเจลได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซียลเซียส และเจลมีความแข็งแรงคงที่เมื่ออุณหภูมิถึง 65 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างที่มากที่สุดที่สามารถให้กระเพาะไก่เกิดเจลคือ 5.9 เมื่อมีปริมาณโปตัสเซียมคลอไรด์ 0.6 โมลาร์ และค่าความเป็นกรดด่างที่ 5.7 เมื่อมีปริมาณโปตัสเซียมคลอไรด์ 0.15 โมลาร์

2.4.5 อุณหภูมิในการเก็บรักษาวัตถุดิบ

Lui and Chen (1992) ศึกษาการเก็บรักษาเนื้อสุกรส่วนสะโพก (Ham) ที่อุณหภูมิ -20 และ -30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 , 3 , 7 , 21 , 35 และ 42 วัน แล้วนำมาผลิตลูกชิ้น พบว่า การเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ ส่วนค่า shear value ของลูกชิ้นจะลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แต่ที่ -30 องศาเซลเซียสค่าที่ได้จะลดลงเมื่อใช้เวลาในการเก็บมากกว่า 35 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนด้านการยอมรับของผู้บริโภค ยอมรับได้ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ตั้งแต่วันที่เก็บจนถึง 14 วัน และถึง 28 วันเมื่อทำการเก็บรักษาที่ -30 องศาเซลเซียส

Suzuki *et. al.* (1964) ได้รายงานการเสียสภาพของโปรตีนในเนื้อปลาที่เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ กัน สำหรับการแช่แข็งอย่างรวดเร็วในไนโตรเจนเหลว แสดงการเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส ถึง -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ปริมาณของโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือจะลดลง และการตกตะกอนของแอกโตไมโอซินจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเก็บที่ -30 องศาเซลเซียส และ -80 องศาเซลเซียส จะไม่มีความแตกต่างในเรื่องความสามารถในการละลายของแอกโตไมโอซิน และค่าคงที่ของการตกตะกอนของแอกโตไมโอซินจะไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากเก็บ 11 สัปดาห์ นอกจากนี้ Suzuki (1981) ได้รวบรวมเหตุผลที่สนับสนุนสาเหตุการเสื่อมเสียของโปรตีนในระหว่างการแช่เยือกแข็งคือ การแช่เยือกแข็งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็ง ทำให้ช่องว่างระหว่างโปรตีนแคบลง โมเลกุลโปรตีนจึงสามารถเกิดพันธะเชื่อมข้ามได้ทำให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการเกาะกัน และยังทำให้น้ำภายในกล้ามเนื้อจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ทำให้พันธะไฮโดรโฟบิกของโมเลกุลโปรตีนถูกทำลาย ส่งผลให้โครงรูปของโปรตีนเปลี่ยนไป

2.4.6 การลดขนาดของวัตถุดิบ

Acton (1972) พบว่าการสกัดโปรตีนที่ผิวเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดของชิ้นเนื้อลดลง เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิว แต่การทดลองของ Pepper and Schmidt (1975) พบว่า พื้นที่ผิวของเนื้อที่มากขึ้นเมื่อทำการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นขนาด 9.5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับ 25.4 มิลลิเมตร ค่า binding strength และค่า cook yield ที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวของเนื้อที่มากขึ้นในการผลิต beef roll

2.4.7 เกลือ

เกลือเป็นส่วนผสมที่จำเป็นในการเกิดเจลของโปรตีนเนื้อสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบหลักของโปรตีนที่ทำให้เกิดเจล คือ โปรตีนไมโอไฟบริล ซึ่งละลายได้ดีในสารละลายเกลือ NaCl 0.6 โมลาร์ นอกจากนี้เกลือยังทำให้แรงดึงดูดทางประจุระหว่างโมเลกุลของโปรตีนไมโอไฟบริลมีเสถียรภาพลดลง ทำให้โปรตีนแผ่ตัวออกมาบางส่วน เมื่อบดผสมกับเกลือและน้ำจะได้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า " เพส " (paste) หรือ " โซล " (sol) เมื่อนำเพสหรือโซลไปให้ความร้อนจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะเป็นเจล

การเติมเกลือในเนื้อสัตว์ระหว่างการเตรียมการเพียงเล็กน้อยในช่วง 1 - 3% ทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อไม่มีการเติมเกลือ เนื่องจากโปรตีนไมโอไฟบริลสามารถละลายได้มากขึ้นเพราะเกลือจะช่วยเพิ่มแรงผลักระหว่างเส้นใยโปรตีนทำให้เส้นใยเกิดการพองตัวขึ้น นอกจากนี้เกลือยังช่วยทำให้อุณหภูมิที่โปรตีนเกิดการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมลดลงได้ เช่น โปรตีนไมโอซินจะสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 55.5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเติมเกลือในปริมาณ 3% อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมจะลดลงเหลือ 51 องศาเซลเซียส หรือกรณีแอกติน อุณหภูมิจะเปลี่ยนจาก 76.8 เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

68.3 องศาเซลเซียสเมื่อมีปริมาณเกลือ 3% การเติมเกลือให้ผลดีกับการเกิดเจลของโปรตีนในเนื้อสัตว์เท่านั้น ส่วนโปรตีนในถั่วเหลืองพบว่าการเติมเกลือจะทำให้อุณหภูมิที่โปรตีนมีการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมในถั่วเหลืองเพิ่มสูงขึ้น และเจลที่ได้มีความแข็งแรงลดลง (Katsuji *et. al*. 1988)

ผลิตภัณฑ์คล้ายซูริมิที่ผลิตจากเนื้อสุกรและเนื้อโคจะให้เจลที่ดีขึ้นเมื่อมีปริมาณเกลือ 1.5 หรือ 3% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือเป็น 4.5 หรือ 6% พบว่าความแข็งแรงของเจลไม่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากโปรตีนเกิดการรวมตัวกันและตกตะกอน (Park *et. al*. 1996) นอกจากเกลือโซเดียมคลอไรด์แล้วเกลือชนิดอื่นที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสัตว์ ได้แก่ โปตัสเซียมคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์โดยเฉพาะการทำสเต็กมากกว่าโซเดียมคลอไรด์ โดยใช้ในปริมาณ 0.5 - 1.0% เนื่องจากจะให้สีที่เข้มกว่าซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ดีทางด้านการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ แต่ข้อเสียของการเติมเกลือจะทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลงเนื่องจากจะเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Miller *et. al*. 1986) แต่สามารถลดปฏิกริยาออกซิเดชั่นลงได้โดยการใช้ฟอสเฟตในระหว่างการผสม และนอกจากนั้นฟอสเฟตยังช่วยทำให้ชิ้นเนื้อมีการเกาะตัวกันมากขึ้น

Lamkey *et. al*. (1986) ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และฟอสเฟตที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสและสีของสเต็กที่เตรียมจากเนื้อขึ้นรูป (restructure beef) พบว่าปริมาณเกลือ 0.2% และฟอสเฟต 0.2% สามารถลดน้ำหนักสูญเสียเนื่องจากการแปรรูปได้ และช่วยเพิ่มการจับกันของชิ้นเนื้อได้ดีเท่ากับการใช้ฟอสเฟต 0.5% เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่า ฟอสเฟตสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทำให้กลิ่นหืนลดลง

Pepper and Schmidt (1975) พบว่า beef roll ที่มีการเติมเกลือ 2% กับฟอสเฟต 0.5% จะมีเจลที่แข็งแรงมากกว่ากรณีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว

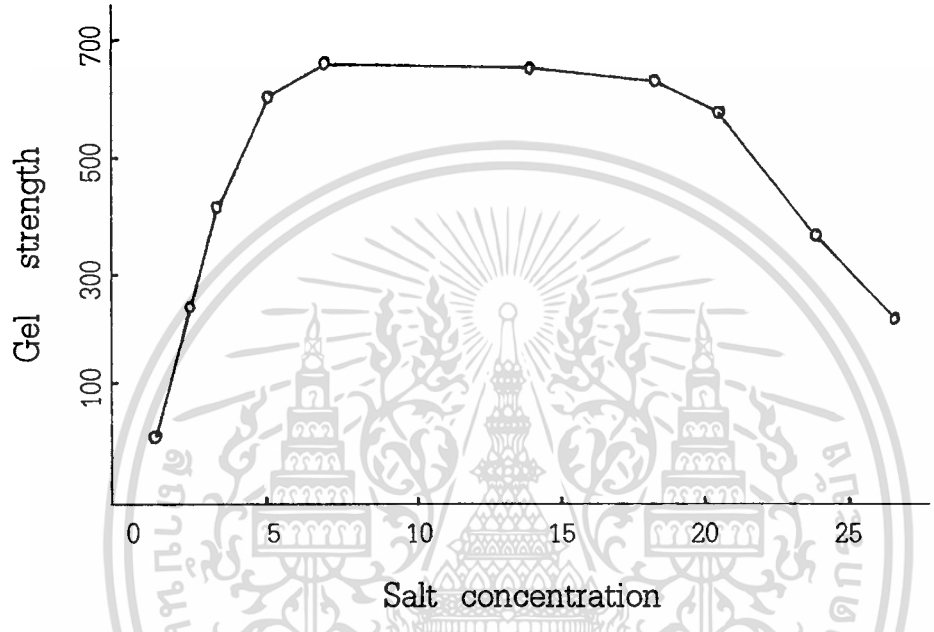
Paterson *et. al*. (1988) ศึกษาผลของเกลือ (NaCl) และไพโรฟอสเฟต (PP) ที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อโคส่วนคอ (Sternomandibularis) โดยใช้ปริมาณเกลือ 0.4 , 0.7 และ 1.0 โมลาร์ กับ PP 10 มิลลิโมลาร์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือ โปรตีนไมโอไฟบริลจะถูกสกัดได้มากขึ้น และยังเพิ่มการพองตัวของโปรตีน รวมทั้งค่าความสามารถในการอุ้มน้ำด้วย

Niwa (1984) สันนิษฐานว่า โปรตีนไมโอไฟบริล เช่น แอกโตไมโอซิน แอกติน จะละลายในสารละลายเกลือ และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากโซเดียมและคลอไรด์อิออนเข้าไปเกิดพันธะกับส่วนที่เป็นอิออนของโมเลกุล ดังนั้นจึงลดโอกาสที่โมเลกุลโปรตีนจะเกิดพันธะระหว่างกันได้ และนอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบการเกิดเจล

Okada (1990) พบว่าโปรตีนไมโอไฟบริลเป็นโปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือ ดังนั้นในระหว่างการบดเนื้อปลาจึงมีการใช้เกลือร่วมด้วยเพื่อสกัดโปรตีนไมโอไฟบริล ทำให้เนื้อปลามีลักษณะข้นหนืด แต่การเกิดเจลจะยังไม่สมบูรณ์ถ้าหากภายหลังไม่ได้ใช้ความร้อนเพื่อให้เจลเซ็ทตัว และเจลที่ได้จะมีความยืดหยุ่น ความเข้มข้นของเกลือที่ใช้จะมีผลต่อการฟอร์มเจลของโปรตีนไมโอไฟบริล จากภาพที่ 2.15 เป็นผลของการใช้เกลือความเข้มข้นตั้งแต่ 2 – 25% ของน้ำหนักปลาบดซูริมิในการผลิตคามาโบโกะ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือสูงเกินไปจะมีผลทำให้เกิด salting out ของโปรตีน ทำให้โปรตีนตกตะกอนเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากมีค่า ionic strength สูงและเจลที่ได้มีความเหนียวน้อยลงเมื่อความเข้มข้นของเกลือมากกว่า 7% ค่าโดยเฉลี่ยของการใช้เกลือในการแปรรูปทางการค้าคือ 2.5% ซึ่งเกือบจะเป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่ต้องการในการสกัดโปรตีน การเติมเกลือที่ความเข้มข้นสูง ๆ เพื่อสกัดโปรตีนให้ได้มากที่สุดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเค็มจัด ดังนั้นระดับความเข้มข้นของเกลือมักถูกกำหนดในกระบวนการแปรรูป โดยคำนึงถึงรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ



ภาพที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเกลือกับค่า Gel strength ของคามาโบโกะ
ที่มา : Okada (1990)

Sato *et. al.* (1984a) ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของโปรตีนกล้ามเนื้อปลาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องผ่านเปรียบเทียบระหว่างซูริมิไม่เติมเกลือกับซูริมิเติมเกลือที่ผลิตจากปลา Alaska pollock ผสมด้วยเครื่องโมทาร์ พบว่าซูริมิไม่เติมเกลือมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคแตกต่างกัน โดยจัดได้เป็น 4 ลักษณะคือ 1. มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไมโอไฟบริลบ้าง โดยพบเส้น M-line และ Z-band เรียงตัวแนวบิดเบี้ยวเล็กน้อยแต่ยังคงมีความสมบูรณ์ของซาร์โคเมียร์ปรากฏให้เห็น 2. มีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเกิดขึ้น คือ ยังคงเห็นโครงสร้างไมโอไฟบริลบ้างแต่ไม่สามารถบอกตำแหน่งของ M-line และ Z-band ได้อย่างชัดเจน 3. ไม่พบโครงสร้างไมโอไฟบริล พบเฉพาะเส้นใยฝอยเรียงตัวเป็นกลุ่มๆ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นเส้นใยแอกโตไมโอซิน 4. ไม่เหลือสภาพเส้นใยไมโอไฟบริลและเส้นใยฝอย ปรากฏแต่เพียงลักษณะของโปรตีนแมททริกส์ ซึ่งปริมาณการถูกทำลายของโครงสร้างที่พบในลักษณะต่างๆ นี้ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความแข็งแรงของเจล ส่วนซูริมิเติมเกลือ พบโปรตีนแมททริกส์ซึ่งบางบริเวณ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาะตัวกันแน่น บางบริเวณเกาะตัวกันอย่างหลวม โดยปรากฏเป็นโครงสร้างร่างแหซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับโครงสร้างของคามาโบโกะ ซึ่งโครงสร้างของคามาโบโกะที่มีคุณภาพต่าง ๆ กัน พบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกันคือ 1. พบเส้นใยฝอยมีการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างร่างแห 2. พบโปรตีนแมททริกส์และยังพบกลุ่มเส้นใยฝอยกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ 3. ยังคงพบโครงสร้างไมโอไฟบริลบ้าง โดยที่แถบ Z - band เรียงตัวอยู่ในแนวที่บิดเบี้ยวมากแต่เหลือสภาพที่เป็นซาร์โคเมียร์ 4. ไม่พบโครงสร้างไมโอไฟบริล มีสภาพเป็นโปรตีนแมททริกส์และยังเห็น Z - band 5. ไม่เหลือสภาพเส้นใยไมโอไฟบริล พบเพียงแต่คอลลาเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความแข็งแรงของเจลซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการทำลายโครงสร้างไมโอไฟบริลและสภาพการจับตัวกันของ
โปรตีน

2.4.8 สารประกอบฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตที่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่ monosodium phosphate monopotassium phosphate , disodium phosphate , dipotassoum phosphate , sodium acid pyrophosphate , sodium tripolyphosphate , potassium tripolyphosphate , sodium hexametaphosphate หรืออาจเป็นของผสมของสารประกอบฟอสเฟตชนิดต่าง ๆ ที่กล่าว (ศิวพร ศิวเวชช. 2535)

สารประกอบฟอสเฟตช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ โดยที่สารประกอบฟอสเฟตทำปฏิกริยากับ organic ployelectrolyt ได้แก่โปรตีนที่ยังไม่เปลี่ยนสภาพเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน protein – phosphate – salt complex ทำให้โมเลกุลของโปรตีนสานกันเป็นตาข่ายจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำหรือกันไม่ให้น้ำซึมออกมาได้ นอกจากนี้สารประกอบฟอสเฟตสามารถทำให้ค่า pH ของเนื้ออยู่ในช่วงที่เป็นกลาง และยังทำให้แอกโตไมโอซินแยกตัวออกจากกันได้ จึงช่วยทำให้โปรตีนอยู่ในสภาพคลายตัว ทำให้มี sites มากขึ้นในการรวมกับน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สูญเสียน้ำหนักมากเกินไปเมื่อทำให้สุก ผลิตภัณฑ์จึงมีความนุ่ม ชุ่มฉ่ำน้ำ และมีลักษณะน่ารับประทาน สารประกอบฟอสเฟตที่เป็นกรดจะทำให้ pH ของเนื้อลดต่ำลงเป็นผลให้เนื้อหดตัวมากขึ้น ส่วนสารประกอบฟอสเฟตที่ใช้ได้ผลดีกับผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เรียงตามประสิทธิภาพได้แก่ sodium tripolyphosphate , sodium tetrapolyphosphate sodium hexametaphosphate , tetrasodium pyrophosphate , cyclic sodium metaphosphate และ disodium phosphate (Kramas. 1976)

สารประกอบฟอสเฟต เช่น sodium tripolyphosphate ได้มีการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการอุ้มน้ำ การเกิดอิมัลชั่น และ สี รวมทั้งป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน การใช้เกลือร่วมกับสารประกอบฟอสเฟตมีผลทำให้น้ำหนักผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นภายหลังการให้ความร้อน เพิ่มความสามารถในการจับตัวกันของชิ้นเนื้อและเพิ่มการอุ้มน้ำมากกว่าการใช้เกลือเพียงอย่างเดียว (Shults and Wiergichi. 1972 ; Pepper and Schmidt. 1975)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบฟอสเฟต เช่น sodium pyrophosphate เป็นสารประกอบที่ช่วยลดค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหุงต้ม เพิ่มความชุ่มฉ่ำน้ำของเนื้อ ปรับปรุงสีของเนื้อให้ดีขึ้นและช่วยเพิ่มค่าแรงยึดเกาะของชิ้นเนื้อด้วย (Mandigo. 1986)

Pigott (1986) พบว่า สารโพลีฟอสเฟตทำให้ค่า pH สูงขึ้นได้ต่างกัน ในช่วง 5.9 – 6.3 Sodium pyrophosphate และ Sodium tripolyphosphate จะให้ค่า pH ประมาณ 6.2 และมีประสิทธิภาพทั้งในการเพิ่มค่าความแข็งแรงของเจลและความสามารถในการเก็บกักน้ำได้ดีกว่าสารโพลีฟอสเฟตชนิดอื่น และถ้าผสม Sodium pyrophosphate และ Sodium tripolyphosphate ในอัตราส่วน 6 : 4 จะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากกว่าการใช้เพียงตัวใดตัวหนึ่ง การใช้สารทั้งสองร่วมกันนี้ใช้ในปริมาณ 0.1 – 0.3% ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงของเจลที่ดีที่สุด

การใช้สารประกอบฟอสเฟตทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลมีการละลายได้มากขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของค่า pH และค่า ionic strength ความสามารถในการละลายของโปรตีนจะมีค่าต่ำสุดในช่วง pI คือที่ pH 5 – 6 ซึ่งประสิทธิภาพของฟอสเฟตจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อมีการใช้ในปลาแช่เยือกแข็งที่โปรตีนมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ และสูญเสียความสามารถในการละลาย นอกจากนี้การใช้ฟอสเฟต 0.2 – 0.3% ในผลิตภัณฑ์จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการเก็บกักน้ำของเจล ค่าความแข็งแรงของเจลคามาโบโกะจะมีค่าต่ำสุดในช่วง pI และเมื่อค่า pH สูงขึ้นค่าความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นสูงกว่า 8 จะทำให้ความแข็งแรงของเจลต่ำลงและความสามารถในการเกาะตัวลดลง ค่า pH ที่เหมาะสมของซูริมิที่สับผสมแล้วก่อนที่จะนำไปให้ความร้อนอยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 (Okada. 1985)

Paul and Palmer (1972) รายงานว่า การเติมเกลือแกง 2% ในเนื้อวัวบดจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและยับยั้งการลดลงของ cooking loss ในขณะที่มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และถ้ามีการเติมเกลือแกงและโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายยาง (rubbery texture) ในผลิตภัณฑ์ที่สุกแล้ว

2.4.9 อุณหภูมิและเวลาในการผสม

Pepper and Schmidt (1975) พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการนวดผสมขึ้นในช่วง 5 ,10 และ 20 นาที จะทำให้ค่าความแข็งแรงของเจล การจับตัวกัน และผลผลิตที่ได้ของ beef roll มีค่าเพิ่มมากขึ้น

Sato *et. al.* (1987) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคามาโบโกะที่ผลิตจากปลาคาร์ป พบว่าเมื่อเป็นกล้ามเนื้อปลาจะปรากฏโครงสร้างไมโอไฟบริลชัดเจน คือ Z - band และ M - line เรียงตัวกันเป็นระเบียบและจากภาพตัดขวางเส้นใยบางมีการเรียงตัวแบบหกเหลี่ยม (hexagonal arrangment) ล้อมรอบเส้นใยหนาแต่ละอัน ต่อมานำเนื้อปลาบดกับเกลือ 2.5% ด้วยเวลาผสมดังนี้คือ เมื่อผสมนาน 30 วินาที พบโปรตีนแมททริกส์ไม่สามารถระบุเส้น M - line และ Z - band ได้ชัดเจน พบเห็นเส้นใยฝอยกระจายไปทั่ว เมื่อผสมนาน 1 นาที พบโปรตีนแมททริกส์คล้ายที่ผสมนาน 30 วินาทีแต่เส้นใยฝอยมีการกระจายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น ผสมนาน 10 นาที ไม่ค่อยพบโครงสร้างไมโอไฟบริลแต่พบ Z - band บ้าง ผสมนาน 15 นาที เส้นใยฝอยรวมตัวกันเป็นเส้นใยแอกโตไมโอซิน สรุปได้ว่าปริมาณการถูกทำลายโครงสร้างไมโอไฟบริลเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการผสมที่เพิ่มขึ้น

Gillett *et. al.* (1977) กล่าวว่าประสิทธิภาพการสกัดโปรตีนจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการสกัดต่ำลง จาก 35 – 4 องศาเซลเซียส ความสามารถในการสกัดโปรตีนลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพราะโปรตีนที่สกัดออกมาบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพและจับตัวกัน อุณหภูมิ 7.2 องศาเซลเซียส เป็นที่เหมาะสมในการสกัดโปรตีนจากเนื้อ 50 กรัม ด้วยสารละลายเกลือเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมินี้อาจเปลี่ยนแปลงตามสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน เช่น เวลา ปริมาณเกลือที่ใช้ เป็นต้น แต่โดยทั่วไปควรใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัดโปรตีนเพื่อที่จะได้การสกัดที่มีประสิทธิภาพดี

การผสมทำให้ลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกัน การจับตัวของชิ้นเนื้อดีขึ้นแต่จะมีค่าสูงสุดที่จุดหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนสะสมในระหว่างการผสมทำให้โปรตีนถูกทำลายหรือเสียสภาพไป ไม่สามารถสกัดออกมาได้ Mandigo (1986) พบว่า ปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลที่สกัดได้เพิ่มตามระยะเวลาการผสมที่เพิ่มขึ้นจาก 0 – 6 นาที และลดลงหลังจากนั้น

Fish Processing Section (1983) กล่าวถึงการผลิตลูกชิ้นปลาควรควบคุมอุณหภูมิการผสมไม่ให้เกิน 10 องศาเซลเซียส โดยช่วงแรกเริ่มนวดเนื้อปลาอย่างเดียวก่อนเพื่อให้เซลล์ของเนื้อเยื่อแตกตัว ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการที่เกลือจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับโปรตีน แล้วจึงเติมเกลือ 3% ของน้ำหนักเนื้อปลา เพื่อสกัดโปรตีนที่ละลายในเกลือ การควบคุมอุณหภูมิมีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นและความเหนียวของเนื้อปลา และหากบดเนื้อปลากับเกลือแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มีการให้ความร้อน เนื้อปลานั้นจะยืดหยุ่นแต่ไม่เหนียว ช่วงเวลาในการนวดปลากับเกลือและเครื่องปรุงต่าง ๆ ใช้เวลา 10 – 20 นาที

การผสมทำให้เซลของเนื้อถูกทำลายโดยการฉีกขาด จึงมีผลให้เกลือสกัดโปรตีนได้ดี ทำให้การยึดเกาะระหว่างชิ้นเนื้อดีขึ้น พบว่าถ้าเพิ่มเวลาในการผสมจะทำให้เซลถูกทำลายมากขึ้น เมื่อเวลาของการผสมนานกว่า 18 นาที ปริมาณโปรตีนไมโอซินที่ได้จะลดลง เนื่องจากขณะทำการผสมมีการสะสมความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพ ไม่สามารถสกัดออกมาได้และยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นอิมัลชั่นมากกว่าอยู่ในรูปเส้นใย (Theno *et. al.* 1978)

2.4.10 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เจลเซ็ทตัวและคงตัว

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

การให้ความร้อนซูริมิจากเนื้อปลาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเจลที่ได้มีความแข็งแรง และความยืดหยุ่นมากกว่าเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเพียงอุณหภูมิเดียว โดยอุณหภูมิที่ใช้เริ่มแรกเป็นการทำให้เกิดการเซ็ทตัวของเจล (Montejano *et. al.* 1984) การใช้ความร้อนขั้นต้นสามารถทำให้โปรตีนเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ ซึ่งมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นสามารถล้อมรอบไขมันและน้ำในอาหารได้

ในองค์ประกอบทั้งหมดของโปรตีนไมโอไฟบริล พบว่าไมโอซินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อการเกิดเจล การแผ่ตัวออกของโครงสร้างไมโอซินแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวสัตว์ พบว่าไมโอซินจากปลามีความคงทนต่อความร้อนน้อยกว่าสัตว์เลือดอุ่น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำจึงเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าสัตว์เลือดอุ่น การสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมของไมโอซินที่สกัดจากเนื้อกระต่ายเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในขณะที่ไมโอซินจากปลาคาร์พสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส (Akahane *et. al.* 1985) สำหรับการสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมของแอกตินเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือของกระต่ายและปลาคาร์พเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 82 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การสูญเสียโครงสร้างดั้งเดิมของไมโอซินสามารถติดตามได้จากการสูญเสีย ATPase activity ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างบริเวณ globular head และยังสามารถติดตามได้จากการสูญเสียโครงสร้างแอลฟา – ฮีลิกซ์ (Ogawa *et. al.* 1993)

โปรตีนที่ละลายได้ในสารละลายเกลือเมื่อมีการละลายออกมาแล้วจะเกิดการโพลิเมอไรซ์และก่อตัวเป็นโครงร่างตาข่ายเมื่อให้ความร้อน การให้ความร้อนจะทำให้โปรตีนเกิดการเซ็ทตัว คือการเริ่มเซ็ทตัวของเจลของโปรตีนที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส การเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถเกิดเจลได้อย่างช้า ๆ ให้ลักษณะเจลที่ใสซึ่งจะทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรงดีเมื่อนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง

Samejima *et. al.* (1981) พบว่าเมื่อให้ความร้อน ส่วนหัวของไมโอซินมีแนวโน้มที่จะเกาะรวมตัวกัน โดยส่วนหัวที่เป็นทรงกลมของไมโอซินจะเกี่ยวกับการออกซิเดชั่นของกลุ่มซัลไฮดริล และการเหยียดตัวของส่วนหางของไมโอซินที่เป็นฮีลิกซ์คอยล์เนื่องจากความร้อน ทำให้โอกาสเกิดพันธะระหว่างส่วนต่าง ๆ ของสายมีมากขึ้น เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย

2.4.11 อัตราการให้ความร้อนในระหว่างการทำให้เจลคงตัว

อัตราการให้ความร้อนในระดับต่ำและคงที่มีผลต่อการเกิดเจลและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการให้อัตราการให้ความร้อนที่ต่ำจะทำให้โปรตีนมีเวลาที่ใช้ในการคลายตัวและการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่ายมากขึ้น จะทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรง

อัตราการให้ความร้อนมีผลต่อการเกิดเจลและความคงตัวของเนื้อบดที่มีปริมาณเกลือ 2.5% และ 3% พบว่าการใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 0.31 องศาเซลเซียสต่อนาที จะให้เจลที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการให้ความร้อนที่ 0.51 1.22 และ 1.62 องศาเซลเซียสต่อนาที (Barbut and Mittal. 1990) แต่ได้มีรายงานของ Saliba *et. al.* (1987) พบว่าอัตราการให้ความร้อนไม่มีผลต่อความเหนียวและความยืดหยุ่นของไส้กรอกแฟรงก์เฟอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lan *et. al.* (1995b) ศึกษาอัตราการให้ความร้อนที่ 3 และ 7 องศาเซลเซียสต่อนาทีและค่าความเป็นกรดด่างที่ 5.5 , 6.0 , 6.5 และ 7.0 ที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อสุกร เนื้อโค เนื้อปลา และเนื้อไก่ พบว่าเมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนต่ำที่ความเป็นกรดด่าง 6.5 และ 7.0 เจลที่ได้มีความยืดหยุ่นและความเหนียวมากกว่าเมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนที่สูง นอกจากนี้ยังพบว่า กล้ามเนื้อทุกชนิดยกเว้นเนื้อไก่ส่วนอกจะมีเจลที่มีความแข็งแรงสูงสุดเมื่อความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.0 นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาการเกิดเจลของโปรตีนชนิดต่าง ๆ ดังนี้ ไมโอซิน แอกติน โปรตีนไมโอไฟบริล โปรตีนซาร์โคพลาสมิก และโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ของเนื้อสุกรส่วนสะโพกพับนอก (Semimembranosus) และเนื้อไก่พบว่า เมื่อทำการเตรียมที่ pH 6.0 เกลือ NaCl 2% และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการให้ความร้อน 0.7 องศาเซลเซียสต่อนาที ไมโอซินจากเนื้อสุกรให้เจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าเนื้อไก่ และยังมีน้ำหนักสูญเสียเมื่อให้ความร้อนในปริมาณที่น้อยกว่าเนื้อไก่ ส่วนแอกตินไม่สามารถเกิดเจลได้ แต่สามารถทำให้ไมโอซินเกิดเจลได้ดีเมื่อมีอัตราส่วนที่เหมาะสมกับไมโอซิน นอกจากนี้ยังพบว่าเจลของโปรตีนไมโอไฟบริลจากเนื้อไก่และเนื้อสุกรมีน้ำหนักสูญเสียเมื่อให้ความร้อนต่ำที่สุดรองลงมาคือโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและโปรตีนซาร์โคพลาสมิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 เนื้อสุกร

ใช้เนื้อสุกรบริเวณสะโพกส่วนพับนอก ชื่อวิทยาศาสตร์ Semimembranosus ที่ได้จากสุกรที่มีอายุ 6 – 7 เดือน น้ำหนัก 100 – 120 กิโลกรัม สายพันธุ์ลูกผสม ลาร์ดไวท์ แลนด์เรจ และดูรอกซ์ โดยผ่านการตัดแต่งให้มีปริมาณไขมันไม่เกิน 3% ซึ่งจัดอยู่ในเกรด A และมีการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 7 องศาเซลเซียสภายหลังจากการตัดแต่งแล้ว 24 ชั่วโมง

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต

3.1.2.1 เกลือ NaCl (Sodium chloride)

3.1.2.2 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate)

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ Salt soluble protein

3.1.3.1 Biuret reagent

1) $CuSO_4.5H_2O$

2) Sodium potassium tartate

3) NaOH 10 %

3.1.2.1 NaCl solution 0.6 Molar

3.1.2.2 Deoxycholate 1%

3.1.2.3 Bovine serum albumin (BSA)

3.2 อุปกรณ์ในการผลิต

3.2.1 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)

3.2.2 เครื่องบดเนื้อ

3.2.3 เครื่องผสม (Mixer) ใช้ใบพัดรูปใบไม้

3.2.4 เครื่องอัดแบตเตอร์ใส่ภาชนะ

3.2.5 ภาชนะทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร

3.2.6 อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 อ่างน้ำเย็น

3.2.8 ตู้เย็น

3.2.9 เครื่องชั่ง

ขนาด 240 กรัม	Sartorius	IB 16 EDE - S
ขนาด 16 กิโลกรัม	Mettler	AE 240

3.2.10 เทอร์โมมิเตอร์ Scale 1 – 100 ปรอท

3.2.11 กล่องโฟม

3.2.12 กะละมัง

3.2.13 มีด

3.2.14 เขียง

3.2.15 ถุงพลาสติก

3.2.16 ไม้พายพลาสติก

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.3.1	เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyser)	TA – XT2	
3.3.2	เครื่องวัด pH	Suntex	SP - 701
3.3.3	ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	memmert	W 15
3.3.4	โถดูดความชื้น (Desicator)		
3.3.5	เทอร์โมมิเตอร์	Scale 1 – 100	ปรอท
3.3.6	เครื่องชั่งขนาด 240 กรัม	Mettler	AE 240
3.3.7	เครื่องวิเคราะห์โปรตีน	Buchi	425
3.3.8	เครื่องวิเคราะห์ไขมัน	Buchi	B810

3.4 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Salt – soluble protein

3.4.1	Centrifuge tube		
3.4.2	Centrifuge	Centrikon	T – 42K
3.4.3	Homogenizer		
3.4.4	บีกเกอร์		
3.4.5	กระดาษกรอง Whatman # 1		
3.4.6	แท่งแก้ว		
3.4.7	ช้อนสแตนเลสด้ามยาว		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8	เครื่องชั่งขนาด 250 กรัม	Mettler	AE 240
3.4.9	กระบอกตวง		
	ขนาด 50 ml.		
	ขนาด 100 ml.		
3.4.10	cuvette		
3.4.11	เครื่อง Spectrophotorneter	Shimazu	UV - 1601
3.4.12	หลอดทดลอง		
3.4.13	Hot plate	Velp scientifica rc	
3.4.14	ปิเปต		
	ขนาด 0.1 ml.		
	ขนาด 1 ml.		
	ขนาด 10 ml.		
3.4.15	ขวดปรับปริมาตร		
	ขนาด 25 ml.		
	ขนาด 50 ml.		
	ขนาด 250 ml.		
	ขนาด 500 ml.		
3.4.16	Magnetic bar		
3.4.17	Magnetic stirrer	IKA	color squid

3.5 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่า Water holding capacity

3.5.1	Centrifuge tube		
3.5.2	Centrifuge	Centrikon	T – 42K
3.5.3	กระบอกตวง		
3.5.4	เครื่องชั่งขนาด 240 กรัม	Mettler	AE 240
3.5.5	บีกเกอร์		
3.5.6	ช้อนสแตนเลสด้ามยาว		

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 วิธีการทดลอง

3.7.1 การศึกษาผลของการเก็บรักษาวัตถุดิบที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

นำเนื้อสุกรที่รับจากโรงงานมาแบ่งเป็นชิ้น ๆ ละ 500 กรัม ใส่ถุงพลาสติกแล้วนำไปเก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ดังนี้ อุณหภูมิ -4 , 0 และ 4 องศาเซลเซียส แต่ละอุณหภูมิใช้เวลา 1 , 3 , 5 และ 7 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาบดผ่านแผ่นแว่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 6 มิลลิเมตร โดยทำการบด 2 ครั้ง แล้วนำมา 300 กรัม ดำเนินการตามวิธีการผลิตดังแสดงในหัวข้อ 3.8 และทดสอบคุณภาพของเจลดังภาคผนวก จ และ ฉ

3.7.1.1 การวัดอุณหภูมิ

โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิทั้งวัตถุดิบที่รับจากโรงงาน วัตถุดิบที่ผ่านการเก็บรักษาตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด และแบตเตอร์

3.7.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบและแบตเตอร์ (ภาคผนวก ข)

3.7.1.3 การวัด pH

วัดค่า pH ของวัตถุดิบและแบตเตอร์ (ภาคผนวก ข)

3.7.1.3 การวิเคราะห์ค่า Water holding capacity (WHC)

วิเคราะห์ค่า WHC ของวัตถุดิบที่ผ่านการบดแล้วและแบตเตอร์ (ภาคผนวก ค)

3.7.1.4 การวิเคราะห์ค่า Cooking loss

วิเคราะห์ค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์ (ภาคผนวก ค)

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 × 4 โดยมีปัจจัยหลักเป็นอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษา อุณหภูมิในการเก็บรักษามี 3 ระดับ เวลาในการเก็บรักษามี 4 ระดับ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SASS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.7.2 การศึกษาผลของการบดเนื้อสุกรให้ละเอียดต่อการสกัดได้ของโปรตีนด้วยเกลือในปริมาณต่าง ๆ กัน

นำเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาตามหัวข้อ 3.7.1 ที่ให้คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดมาทำการศึกษาโดยการบดเนื้อสุกรผ่านแผ่นแว่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง 2 , 4 และ 6 มิลลิเมตร และมีการเติมเกลือในปริมาณต่าง ๆ กันในขณะปั่นผสมดังนี้ 2 , 2.5 , 3 , 3.5 และ 4 % ดำเนินการตามหัวข้อ 3.8 และทดสอบคุณภาพของเจลดังภาคผนวก จ และ ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณ Salt – soluble protein (SSP)

วิเคราะห์ปริมาณ SSP ของวัตถุดิบและแบตเตอร์ (ภาคผนวก ง)

3.7.2.2 การวิเคราะห์ค่า Cooking loss

วิเคราะห์ค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์ (ภาคผนวก ค)

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 × 4 โดยมีปัจจัยหลักเป็นขนาดของแผ่นแว่นบดเนื้อและปริมาณเกลือที่ใช้ ขนาดของแผ่นแว่นมี 3 ระดับ ปริมาณเกลือมี 4 ระดับ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SASS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.7.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ทำให้เจลเซ็ทตัวและคงตัวต่อคุณภาพการเกิดเจล

ดำเนินการทดลองตามวิธีที่ได้จากการศึกษาหัวข้อ 3.7.2 แล้วให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะที่ดีที่สุดมาทำการศึกษาตามหัวข้อ 3.8 โดยให้ความร้อนในช่วงแรก 30 – 35 , 35 – 40 และ 40 – 45 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำมาให้ความร้อนต่อในช่วงที่สอง 80 – 85 , 85 – 90 และ 90 – 95 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 10 และ 20 นาที แล้วนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบคุณภาพของเจลดังภาคผนวก จ และ ฉ

3.7.3.1 การวิเคราะห์ค่า Cooking loss

วิเคราะห์ค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์ (ภาคผนวก ค)

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3× 3 × 2 โดยมีปัจจัยหลักเป็นอุณหภูมิในการเซ็ทตัวของเจล อุณหภูมิในการคงตัวของเจล และเวลาในการคงตัวของเจล อุณหภูมิในการเซ็ทตัวมี 3 ระดับ อุณหภูมิในการคงตัวมี 3 ระดับ เวลาในการคงตัวมี 2 ระดับ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SASS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.7.4 การศึกษาผลของการใช้สารประกอบฟอสเฟตเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของเจล

ดำเนินการทดลองตามวิธีที่ได้จากการศึกษาหัวข้อ 3.7.3 แล้วให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะที่ดีที่สุดมาทำการศึกษาตามหัวข้อ 3.8 โดยมีการเติมโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตในระหว่างปั่นผสมปริมาณต่าง ๆ กันดังนี้ 0.25 , 0.5 , 1.0 และ 2.0 % แล้วนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบคุณภาพของเจลดังภาคผนวก จ และ ฉ

3.7.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบและแบตเตอร์ (ภาคผนวก ข)

3.7.4.2 การวัด pH

วัดค่า pH ของวัตถุดิบและแบตเตอร์ (ภาคผนวก ช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.4.3 การวิเคราะห์ค่า Water holding capacity (WHC)

วิเคราะห์ค่า WHC ของวัตถุดิบที่ผ่านการบดแล้วและแบตเตอร์ (ภาคผนวก ค)

3.7.4.4 การวิเคราะห์ค่า Cooking loss

วิเคราะห์ค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์ (ภาคผนวก ค)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยมีปัจจัยเป็นปริมาณโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ปริมาณโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตมี 5 ระดับ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SASS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.7.5 การศึกษาผลของการนำสภาวะที่เหมาะสมมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หมูยอ

การเตรียมเนื้อเพื่อให้มีลักษณะในการเกิดเจลที่ดีดำเนินการตามวิธีที่ดีที่สุดจากหัวข้อ 3.7.1 - 3.7.4 นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หมูยอที่มีสูตรดังภาคผนวก ช โดยพิจารณาการเติมเกลือที่ระดับ 3 และ 4 % และเติมไขมันในสองลักษณะคือเติมในรูปมันแข็ง และเติมในรูป Fat emulsion (ภาคผนวก ช)

ปริมาณมันแข็งที่ทำการศึกษามี 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30%

ปริมาณ Fat emulsion ทำการศึกษาใน 2 ระดับ คือ สูตรที่ใช้เกลือ 3% เติม Fat emulsion 20% และสูตรที่เติมเกลือ 4% เติม Fat emulsion 60% แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบคุณภาพของเจลดังภาคผนวก จ และ ฉ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยมีปัจจัยเป็นปริมาณมันแข็ง ปริมาณมันแข็งมี 3 ระดับ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SASS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยมีปัจจัยเป็นปริมาณ Fat emulsion ปริมาณ Fat emulsion มี 2 ระดับ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SASS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan' s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปทดสอบคุณภาพ

เนื้อสุกรที่ผ่านการบดแล้ว 300 กรัม

⇩

ปั่นผสมในเครื่องผสมด้วยความเร็วระดับ 3 เป็นเวลา 5 นาที

⇩

เติมเกลือ 4.5 กรัม แล้วทำการผสมต่อ 5 นาที

⇩

เติมเกลือ 4.5 กรัม แล้วทำการผสมต่อ 10 นาที

⇩

เติมน้ำเย็น 300 กรัม แล้วผสมต่อ 10 นาที

⇩

บรรจุในถุงพลาสติกที่อยู่ในกระบอกอลูมิเนียม
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 ซม. สูง 12 ซม. ด้วยเครื่องอัด

⇩

ต้มในน้ำแรกอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาทีแล้วนำมาต้มต่อ
ในน้ำที่สองอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

⇩

ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

⇩

เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4 – 8 องศาเซลเซียส เวลา 18 ชั่วโมง

⇩

นำตัวอย่างมาทดสอบคุณภาพ

⇩ ⇨ วัดความเหนียว (Gel strength)

⇩ ⇨ ทดสอบโดยการพับ (Folding test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

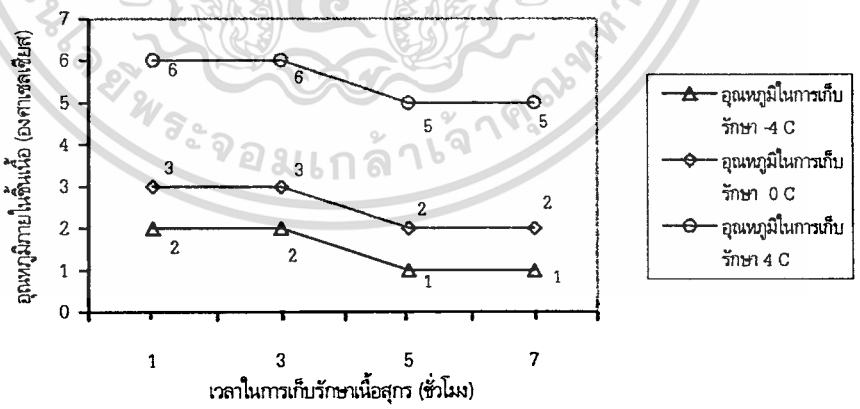
4.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาวัตถุดิบต่อคุณภาพของการเกิดเจล

เนื้อสุกรที่นำมาใช้เพื่อการศึกษาควบคุมอุณหภูมิภายหลังการชำแหละและขนส่งให้มีอุณหภูมิไม่เกิน 7 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพในขั้นต้น มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสุกรก่อนนำไปศึกษา

องค์ประกอบทางเคมี	
ความชื้น	75.18 %
ไขมัน	1.75 %
โปรตีน	18.09 %
ค่า pH	5.40 - 5.65

เมื่อนำเนื้อสุกรมาทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษา พบว่าอุณหภูมิภายในของชิ้นเนื้อสุกรมีการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิเริ่มต้น (ไม่เกิน 7 องศาเซลเซียส) แสดงดังภาพที่ 4.1



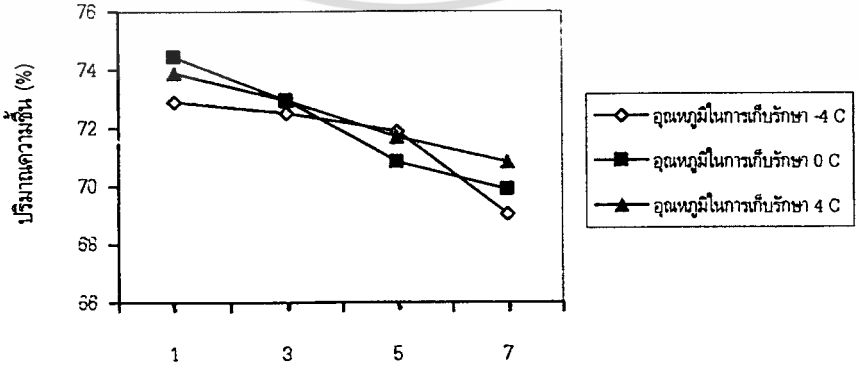
ภาพที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

จากภาพที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อสุกรจะลดลงจากอุณหภูมิของเนื้อสุกรเริ่มต้น โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาเนื้อสุกร คือ ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำที่ -4 และ 0 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถลดอุณหภูมิของเนื้อลงได้อย่างรวดเร็วและใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (4 องศาเซลเซียส) ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของชิ้นเนื้อลดต่ำลงได้ถึง 1 – 2 องศาเซลเซียส ตามที่ต้องการ และสามารถรักษาคุณภาพของเนื้อสดไว้ได้ดีก่อนนำไปใช้เพื่อการแปรรูป เห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา เพื่อการเก็บรักษาชิ้นเนื้อในช่วงแรกมีผลทำให้อุณหภูมิของชิ้นเนื้อลดลงได้ตามที่ต้องการ 1 – 2 องศาเซลเซียส ภายในเวลาอันสั้น (1 ชั่วโมงของการแช่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ) แต่เมื่อใช้เวลาในการแช่นานขึ้นคือ 3 5 และ 7 ชั่วโมงตามลำดับ มีผลทำให้อุณหภูมิลดลงค่อนข้างช้ามาก ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชิ้นเนื้อช่วงแรกถึง 7 – (-4) เท่ากับ 14 — 7 องศาเซลเซียส ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นได้ดีในช่วงแรก แต่เมื่ออุณหภูมิของชิ้นเนื้อลดลงระดับหนึ่งทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในชิ้นเนื้อและห้องเก็บมีค่าน้อยลง 2 – (-4) เท่ากับ 6 – 3 องศาเซลเซียส การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นได้น้อยกว่า ส่วนการใช้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อการควบคุมอุณหภูมิของชิ้นเนื้อมีผลทำให้อุณหภูมิลดลงค่อนข้างน้อย ก็ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับข้างต้น ทำให้อุณหภูมิของชิ้นเนื้อมีค่าสูงถึง 6 องศาเซลเซียสและลดลงอย่างช้า ๆ ดังนั้นถ้าต้องการให้อุณหภูมิของชิ้นเนื้อมีค่าต่ำต้องควบคุมให้ตู้แช่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการ นั่นคือการเก็บรักษาเนื้อสดที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส จะเป็นการเก็บรักษาที่ทำให้อุณหภูมิของเนื้อลดต่ำลงจนมีอุณหภูมิต่ำถึง1 – 2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เนื้อสดมีคุณภาพที่ดีในการนำไปแปรรูป

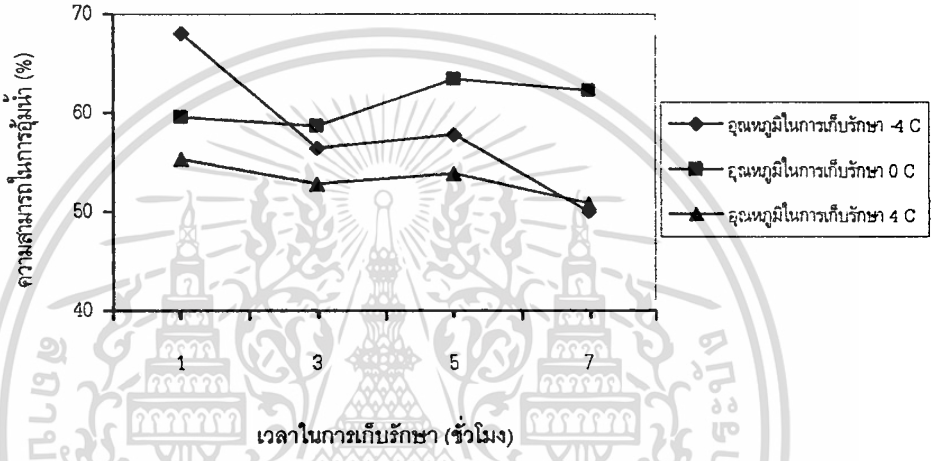
ค่า pH ของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด มีค่าอยู่ในช่วง 5.41 – 5.68 ซึ่งค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน และค่า pH ของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษามาแล้วมีค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับค่า pH ของเนื้อสุกรที่ยังไม่ได้ทำการเก็บรักษา ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.40 – 5.65 เนื่องมาจากเนื้อสุกรที่นำมาศึกษาเป็นเนื้อสุกรที่ผ่านการตัดแต่งมาแล้วไม่เกิน 24 ชั่วโมง จึงทำให้เนื้อสุกรมีค่า pH ที่อยู่ในช่วง ultimate pH แล้ว ซึ่ง ultimate pH ของเนื้อสัตว์อยู่ในช่วง 5.4 – 5.6 ดังนั้นเมื่อนำเนื้อสุกรมาเก็บรักษาในเวลาต่อมาจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเนื้อสุกร ปริมาณความชื้นของเนื้อสุกรมีค่าลดลงตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษาแสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แสดงปริมาณความชื้นของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.2 พบว่าปริมาณความชื้นของเนื้อสุกรมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น และอุณหภูมิที่ลดต่ำลง เนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 0 และ 4 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาให้นานมากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณความชื้นของเนื้อสุกรลดลงอย่างต่อเนื่อง เพราะอุณหภูมิที่ต่ำลงทำให้พันธะทางชีวเคมีที่มีอยู่ระหว่างโมเลกุลของน้ำและสายโพลีเปปไทด์มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา เพราะเป็นน้ำในส่วนที่ถูกตรึง (zone II) ซึ่งอาจมีการสูญเสียเกิดขึ้นได้จึงทำให้ปริมาณความชื้นต่ำลงได้ และเกิดการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าของชิ้นเนื้อ เนื่องจากกระแสลมเย็นในตู้พัดพาอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้น้ำเกิดการระเหยขึ้น สำหรับความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน แสดงดังภาพที่ 4.3

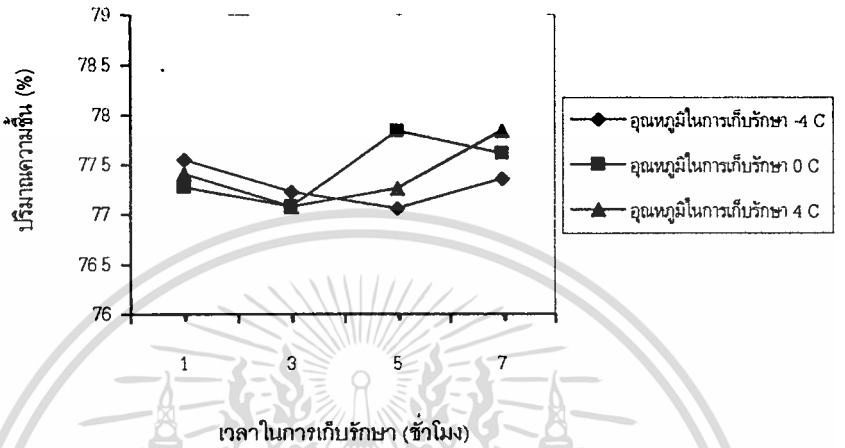


ภาพที่ 4.3 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

จากภาพที่ 4.3 พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และ ที่ 0 องศาเซลเซียส เวลา 5 และ 7 ชั่วโมง เนื้อสุกรจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ในช่วง 62.30 – 68.04% ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่ -4 องศาเซลเซียส เวลานานมากกว่า 1 ชั่วโมง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 49.97 – 57.76% เนื่องจากเมื่อเก็บเนื้อสุกรไว้ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียสที่เวลานานมากกว่า 1 ชั่วโมงมีผลทำให้อุณหภูมิของชิ้นเนื้อลดต่ำลงมากขึ้นจึงทำให้โปรตีนในเนื้อเกิดพันธะระหว่างกันได้ เพราะการที่อุณหภูมิของชิ้นเนื้อลดต่ำลงมากนั้นทำให้น้ำที่เกิดพันธะกับโปรตีนบางส่วนกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง จึงสูญเสียการเกิดพันธะกับโปรตีน ส่งผลให้โมเลกุลโปรตีนสามารถเข้ามาใกล้กันมากขึ้นและเกิดพันธะระหว่างกันได้ (Suzuki. 1981) โปรตีนจึงมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำได้ต่ำลง และเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 1 – 7 ชั่วโมง จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 50.91 – 55.31% เนื่องมาจากเนื้อสุกรที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 1 – 7 ชั่วโมง มีอุณหภูมิของชิ้นเนื้อ 5 – 6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงจึงทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ ส่งผลให้โปรตีนมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำได้น้อยลง

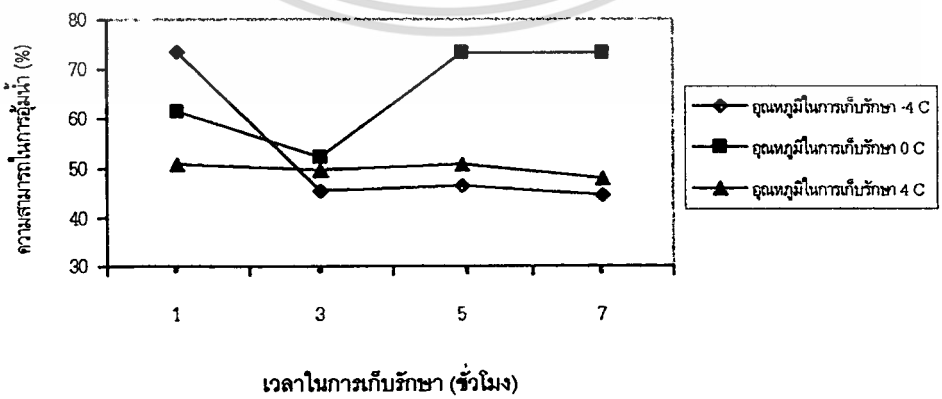
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเนื้อสุกรบดมาปั่นผสมกับเกลือและน้ำจะได้เนื้อแบตเตอร์ที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 5.52 – 5.95 ซึ่งค่า pH จะสูงกว่า pH ของเนื้อสุกรที่เป็นวัตถุดิบเล็กน้อย เนื่องจากขณะปั่นผสมมีการเติมเกลือ NaCl ซึ่งเกลือ NaCl สามารถแตกตัวเป็นอิออนบวกและอิออนลบได้ และอิออนลบของเกลือจะไปจับกับหมู่ของกรดอะมิโนที่เป็นบวกจึงทำให้ส่วนผสมมีอิออนลบมากขึ้น จึงทำให้ค่า pH ของเนื้อแบตเตอร์มีค่าสูงขึ้น เมื่อนำเนื้อแบตเตอร์มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณความชื้นของเนื้อแบตเตอร์แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงปริมาณความชื้นของเนื้อแบตเตอร์ที่ได้จากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

จากภาพที่ 4.4 พบว่าปริมาณความชื้นของเนื้อแบตเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณความชื้นของเนื้อสุกรที่เป็นวัตถุดิบ (69.05 – 74.43%) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 77.06 - 77.84% ซึ่งปริมาณความชื้นของเนื้อแบตเตอร์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในขณะปั่นผสมเนื้อสุกรบดกับเกลือมีการเติมน้ำลงไป 30% ของน้ำหนักเนื้อ จึงทำให้เกลือสามารถสกัดโปรตีนออกมาได้และโปรตีนสามารถเก็บกักน้ำไว้ในแบตเตอร์ได้จึงทำให้เนื้อแบตเตอร์มีปริมาณความชื้นสูงขึ้น ส่วนค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์แสดงได้ดังภาพที่ 4.5

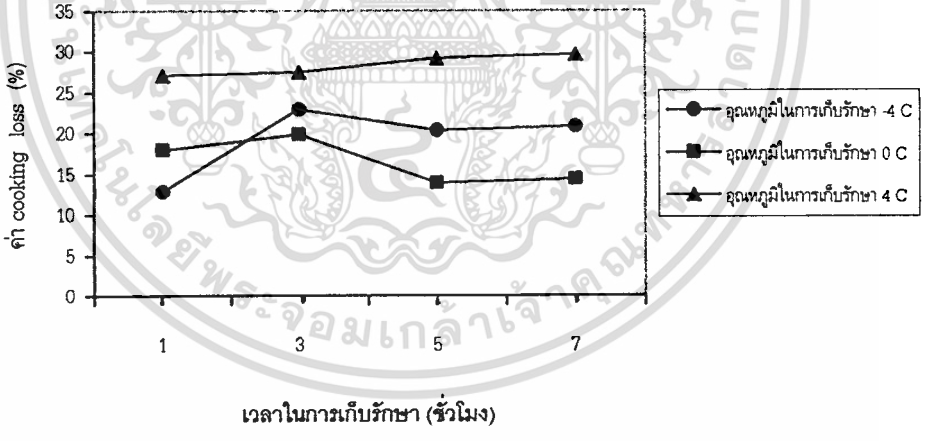


ภาพที่ 4.5 แสดงความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์ที่ได้จากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.5 พบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์มีค่าอยู่ในช่วง 44.67 - 73.55% ซึ่งค่าที่ได้มีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกรที่เป็นวัตถุดิบ จากภาพที่ 4.3 เมื่อเนื้อสุกรผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และที่ 0 องศาเซลเซียส เวลา 5 และ 7 ชั่วโมง ที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่า 60% นั้น ทำให้เนื้อแบตเตอร์ที่ได้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่า 70% โดยมีค่า 73.55 73.32 และ 73.21% ตามลำดับ เนื่องมาจากสภาพโปรตีนของเนื้อสุกรที่เป็นวัตถุดิบที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อนำมาปั่นผสมกับเกลือและน้ำเป็นเนื้อแบตเตอร์ โปรตีนที่ถูกสกัดออกมาจึงมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำที่ดีด้วย ส่งผลให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์มีค่าสูงขึ้น แต่ในสภาวะการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิและเวลาอื่น ๆ นั้น เมื่อนำมาปั่นผสมกับเกลือและน้ำจะได้เนื้อแบตเตอร์ที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสุกรที่เป็นวัตถุดิบ เนื่องมาจากโปรตีนในเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษามาแล้วนั้นมีคุณสมบัติในการจับกับน้ำได้ไม่ดีและเมื่อนำมาปั่นผสมกับเกลือโปรตีนที่ถูกสกัดออกมาในระหว่างการปั่นผสมจึงมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำที่ไม่ดีจึงทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์ที่ได้มีค่าต่ำลง

เมื่อนำเนื้อแบตเตอร์มาให้ความร้อนที่เหมาะสม จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าน้ำหนักสูญเสียเมื่อได้รับความร้อน (cooking loss) ต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แสดงค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

จากภาพที่ 4.6 พบว่าการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss ต่ำที่สุด โดยมีค่า 12.88% และผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว ยืดหยุ่น ชุ่มฉ่ำน้ำมากที่สุดด้วย แต่เมื่อทำการเก็บรักษาวัตถุดิบที่ -4 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานมากกว่า 1 ชั่วโมง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่ยุ่ยมากขึ้น มีค่า cooking loss เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20.33 - 22.91% เนื่องมาจากการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส ด้วยเวลานานมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ชั่วโมง ทำให้เนื้อมีอุณหภูมิที่ต่ำจนเกินไป ส่งผลให้น้ำในเนื้อบางส่วนที่เกิดพันธะกับโปรตีนเกิดการเปลี่ยนสภาพอยู่ในลักษณะเป็นเกล็ดน้ำแข็ง ทำให้น้ำที่ถูกเกาะเกี่ยวด้วยเส้นใยโปรตีนมีปริมาณลดลง ดังนั้นเส้นใยโปรตีนจึงมีโอกาสที่จะจับตัวกันได้มากขึ้น โมเลกุลโปรตีนจึงสามารถเกิดพันธะเชื่อมข้ามได้ จึงทำให้โปรตีนมีคุณสมบัติในการเกิดเจลและความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ในโครงร่างตาข่ายได้ไม่ดีพอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ยุ่ย และมีค่า cooking loss ที่สูง (Suzuki. 1981)

สำหรับการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส พบว่าเวลาในการเก็บรักษาที่ 5 และ 7 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่า 13.87 และ 14.34% ตามลำดับ และมีค่าต่ำเป็นอันดับสองรองจากค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ทำให้โปรตีนมีคุณสมบัติในการเกิดเจลและการอุ้มน้ำได้ดีที่สุดนั้นอยู่ที่การเก็บรักษาที่ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเนื้อสุกรจะถูกลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว จากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ไม่เกิน 7 องศาเซลเซียส เป็น 2 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ถ้าจะให้เนื้อสุกรมีอุณหภูมิลดต่ำลงถึง 2 องศาเซลเซียสนั้น ต้องทำการเก็บรักษาเนื้อสุกรไว้นานถึง 5 หรือ 7 ชั่วโมง

ส่วนการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 1 – 7 ชั่วโมง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และมีลักษณะยุ่ยมากขึ้น โดยให้ค่า cooking loss ที่สูงมากถึง 27.14 – 29.65% ตามลำดับ เนื่องจากการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่ 4 องศาเซลเซียสนั้น เนื้อสุกรจะมีอุณหภูมิประมาณ 5 – 6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงจึงทำให้โปรตีนในเนื้อสัตว์เกิดการเสียสภาพได้ (Lapnje. 1978) เมื่อนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ โปรตีนในเนื้อสุกรจึงไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจลและการอุ้มน้ำที่ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่ยุ่ย และมีค่า cooking loss สูง

การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาตามอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กันมาทดสอบโดยการพับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (การทดสอบโดยการพับ) ที่ได้จากเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาตามอุณหภูมิและเวลาต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) \ เวลา (ชั่วโมง)	ระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์			
	1	3	5	7
-4	เกรด 3	เกรด 2	เกรด 2	เกรด 2
0	เกรด 2	เกรด 2	เกรด 3	เกรด 3
4	เกรด 1	เกรด 1	เกรด 1	เกรด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกรด 1 - 3 โดยผลิตภัณฑ์ที่เนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่น ผลิตภัณฑ์นั้นจะมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 3 คือเมื่อทำการพับครึ่งผลิตภัณฑ์ที่หนา 3 - 5 มิลลิเมตร พบว่ามีรอยแตกเพียงเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ที่จัดอยู่ในเกรด 3 ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และที่ 0 องศาเซลเซียส เวลา 5 และ 7 ชั่วโมง แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการเก็บรักษาอื่น ๆ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่จัดระดับแล้วได้เกรด 2 หมายถึง เมื่อทำการพับครึ่งผลิตภัณฑ์ที่หนา 3 - 5 มิลลิเมตร พบว่ามีรอยแตกทันทีและเป็นรอยแตกที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของแผ่นผลิตภัณฑ์ที่จัดอยู่ในเกรด 2 ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง และที่ 0 องศาเซลเซียส เวลา 1 และ 3 ชั่วโมง ส่วนการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 1 - 7 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จัดอยู่ในเกรด 1 คือไม่สามารถพับผลิตภัณฑ์เป็นสองส่วนได้ เพราะผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีลักษณะยุ่ย ไม่เกิดเจลในผลิตภัณฑ์

สังเกตเห็นว่าเมื่อผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss ต่ำ ระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรดที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่า cooking loss สูง แสดงว่าเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียว มีความยืดหยุ่น จะสามารถอุ้มน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss ต่ำ โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และที่ 0 องศาเซลเซียส เวลา 5 และ 7 ชั่วโมง มีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จัดอยู่ในเกรด 3 ซึ่งเป็นเกรดที่สูงที่สุดในการทดลองนี้และผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss ต่ำที่สุด โดยมีค่า 12.88 13.87 และ 14.34% ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง และที่ 0 องศาเซลเซียส เวลา 1 และ 3 ชั่วโมง มีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกรด 2 และมีค่า cooking loss 22.91 20.33 20.81 18.01 และ 19.83% ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ใช้เนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เวลา 1 - 7 ชั่วโมง มีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ต่ำสุด โดยจัดอยู่ในเกรด 1 และผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss สูงถึง 27.14 - 29.65% ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่าค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีค่า cooking loss ต่ำจะมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่จัดอยู่ในเกรดที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่า cooking loss สูง

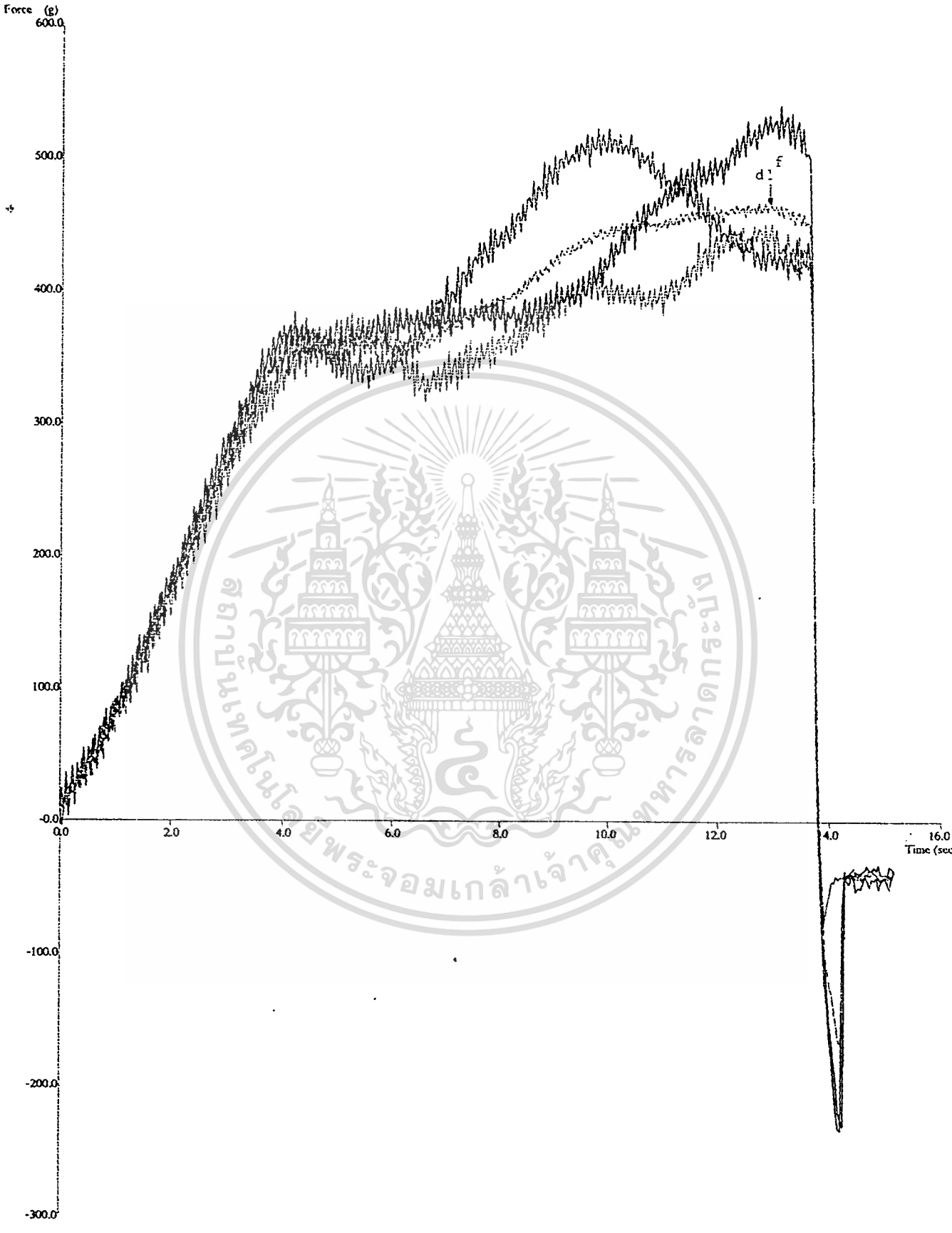
สำหรับการทดสอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยการวัดค่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyser พบว่าลักษณะของการวัดค่าแรงที่กระทำต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแตกต่างจากแรงกระทำที่สามารถวัดค่าแรงกดสูงสุดของเจลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์โดยทั่วไป เช่น ชูริมิ ลูกชิ้น และ หมูยอ เป็นต้น ซึ่งค่า Gel strength คือ แรงกดที่มากที่สุด (Max force) คูณกับระยะทางที่เกิดรอยแตก (Distance) โดย Max force ต้องเกิดในพีคแรกของกราฟ ดังแสดงในภาคผนวก ฉ แต่ Max force ที่ได้จากการทดลองไม่ได้เกิดในพีคแรก แต่จะเกิดในพีคที่ 2 หรือ 3 ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ดังนั้นจึงไม่สามารถนำค่า Gel strength ที่ได้มาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากไม่สามารถหาค่า Max force ได้ และลักษณะกราฟที่ได้จากการทดลองเป็นลักษณะของเจลของเนื้อสัมผัสของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว จึงทำให้เจลที่ได้ยังไม่มีความแข็งแรงหรือมีความเหนียวมากพอ แรงที่ได้จากการวัดจะเป็นเสมือนแรงที่ผู้บริโภคกัดลงไปในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ใด ๆ แล้วสามารถกัดลงไปได้เรื่อย ๆ โดยไม่รู้สึกถึงความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดของการฉีกขาดของเนื้อสัมผัสภายในที่เกิดขึ้นเหมือนกับผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสเป็นเจลที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการพิจารณาเรื่องอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาเนื้อสุกรที่มีผลต่อการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องพิจารณาจากค่า cooking loss และการทดสอบโดยการพับประกอบกัน โดยค่า cooking loss มีความสัมพันธ์กับค่า Gel strength แสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาคผนวก ช

จากการพิจารณาค่าต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเนื้อสุกรแล้วทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะที่ดีที่สุดในด้านเนื้อสัมผัส คือ -4 องศาเซลเซียส โดยทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากให้ค่า cooking loss ที่ต่ำที่สุด และให้ระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 3 และอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นอันดับสองได้แก่ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส โดยทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 หรือ 7 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำเป็นอันดับที่สอง และให้ระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 3 เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

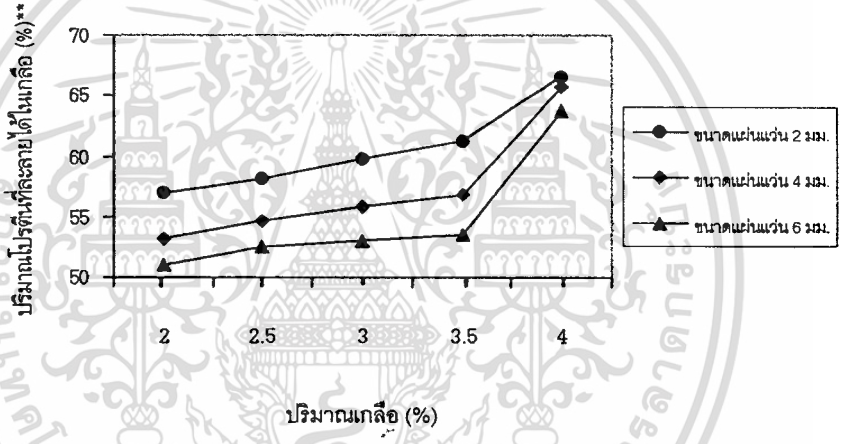


ภาพที่ 4.7 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการบดเนื้อสุกรให้ละเอียดต่อการสกัดได้ของโปรตีนด้วยเกลือในปริมาณต่าง ๆ กัน

จากการศึกษาปัจจัยเรื่องอุณหภูมิและเวลาในการเก็บรักษาวัตถุดิบในหัวข้อ 4.1 ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว ยืดหยุ่นและชุ่มฉ่ำน้ำดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่า cooking loss และระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าสภาวะในการเก็บรักษาที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss ต่ำที่สุดและมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรดที่สูงที่สุด คือ การเก็บรักษาเนื้อสุกรที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นจึงนำสภาวะดังกล่าวมาทำการศึกษาปัจจัยเรื่องการบดเนื้อสุกรให้ละเอียดต่อการสกัดได้ของโปรตีนด้วยเกลือในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยทำการบดเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 1 ชั่วโมง บดผ่านแผ่นแว่นบดเนื้อขนาด 2 - 4 มิลลิเมตร และเติมเกลือ 2 - 4% ในขณะปั่นผสม ซึ่งปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ (Salt - soluble protein , SSP) ที่ถูกสกัดได้ แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แสดงผลของการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นขนาดต่าง ๆ กันและปริมาณเกลือที่ใช้ในการปั่นผสมต่อปริมาณการสกัดได้ของโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือ (SSP)

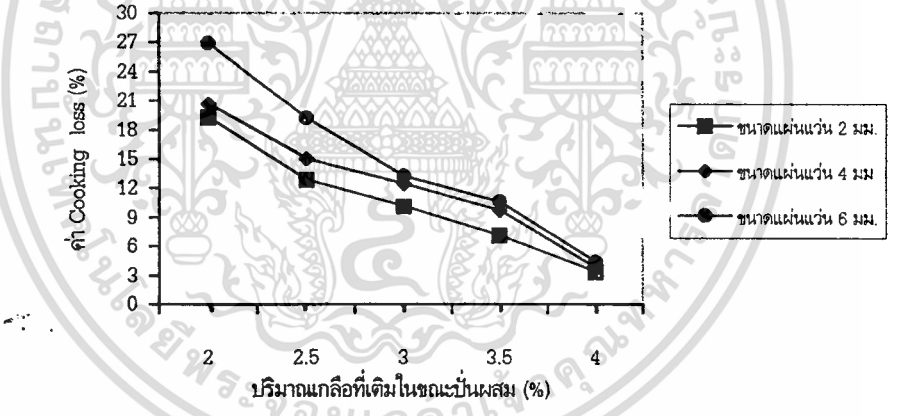
** เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อ (18.09%)

จากภาพที่ 4.8 พบว่าการบดเนื้อสุกรให้มีขนาดเล็กมากขึ้นจะทำให้โปรตีนที่ละลายได้ในเกลือถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น ซึ่งปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือที่ถูกสกัดออกมาจะมีปริมาณมากที่สุดเมื่อบดเนื้อสุกรผ่านแผ่นแว่นบดเนื้อขนาด 2 มิลลิเมตร โดยเติมเกลือในแต่ละระดับ (2 - 4%) ซึ่งการบดเนื้อให้มีขนาดเล็กลงจะทำให้โปรตีนที่ละลายได้ในเกลือถูกสกัดออกมาได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเมื่อขนาดของชิ้นเนื้อลดลงพื้นที่ผิวของการสกัดจะเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้เพิ่มมากขึ้นไปด้วย (Acton. 1972) และปริมาณโปรตีนที่ถูกสกัดได้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือให้สูงขึ้นสารละลายจะมี ionic strength ที่สูงขึ้นจึงทำให้สารละลายมีประจุมากขึ้นและไปจับกับประจุอิสระของโปรตีนได้มาก ส่งผลให้โปรตีนสามารถละลายออกมาได้มากขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Paterson *et. al.* (1988) ที่ศึกษาผลของเกลือ NaCl และ Pyrophosphate (PP) ที่มีผลต่อการเกิดเจลของเนื้อวัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน Sternomandibularis โดยใช้เกลือ 0.4 0.7 และ 1.0 โมลาร์ กับ PP 10 มิลลิโมลาร์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือให้สูงขึ้น โปรตีนไมโอซินถูกสกัดออกมาได้มากขึ้นและเพิ่มการพองตัวของโปรตีน

เมื่อโปรตีนที่ถูกสกัดออกมาจากชิ้นเนื้ออยู่ในสารละลายเกลือ โซเดียมอิออน (Na^+) จะจับกับหมู่ของกรดอะมิโนที่เป็นกรด (COO^-) และคลอไรด์อิออน (Cl^-) จะจับกับหมู่ของกรดอะมิโนที่เป็นด่าง (NH_3^+) ทำให้โปรตีนคลายตัวออก เกิดการกระจายตัวในน้ำทำให้เกิดลักษณะเป็น solubilized protein sol or paste ที่มีลักษณะข้นหนืด สามารถปั้นเป็นรูปทรงได้ เรียกว่า โซล (sol) หรือเพส (paste) เมื่อนำโซลหรือเพสไปให้ความร้อน จะเปลี่ยนไปเป็นเจล โดยโปรตีนที่ถูกสกัดออกมาจะมีคุณสมบัติในการเกิดเจลและการอุ้มน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่เกิดเจล มีความเหนียว ยืดหยุ่นและชุ่มฉ่ำน้ำ เพราะโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือมีบทบาทสำคัญในการเกิดเจล (Xiong and Brekke. 1989) ดังนั้นเมื่อปริมาณโปรตีนที่ถูกสกัดได้เพิ่มขึ้นจึงทำให้โซลมีความข้นหนืดมากขึ้นและเปลี่ยนเป็นเจลที่มีคุณภาพดีขึ้นเมื่อมีการให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความชุ่มฉ่ำน้ำมากขึ้นโดยผลิตภัณฑ์จะมีค่า cooking loss ต่ำลงตามปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือที่เพิ่มขึ้น และปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณเกลือที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงผลของการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นขนาดต่าง ๆ และปริมาณเกลือต่อค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์

จากภาพที่ 4.9 พบว่าเนื้อบดที่บดผ่านแผ่นแว่นขนาดต่าง ๆ กัน เมื่อเติมเกลือ 4% จะได้ ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า cooking loss ต่ำสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.40 - 4.35% และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) แสดงว่าปริมาณเกลือที่ใช้ คือ 4% เป็นปริมาณเกลือที่สูงมากพอที่จะสกัดโปรตีนออกมาได้ปริมาณมากจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เหนียว ยืดหยุ่น มีความชุ่มฉ่ำน้ำที่ดี โดยมีค่า cooking loss ต่ำที่สุด โดยไม่คำนึงถึงขนาดของแผ่นแว่นที่ใช้ในการบดเนื้อ แต่ถ้าใช้ปริมาณเกลือต่ำกว่า 4% ขนาดของแผ่นแว่นที่ใช้บดเนื้อจะมีผลต่อการสกัดได้ของโปรตีนและมีผลต่อค่า cooking loss คือเมื่อใช้แผ่นแว่นบดเนื้อขนาด 2 มิลลิเมตรจะทำให้ค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้แผ่นแว่นบดเนื้อขนาด 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 6 มิลลิเมตร เมื่อมีการเติมเกลือในปริมาณที่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องบดเนื้อให้มีขนาดละเอียดมากขึ้นโดยการใช้แผ่นแว่นบดเนื้อที่มีขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อที่โปรตีนจะถูกสกัดได้ง่ายขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความเหนียว ยืดหยุ่นและมีความชุ่มฉ่ำน้ำมากขึ้น เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาทดสอบโดยการพับ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (การทดสอบโดยการพับ) ที่มีปริมาณเกลือต่างกันและวัตถุดิบมีการบดผ่านแผ่นแว่นขนาดต่าง ๆ กัน

ขนาดของแผ่นแว่นบดเนื้อ (มิลลิเมตร) \ ปริมาณเกลือ (%)	ระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์				
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
2	เกรด 1	เกรด 2	เกรด 3	เกรด 4	เกรด 4
4	เกรด 1	เกรด 2	เกรด 3	เกรด 3	เกรด 4
6	เกรด 1	เกรด 2	เกรด 3	เกรด 3	เกรด 4

จากตารางที่ 4.3 พบว่า เนื้อที่บดผ่านแผ่นแว่นทั้ง 3 ขนาดเมื่อเติมเกลือ 4% จะทำให้ระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 4 ซึ่งระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของ ผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 4 หมายถึง เมื่อทำการพับครึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความหนา 3 – 5 มิลลิเมตร พบว่าไม่เกิดรอยแตก แต่เมื่อทำการพับผลิตภัณฑ์เป็นสี่ส่วนแล้ว มีรอยแตกตรงที่พับครึ่งไว้ที่แรก ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือในปริมาณ 3.5% พบว่าขนาดของแผ่นแว่นที่ใช้ในการบดเนื้อมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ คือ เมื่อใช้แผ่นแว่นที่มีขนาด 2 มิลลิเมตร จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่เหนียว ยืดหยุ่นมากกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเนื้อที่บดผ่านแผ่นแว่นที่มีขนาด 4 และ 6 มิลลิเมตร โดยมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 4 และเกรด 3 ตามลำดับ เนื่องมาจากปริมาณโปรตีนที่ถูกสกัดได้จะมีมากขึ้นเมื่อชิ้นเนื้อมีขนาดเล็กลง แต่เมื่อเติมเกลือในปริมาณ 2 – 3% พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 1 เกรด 2 และ เกรด 3 ตามลำดับโดยมีระดับที่เท่ากันในทุกระดับปริมาณเกลือ ซึ่งระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือจาก 2 ถึง 4% จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยจะทำให้ค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำลง และเมื่อทดสอบผลิตภัณฑ์โดยการพับแล้วจัดอยู่ในเกรด 4 ซึ่งแสดงถึงผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำน้ำ และมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องมาจากการใช้เกลือในปริมาณมากจะส่งผลให้โปรตีนที่ละลายได้ในเกลือถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น เพราะปริมาณเกลือที่สูงขึ้นจะทำให้ค่า ionic strength ของสารละลายสูง ทำให้โปรตีนเกิดการผลักกันมากขึ้น โปรตีนจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถละลายออกมาได้มาก และเมื่อเติมเกลือปริมาณ 4% โปรตีนถูกสกัดออกมาได้มาก เนื่องจากปริมาณเกลือ 4% ยังไม่ถึงจุดที่เป็น salting out ของโปรตีน (salting out คือการที่มีปริมาณเกลือที่สูงเกินไปในสารละลายจะทำให้เกลือจับกับน้ำได้มากกว่าโปรตีนจับกับน้ำ ทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวกันเองและตกตะกอน) ซึ่งปริมาณเกลือที่ทำให้โปรตีนในเนื้อสัตว์เกิดการรวมตัวกันตกตะกอน คือ 4.5% และเมื่อโปรตีนรวมตัวกันตกตะกอน โปรตีนจะมีคุณสมบัติในการเกิดเจลและการอุ้มน้ำที่ลดต่ำลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เหนียว ยืดหยุ่นและชุ่มฉ่ำน้ำน้อยลง Park *et. al.* (1996) พบว่าผลิตภัณฑ์คล้ายซูริมิที่ผลิตจากเนื้อสุกรและเนื้อวัวจะให้เจลที่ดีขึ้นเมื่อมีปริมาณเกลือ 1.5% และ 3% และเมื่อเติมเกลือ 3% ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสมีเจลที่แข็งแรงมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมเกลือถึง 2 เท่า แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือเป็น 4.5 หรือ 6% แล้ว พบว่าความแข็งแรงของเจลจะไม่เพิ่มขึ้นและในผลิตภัณฑ์คามาโบโกะเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือมากกว่า 7% เจลที่ได้จะมีความแข็งแรงลดลง (Okada. 1990)

สำหรับการทดสอบโดยการวัดค่า Gel strength ลักษณะกราฟที่ได้เป็นลักษณะเดียวกันกับกราฟที่ได้ในหัวข้อ 4.1 คือไม่สามารถหาค่า Max force ได้ เพราะค่า Max force ไม่ได้เกิดที่พีคแรก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการพิจารณาเรื่องผลของขนาดแผ่นแว่นบดเนื้อและปริมาณเกลือที่มีต่อการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องพิจารณาจากค่า cooking loss และการทดสอบโดยการพับ

จากการพิจารณาค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์และระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นขนาด 2 มิลลิเมตร และเติมเกลือ 4% จะให้ค่า cooking loss ต่ำที่สุด โดยมีค่า 3.40% และมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่จัดอยู่ในเกรดที่สูงมากที่สุด

4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ทำให้เจลเซ็ทตัวและคงตัวต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาในหัวข้อ 4.2 พบว่าการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นขนาด 2 มิลลิเมตรและเติมเกลือปริมาณ 4% ในขณะปั่นผสม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า cooking loss ต่ำที่สุด และระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 4 ซึ่งเป็นเกรดที่สูงที่สุด ดังนั้นจึงนำขั้นตอนนี้มาทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ทำให้เจลของผลิตภัณฑ์เซ็ทตัวและคงตัว โดยนำเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –4 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 1 ชั่วโมง มาทำการบดโดยบดผ่านแผ่นแว่นบดเนื้อขนาด 2 มิลลิเมตร และเติมเกลือในขณะปั่นผสมปริมาณ 4% แล้วนำเนื้อแบตเตอร์ที่ได้มาให้ความร้อนในช่วงแรก 30 – 35 35 – 40 และ 40 – 45 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำเนื้อแบตเตอร์ที่ผ่านการให้ความร้อนในช่วงแรกมาแล้ว นำมาให้ความร้อนในช่วงที่สองต่อโดยให้ความร้อนที่ 80 – 85 85 – 90 และ 90 –95 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 10 และ 20 นาที ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า cooking loss ดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเซ็ทตัวและคงตัวของเจลต่อค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิที่ทำให้เจลคงตัว (องศาเซลเซียส) / อุณหภูมิที่ทำให้เจลเซ็ทตัว (องศาเซลเซียส)	ค่า cooking loss (%)					
	80 – 85		85 – 90		90 – 95	
	10 นาที	20 นาที	10 นาที	20 นาที	10 นาที	20 นาที
30 – 35	3.12^{ij}	3.94^{g}	4.14^{f}	5.76^{b}	3.17^{ij}	3.26^{ij}
35 – 40	3.22^{ij}	3.29^{i}	3.92^{gh}	4.08^{fg}	4.92^{d}	6.72^{a}
40 – 45	4.66^{e}	5.27^{c}	3.76^{h}	4.86^{d}	2.83^{k}	2.98^{k}

ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าcooking loss ต่ำถึง 2.83 และ 2.98% คือ การใช้อุณหภูมิในการเซ็ทตัวที่ 40 – 45 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และอุณหภูมิในการคงตัวที่ 90 – 95 องศาเซลเซียส เวลา 10 และ 20 นาทีตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มเวลาในการทำให้เจลคงตัวจาก 10 นาทีเป็น 20 นาที จะทำให้ค่า cooking loss เพิ่มขึ้น แต่ค่า cooking loss ที่ได้เมื่อใช้อุณหภูมิในการเซ็ทตัว 40 – 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในช่วงที่สอง 90 – 95 องศาเซลเซียส เวลา 10 และ 20 นาที ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นจึงควรพิจารณาเวลาที่ใช้ในการทำให้เจลคงที่นานมากขึ้นเพื่อลดการเสี่ยงต่ออุณหภูมิใจกลางของผลิตภัณฑ์ซึ่งผลิตภัณฑ์ต้องมีอุณหภูมิใจกลาง(core temperature) ไม่ต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส

การที่ค่า cooking loss มีค่าต่ำสุดในช่วงอุณหภูมิเซ็ทตัวที่ 40 – 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในการทำให้เจลคงตัวที่ 90 – 95 องศาเซลเซียส อธิบายได้ดังนี้ กลไกการเกิดเจลเริ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 40 – 45 องศาเซลเซียส โปรตีนไมโอซินส่วนเกลียวแอลฟา – ฮีลิกซ์จะเกิดการคลายตัวอย่างสมบูรณ์ ทำให้กรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำสามารถออกมาสู่ภายนอกได้มากขึ้นและเกิดแรงดึงดูดไฮโดรโฟบิกระหว่างสายไมโอซิน ทำให้เส้นไมโอซินส่วนหางเกิดการสานตัวกันเป็นตาข่าย และมีอัตราการเกิดพันธะระหว่างโปรตีนสูงที่สุด จึงทำให้เกิดการเซ็ทตัวของเจล ส่วนที่อุณหภูมิ 30 – 40 องศาเซลเซียส ไมโอซินส่วนหัวจะเกิดการรวมตัวกันเล็กน้อยและไมโอซินส่วนหัวไม่มีความสำคัญต่อการเกิดเจลจึงทำให้การเซ็ทตัวของเจลยังไม่สมบูรณ์ (Taguchi *et. al.* 1987)

สำหรับอุณหภูมิในช่วงที่ทำให้เจลคงตัวควรเป็นอุณหภูมิที่สูงเนื่องจากต้องให้ผลิตภัณฑ์ผ่านช่วงอุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้เจลอยู่ในสภาวะที่เป็นการแตกตัว เพราะจะทำให้เกิดการแตกสลายของโครงสร้างของเจลบางส่วนทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลงได้ การแตกสลายของโครงสร้างของเจลสันนิษฐานว่ามาจากการทำงานของเอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสที่มีแอกติวิตีสูงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Suzuki. 1981) ดังนั้นที่อุณหภูมิ 90 – 95 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดในการทำให้เจลคงตัว เมื่อเจลผ่านการเซ็ทตัวอย่างสมบูรณ์มาแล้ว เนื่องจากเป็นอุณหภูมิค่อนข้างสูงจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงไม่เกิดการแตกสลายของโครงสร้างเจล ผลิตภัณฑ์จึงมีเนื้อสัมผัสชุ่มฉ่ำน้ำมากขึ้น เนื่องจากเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างเจลที่แข็งแรง จึงสามารถเก็บกักน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ได้ ผลิตภัณฑ์จึงมีค่า cooking loss ต่ำกว่าการใช้อุณหภูมิในการทำให้เจลคงตัวระดับอื่น

ส่วนเวลาที่ใช้ช่วงที่ทำให้เจลมีความคงตัวนั้น เห็นได้ว่าการเพิ่มเวลาให้สูงขึ้น ค่า cooking loss จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลานานมากขึ้นอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะสูงขึ้นด้วยโดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำมากขึ้น เพราะอุณหภูมิมีผลต่อความสมดุลย์ของน้ำที่เกิดพันธะ (bound water) และน้ำอิสระ (free water) ในเนื้อและแบตเตอร์ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิของเนื้อในตู้เย็นไปเป็น 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้น้ำที่เกิดพันธะเปลี่ยนไปเป็นน้ำอิสระเพิ่มมากขึ้น และที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเก็บกักน้ำแต่จะเริ่มมีผลเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส และความสามารถในการอุ้มน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 70 และ 90 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าจะมีการเติมเกลือแกงหรือสารประกอบฟอสเฟต แต่ถ้ามีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นแล้วค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจะลดลง (Paul and Palmer. 1972) สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยการพับ พบว่าทุกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้อุณหภูมิในการเซ็ทตัวและคงตัวต่าง ๆ กัน จัดอยู่ในเกรด 4 คือ เมื่อทำการพับครึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความหนา 3 – 5 มิลลิเมตร พบว่าไม่เกิดรอยแตก แต่เมื่อทำการพับผลิตภัณฑ์เป็นสี่ส่วน มีรอยแตกตรงที่พับครึ่งไว้ทีแรก

สำหรับการทดสอบโดยการวัดค่า Gel strength ลักษณะกราฟที่ได้เป็นลักษณะเดียวกันกับกราฟที่ได้ในหัวข้อ 4.1 และ 4.2 คือไม่สามารถหาค่า Max force ได้เพราะค่า Max force ที่ได้ไม่ได้เกิดที่พีคแรก ดังนั้นการพิจารณาเรื่องผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำให้เจลเซ็ทตัวและคงตัวที่มีต่อการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องพิจารณาจากค่า cooking loss และการทดสอบโดยการพับ (Folding test)

จากการพิจารณาค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์และระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่าการใช้อุณหภูมิในการทำให้เจลเซ็ทตัวที่ 40 – 45 องศาเซลเซียส และการทำให้เจลคงตัวที่อุณหภูมิ 90 – 95 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 20 นาที ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss ต่ำถึง 2.98% และมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 4

4.4 ผลของการใช้สารประกอบฟอสเฟตเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของเจล

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เจลเซ็ทตัวคือ 40 – 45 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และอุณหภูมิในการทำให้เจลคงตัวคือ 90 – 95 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า cooking loss ต่ำที่สุดและระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 4 ดังนั้นจึงน่าสภาวะการให้ความร้อนดังกล่าวข้างต้นมาทำการศึกษาถึงผลของการใช้สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate , STP) ในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยนำเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง มาทำการบดผ่านแผ่นแว่นบดเนื้อขนาด 2 มิลลิเมตร และเติมเกลือ 4% ในขณะปั่นผสม พร้อมกับเติมโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตในปริมาณ 0.25 – 2.0% แล้วนำไปทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจลเซ็ทตัวที่อุณหภูมิ 40 – 45 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และทำให้เจลคงตัวที่อุณหภูมิ 90 – 95 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และเมื่อทำการปั่นผสมเนื้อสุกรบดร่วมกับการเติมเกลือและโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ทำให้ได้เนื้อแบตเตอร์ที่มีค่า pH ความชื้น และความสามารถในการอุ้มน้ำ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของปริมาณ STP ต่อค่า pH ความชื้นและความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์ ค่า cooking loss และ ค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์

ค่าการตรวจวิเคราะห์	ปริมาณ STP (%)			
	0.25	0.5	1.0	2.0
pH ของแบตเตอร์	6.03^{c}	6.24^{b}	6.30^{ab}	6.43^{a}
ปริมาณความชื้นแบตเตอร์ (%)	70.37^{b}	72.88^{ab}	76.90^{ab}	78.57^{a}
ค่า WHC ของแบตเตอร์ (%)	71.97^{b}	73.92^{ab}	74.81^{a}	79.81^{a}
ค่า Cooking loss (%)	1.81^{a}	1.67^{a}	1.46^{a}	1.30^{a}
ค่า Gel strength (g.cm)	264.787^{b}	316.777^{a}	333.665^{a}	349.716^{a}
การทดสอบโดยการพับ	เกรด 5	เกรด 5	เกรด 5	เกรด 5

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเนื้อแบตเตอร์ที่ได้มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.03 – 6.43 โดยค่า pH จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของ STP ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า pH ที่ได้มีค่ามากที่สุดถึง 6.43 เมื่อเติม STP ปริมาณ 2% ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กับค่า pH ที่เติม STP ปริมาณ 1% (6.30) ส่วนค่า pH ที่มีค่าต่ำที่สุดคือที่ระดับปริมาณ STP 0.25% (6.03) มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับค่า pH ที่ปริมาณ STP 0.5 1 และ 2% การที่เนื้อแบตเตอร์มีค่า pH เพิ่มขึ้นเนื่องจาก STP สามารถแตกตัวให้ประจุลบ (PO_4^-) ที่ไปจับกับประจุบวกของโปรตีน (NH_3^+) จึงทำให้มีประจุลบมากขึ้น ค่า pH จึงสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการรายงานของ Pigott (1986) ที่ว่าสารโพลีฟอสเฟตทำให้ค่า pH สูงขึ้นได้ในช่วง 5.9 – 6.3 ซึ่ง STP และ Pyrophosphate ให้ค่า pH ประมาณ 6.2 และค่า pH ที่เหมาะสมของซูริมิที่สับผสมแล้วก่อนที่จะนำไปให้ความร้อนอยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 (Okada. 1985)

ส่วนปริมาณความชื้นและค่าความสามมารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตร์มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณ STPที่เพิ่มขึ้นและที่ปริมาณ STP 0.5 – 2% ปริมาณความชื้นและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ปริมาณความชื้นและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อแบตเตอร์ที่มีการเติมปริมาณ STP ที่ระดับ 0.25% จะแตกต่างจากปริมาณ STP ที่ระดับ 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สันนิษฐานว่า STP ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้มากขึ้นตามปริมาณการใช้ (Pepper and Schmidt. 1975)

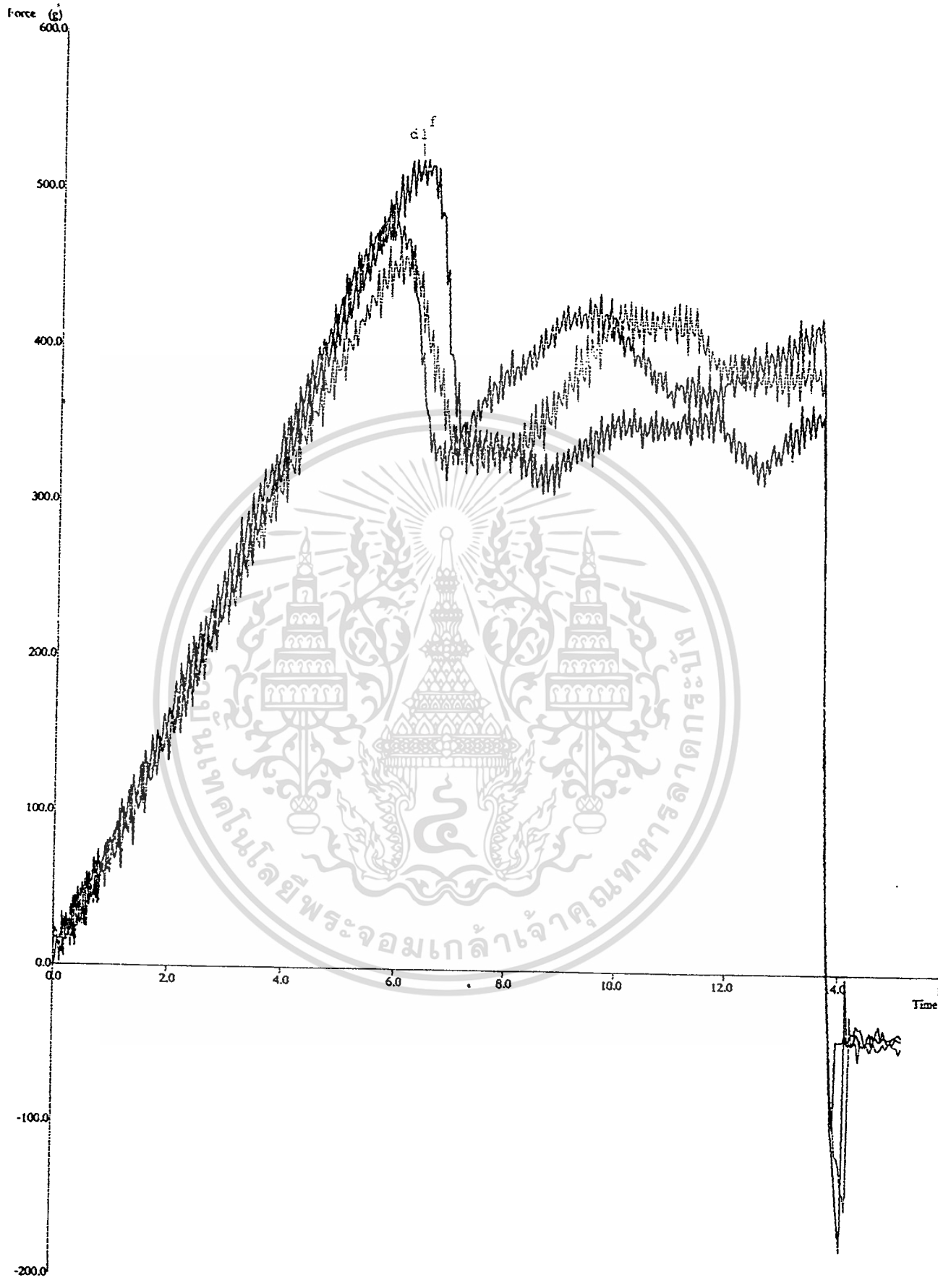
ส่วนค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ STP โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.30 - 1.81% ซึ่งค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) และค่า cooking loss ที่ได้นี้มีค่าต่ำกว่าค่า cooking loss ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว (3.19%) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Paul and Palmer (1972) พบว่าการเติม STP ในเนื้อวัวบดที่มีปริมาณเกลือ 2% จะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและยับยั้งการลดลงของ cooking loss ในขณะที่มีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ Neer and Mandigo (1977) กล่าวว่าการใช้ STP 0.3% ร่วมกับเกลือแกง 2% ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมูบด ให้ค่า WHC สูงที่สุด แต่ถ้าใช้ STP มากกว่า 0.5% จะทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์เสียไป

สำหรับค่าความแข็งแรงของเจลของผลิตภัณฑ์สามารถวัดได้ เนื่องจากสามารถหาค่า Max force ได้เพราะ ค่า Max force ในกราฟแสดงผลที่พีคแรก ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ซึ่งกราฟที่ได้เป็นลักษณะเดียวกันกับกราฟที่ได้จากการวัดค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่สามารถเกิดเจลได้ ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1 ดังนั้นจึงสามารถนำค่า Gel strength มาพิจารณาเปรียบเทียบกันได้ โดยค่า Gel strength ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งค่า Gel strength มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของ STP โดยค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติม STP ปริมาณ 0.25% มีค่าต่ำที่สุด โดยให้ค่า 264.787 g.cm ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กับค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณ STP 0.5 1 และ 2% ซึ่งมีค่า 316.777 333.665 และ 349.716 g.cm ตามลำดับ และค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณ STP 0.5 1 และ 2% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Okada (1985) ที่ใช้สารประกอบฟอสเฟต 0.2 - 0.5% ในผลิตภัณฑ์คามาโบโกะ พบว่าค่า Gel strength เพิ่มสูงขึ้น และ ค่า cooking loss ลดต่ำลง

เมื่อทดสอบผลิตภัณฑ์โดยการพับ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ในทุกระดับปริมาณของ STP จัดอยู่ในเกรด 5 ซึ่งหมายถึง เมื่อทำการพับผลิตภัณฑ์ที่หนา 3 - 5 มิลลิเมตร เป็นสี่ส่วนแล้ว ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดรอยแตก แสดงว่า STP ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นมากขึ้น

ดังนั้นการพิจารณาปริมาณของ STP ที่ควรเลือกใช้ จะต้องพิจารณาจากค่า cooking loss การทดสอบโดยการพับ และค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ประกอบกัน พบว่าการเติม STP ที่ระดับ 0.5% เป็นระดับที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่มีความเหนียว ยืดหยุ่นและมีความชุ่มฉ่ำน้ำมาก โดยให้ค่า cooking loss ต่ำซึ่งมีค่า 1.67% ค่า Gel strength 316.777 g.cm และระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของ ผลิตภัณฑ์จัดอยู่ในเกรด 5 ซึ่งค่าที่กล่าวมาทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) กับค่าที่ได้เมื่อมีปริมาณ STP ที่ระดับ 1 และ 2% และนอกจากนี้ในทางการค้า กฎหมายกำหนดให้มีการเติมสารประกอบฟอสเฟตได้ โดยให้มีเหลือในผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่เกิน 0.5% (ศิวพร ศิวเวชช. 2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



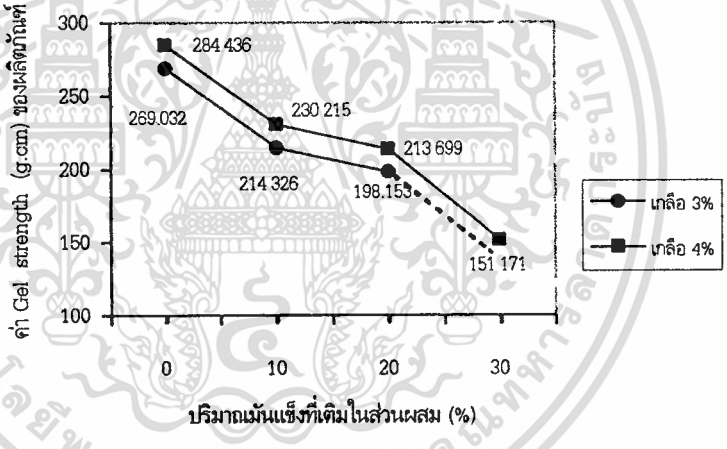
ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟที่ได้จากการวัดค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 4% และฟอสเฟต 0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลของการนำสภาวะที่เหมาะสมมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หมูยอ

โดยการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์หมูยอตามปัจจัยที่ได้ศึกษาในหัวข้อ 4.1 – 4.4 แล้วให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่มีความเหนียว ยืดหยุ่น และมีความชุ่มฉ่ำน้ำดีที่สุด โดยเมื่อทดสอบผลิตภัณฑ์โดยการพับแล้วจะต้องได้เกรดไม่ต่ำกว่าเกรด 3 ผลิตภัณฑ์ต้องมีค่า cooking loss ต่ำ และมีค่า Gel strength สูง มาทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หมูยอ เพื่อทดสอบในด้านรสชาติและเนื้อสัมผัส โดยการนำเนื้อสุกรที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1ชั่วโมง มาทำการบดผ่านแผ่นแว่นบดเนื้อขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วปั่นผสมกับเกลือ 4% และ 3% เติมโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.5% และเติมเครื่องเทศตามส่วนผสมที่แสดงในภาคผนวก ซ โดยทำการเติมไขมันในสองลักษณะคือเติมในรูปมันแข็ง และ Fat emulsion ซึ่งการผลิต Fat emulsion แสดงดังภาคผนวก ซ ปริมาณมันแข็งที่เติมในส่วนผสมคือ 10 20 และ 30% ส่วนปริมาณ Fat emulsion ที่เติมในส่วนผสมคือ สูตรที่เติมเกลือ 3% เติม Fat emulsion 20% และ สูตรที่เติมเกลือ 4% เติม Fat emulsion 60%

ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อมีการใช้มันแข็งในปริมาณต่าง ๆ กันมีค่า Gel strength แสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์สูตรที่เติมเกลือและมันแข็งในปริมาณต่าง ๆ กัน

จากภาพที่ 4.11 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อมีการเติมเกลือ 4% และเติมมันแข็ง 10 20 และ 30% มีค่า Gel strength ลดลงตามปริมาณมันแข็งที่เพิ่มขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะร่วนมากขึ้น โดยเฉพาะในสูตรที่เติมมันแข็ง 30% ซึ่งมีค่า Gel strength ต่ำถึง 151.171 g.cm ส่วนสูตรที่เติมมันแข็ง 10 และ 20% นั้น ผลิตภัณฑ์มีค่า Gel strength ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) แต่มีค่าลดลงตามปริมาณมันแข็งที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่า 230.215 และ 213.699 g.cm ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Gel strength สูงที่สุด คือผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 4% และไม่มีการเติมมันแข็ง โดยมีค่า Gel strength สูงถึง 284.436 g.cm ซึ่งการที่ค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมันแข็งให้สูงขึ้น เนื่องจากไขมันจะไปขัดขวางการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 4% และเติมมันแข็ง 10 – 30% พบว่าผลิตภัณฑ์มีรสเค็มมาก เพราะปริมาณเกลือที่เติมในผลิตภัณฑ์สูงถึง 4% โดยปกติแล้วในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่มีการเติมเกลือจะใช้เกลือไม่เกิน 3% ดังนั้นจึงพิจารณาการเติมเกลือที่ 3% และเติมมันแข็ง 10 และ 20% ส่วนสาเหตุที่ไม่มีการเติมมันแข็ง 30% เนื่องจากการเติมมันแข็ง 30% ในสูตรที่มีการเติมเกลือ 4% ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ร่วนอย่างเห็นได้ชัดและมีค่า Gel strength ต่ำถึง 151.171 g.cm จึงไม่ทำการเติมมันแข็ง 30% ในสูตรที่เติมเกลือ 3%

ผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% และเติมมันแข็ง 10 และ 20% พบว่าค่า Gel strength ที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.11 มีค่าลดลงตามปริมาณมันแข็งที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 4% และเติมมันแข็ง 10 – 30% ซึ่งค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% และเติมมันแข็ง 10 และ 20% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)แต่มีความแตกต่างจากสูตรที่ไม่เติมมันแข็งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ทางด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเกลือ 3% และเติมมันแข็ง 10 – 20% พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงมีรสเค็มอยู่ จึงต้องทำการลดปริมาณเกลือที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาณ 2.5%

การลดปริมาณเกลือในผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้เหลือเพียง 2.5% โดยการใช้ Fat emulsion ที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลือง (Isolate soy protein) โดยสูตรที่มีเกลือ 3% เติม Fat emulsion 20% และสูตรที่มีเกลือ 4% เติม Fat emulsion 60% ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า Gel strength แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติม Fat emulsion

ส่วนผสม		ค่า Gel strength	หมายเหตุ
เกลือ (%)	Fat emulsion (%)	(g.cm)	
3	0	269.032	3%
3	20	265.923	2.5%
4	0	284.436	4%
4	60	254.306	2.5%

หมายเหตุ คิดคำนวณแปอร์เซ็นต์เกลือเฉลี่ยในสูตรหมูยอ

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% และเติม Fat emulsion 20% และผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 4% และเติม Fat emulsion 60% ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งค่าที่ได้เท่ากับ 265.923 และ 254.306 g.cm ตามลำดับ สังเกตเห็นว่าค่า Gel strength ในสูตรที่เติมเกลือ 4% แล้วเติม Fat emulsion 60% จะมีค่าต่ำกว่าสูตรที่เติมเกลือ 3% และเติม Fat emulsion 20% เนื่องจากปริมาณไขมันที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ พบว่ารสชาติไม่เค็มจนเกินไป แต่มีกลิ่นของโปรตีนถั่วเหลือง โดยเฉพาะในสูตรที่เติม Fat emulsion 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเกลือ 3 และ 4% โดยที่ไม่มีการเติมมันแข็ง คือ 269.031 และ 284.496 g.cm ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) แต่สังเกตเห็นว่าค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 4% จะมีค่าสูงกว่าค่า Gel strength ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% เนื่องมาจากการเติมเกลือที่มากขึ้นจะสามารถสกัดโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือออกมาได้มาก จึงทำให้โปรตีนมีคุณสมบัติในการเกิดเจลและการอุ้มน้ำที่ดีขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่า Gel strength สูง มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.2

เมื่อเปรียบเทียบค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% กับผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% แล้วเติม Fat emulsion 20% กับผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% แล้วเติมมันแข็ง 10% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ระหว่างผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% กับที่เติมเกลือ 3% แล้วเติม Fat emulsion 20% แต่ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่เติมเกลือ 3% แล้วเติมมันแข็ง 10% โดยมีค่าเท่ากับ 269.031 265.923 และ 214.326 g.cm ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่า การเติม Fat emulsion 20% ไม่ได้ทำให้ค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) แต่อย่างใด ทั้ง ๆ ที่ปริมาณ Fat emulsion ที่เติมจะมีปริมาณไขมันเมื่อเทียบกับน้ำหนักเนื้อถึง 8.89% จึงสันนิษฐานได้ว่า Fat emulsion มีความเหมาะสมในการนำมาเพิ่มน้ำหนักในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ดีกว่าการเติมมันแข็ง

การผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ประเภทการบดลดขนาดอิมัลชั่นจำเป็นต้องทำให้ปริมาณเกลือที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มีปริมาณไม่เกิน 2.5% เนื่องจากต้องคำนึงถึงรสชาติของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และชนิดของไขมันที่ควรใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ ได้แก่ Fat emulsion เพราะโปรตีนถั่วเหลืองมีความสามารถในการจับกับน้ำได้สูง มีคุณสมบัติการพองตัวที่ดี สามารถเกิดเจลได้เมื่อมีการให้ความร้อน จึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เหนียวและมีเจลที่มีความแข็งแรงมากกว่าการใช้มันแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การเก็บรักษาเนื้อสุกรก่อนการนำมาแปรรูป พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้เพื่อการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบ ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่ดีเพราะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่นและชุ่มฉ่ำน้ำโดยมีค่า cooking loss ต่ำ (12.88%) และมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งทดสอบโดยวิธีการพับจัดอยู่ในเกรด 3 นอกจากนี้การบดเนื้อให้ละเอียดและการใช้เกลือในการสกัดโปรตีนก็มีบทบาทต่อคุณภาพของเนื้อ โดยพบว่าการบดเนื้อผ่านแผ่นแว่นบดเนื้อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่อง 2 มิลลิเมตร และเติมเกลือในปริมาณ 4% ในระหว่างการปั่นผสม จะสามารถสกัดโปรตีนที่ละลายได้ในเกลือออกมาได้มากที่สุดถึง 66.46% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดที่มีในเนื้อ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่มีลักษณะดี มีความเหนียว มีความยืดหยุ่นและมีความชุ่มฉ่ำน้ำโดยมีค่า cooking loss ต่ำถึง 3.40% และมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งทดสอบโดยการพับจัดอยู่ในเกรด 4

การทำให้โปรตีนในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เกิดเจลที่เซ็ทตัวและมีความคงตัวดี มีผลมาจากการใช้อุณหภูมิและเวลาในการต้ม พบว่าผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสดี มีความเหนียว มีความยืดหยุ่นและมีความชุ่มฉ่ำน้ำ เมื่อให้ความร้อนเพื่อทำให้เจลเซ็ทตัวที่ 40 – 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และตามด้วยการให้ความร้อนเพื่อทำให้เจลมีความคงตัวที่ 90 – 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า cooking loss ต่ำ (2.98%) และมีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งทดสอบโดยการพับจัดอยู่ในเกรด 4

การใช้สารประกอบฟอสเฟตสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ คือทำให้เนื้อสัมผัสมีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี มีความยืดหยุ่นสูง และมีความชุ่มฉ่ำน้ำมากขึ้น โดยพบว่าการใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตที่ระดับ 0.5% ทำให้เนื้อสุกรที่ผ่านการเตรียมการดังกล่าวข้างต้น เมื่อนำมาแปรรูป ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่มีความเหนียวและเกาะตัวกันดีขึ้น มีความยืดหยุ่นและมีความชุ่มฉ่ำน้ำมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า Gel strength สูงถึง 316.777 g.cm มีค่า cooking loss ต่ำเพียง 1.67% ซึ่งค่า cooking loss มีค่าต่ำเป็นครึ่งหนึ่งของการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว และผลิตภัณฑ์มีระดับคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งทดสอบโดยการพับจัดอยู่ในเกรด 5 ซึ่งการนำสภาวะต่าง ๆ ดังกล่าวมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หมูยอจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ต้องพิจารณาปริมาณเกลือที่ใช้ในส่วนผสม เพราะปริมาณเกลือที่สูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ดี ควรให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีเกลือเหลืออยู่ 2.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อทำการทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียว โดยการวัดค่า Gel strength ด้วยเครื่อง Texture analyzer แล้ว พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะแตกต่างจากกราฟที่ได้จากการวัดค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์โดยทั่วไปที่สามารถเกิดเจลได้ เช่น ซูริมิ ลูกชิ้น หมูยอ ดังนั้นควรมีวิธีการตรวจสอบคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเกลือเพียงอย่างเดียวได้ เช่น วิธีการทดสอบคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยการใช้เครื่อง Texture analyzer โดยวิธีการวิเคราะห์แบบ TPA (Texture profile analysis) ซึ่งกราฟที่ได้สามารถวิเคราะห์ค่าความยืดหยุ่นได้ ดังนั้นจึงอาจใช้ค่าความยืดหยุ่นมาช่วยพิจารณาเปรียบเทียบกันได้

2. ในการทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยการพับ เป็นการจำแนกคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เพราะเป็นการแสดงถึงความยืดหยุ่นของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่สามารถระบุเป็นตัวเลขที่แน่ชัดได้มากยิ่งขึ้น เพื่อความถูกต้องของการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัส เนื่องจากการจัดเกรดของการทดสอบด้วยวิธีนี้มีความกว้างมาก และใช้การทั่นด้วยมือคน ทำให้ไม่มีความสม่ำเสมอของชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบ

3. วิธีวิเคราะห์ค่า WHC เมื่อทำการเหวี่ยงในความเร็วรอบที่กำหนดแล้วยังทำให้ตะกอนไม่เกาะรวมตัวกันมากพอที่จะแยกส่วนใสออกจากตะกอนได้ ควรเพิ่มเวลาหรือเพิ่มความเร็วรอบให้มากขึ้น เพื่อสะดวกในการแยกส่วนใสออกมาได้ แต่ควรจะใช้ความเร็วรอบและเวลาที่ระดับเดียวกันตลอดการทดลอง

4. ผลการทดลองที่ได้หากมีความเป็นไปได้ค่อนข้างยากในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ ควรพิจารณาปัจจัยในด้านอื่น ๆ มาเสริมเพื่อสนับสนุนให้มีความเป็นไปได้มากที่สุด โดยพิจารณาให้ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นที่ยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัสและรสชาติ ไม่ใช่คำนึงถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. 2536. *เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์*. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล. 2537. *เคมีอาหาร*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. พิมพ์ครั้งที่ 6 : 400 หน้า

ศิวพร ศิวเวชช. 2535. *วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Acton , J.C. 1972. The effect of meat particle size on extractable protein , cooking loss and binding strength in chicken loaves. *J. Food Sci.* 37 : 240 – 243.

Acton , J.C. , G.R. Ziegler and D.L. Burge. 1983. *Crit reviews Food and Nutrition*. 18 : 99-121.

Akahane , T. , S. Chihara , T. Niki , T. Sano , T. Tsuchiya , S.F. Ookami and J. Matsumoto. 1985. Differential Scanning Colorimetric studies on thermal behaviors of myofibrillar proteins. *Bull Jap. Soc - Sci. Fish.* 51 : 1814-1846.

AOAC. Official method of analysis. 1995. 16th ed. Association of Analysis Chemists. Virginia , 1995.

Asghar , A. , K. Samejima and T. Yasui. 1985. Functionality of muscle protein in gelation mechanisms of structured meat products. *CRC Crt. Rev. Food Sci. Nutri.* 22 : 27.

Babbit , J.K. and K.D. Reppond. 1988. Factors affecting the gel properties of surimi. *J. Food Sci.* 53 ; 965-966.

Barbut , S. and G.S. Mittal. 1990. Effect of heating rate on meat batter stability, texture and gelation . *J . Food Sci* . 55 : 334-337.

Bernthel , P.H. , A.M. Booren and J.I. Gray. 1991. Effect of reduced sodium chloride concentration and tetrasodium pyrophosphate on pH , water holding capacity and extractable protein of prerigor and postrigor ground beef. *Meat Sci.* 29 : 69 – 82.

Chan , J.K. , T. A. Gill and A.T. Paulson. 1993. Thermal aggregation of myosin subfragments from cod and gerring. *J. Food Sci.* 58 : 1057-1061, 1069.

Chan , J.K. , T. A. Gill , J.W. Thompson and D.S. Singer. 1995. Herring surimi during low temperature setting , physicochemical and textural properties. *J. Food Sci.* 60(6) : 1248-1253.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Damodaran , S. 1994. Structure - Function Relationship of Food Proteins : *Protein Functionality in food system*. Institute of food technologists. Chicago, Illinois.

Fish Processing Section. 1983. Final Report to International Developmet Research Centre , Canada. Fishery Technological Development Division , Department of Fisheries , Thailand. 149 p.

Foegeding , E.A. and T.C. Lanier. 1987. The contribution of non - muscle proteins to texture of gelled muscle protein foods . *Cereal Foods* . 32 : 202-205.

Forrest , J.C. , E.D. Aberte , H.B. Hedrick , M.D. Judge and R.A. Merke. 1975. *Principles of Meat Science*. Freeman San Francisco , California. 320 p.

Gill , T.A. and J.T. Conway. 1989. Thermal aggregation of cod muscle proteins using 1 - ethyl - 3 [3 - dimethylaminoporpyl] carbodiimide as a zero - length cross – liker. *Agric. Biol Chem*. 53 : 2553 - 2562.

Gillett , T.A. , D.E. Muburg , C.L. Brown and S. Sinon. 1977. Parameter affecting meat protein extraction and interpretation of model system data for meat emulsion formation. *J. Food Sci.* 42 : 1606 – 1610.

Graham , R.T. and G.R. Schmidt. 1986. Effect of phosphates on the functional Properties of restructured beef rolls : the role of pH , ionic strength , and phosphate type. *J. Food Sci* . 51 : 1416 - 1423.

Hamm , R. 1975. Water – holding capacity of meat , p. 321 – 403. *In* D.J. A Cole and R.A. Lawrie (eds.). *Meat*. Avi publishing Westport , Connecticut.

Hand , L.W. , C.A. Hollingsworth , C.R. Calkins and R.W. Mandigo. 1987. Effect of preblending , reduced fat and salt levels on frankfurter characteristics. *J. Food Sci* . 52(5) : 1149 – 1151.

Howe , J.R. , D.D. Hamann , T.C. Lanier and J.W. Park. 1994. Fracture of Allaska pollock gels in water : effect of minced muscle processing and test temperature. J. *Food Sci*. 59 : 777 – 780.

Ishioroshi , M. , K. Samejima , Y. Arie and T. Yasui. 1980. Effect of blocking the myosin - actin intercation in heat - induced gelation of myosin in the presence of actin . *Agr. Biol Chem*. 44 : 2185.

Ishioroshi , M. , K. Samejima , Y. Arie and T. Yasui. 1981. Further stydies on roles of the head and tail regions of the myosin molecule in heat – induced gelaion. *J. Food Sci*. 47 : 114 – 120 , 124.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Itoh , Y. , R. Yoshinaka and S. Ikeda. 1980. Changes to higher molemular weight of protein molecles during the gel formation of carp actomyosin by heatng and participation of SH groups in these changes. *Bull Jap. Soc Sci. Fish.* 46 (5) : 617-620.

Iwata , K. and M. Okada. 1971. Protein denaturation in stored frozen alaska - pollock muscle - 1 , protein extractability and kamaboko forming ability of frozen surimi. *Bull Jap. Soc Sci. Fish.* 137(2) :1191-1198.

Judith , A.D. , A.E. Foegeding and J.A. Knopp. 1988. Gelation and thermal transitions in post – rigor turkey myosin / actomyosin suspensions. *J . Food Sci* . 53 : 1278 - 1286 , 1332.

Katsuji , S. , K. Takayasu and F. Masaya. 1988. Relation between gelation behavior of ground chicken muscle and soybean proteins and their differential scanning calorimetric studies. *J . Food Sci* . 53 : 1076 - 1080 .

Kramas , E. 1976. *Processed Meat Technology.* Noyes Data Corp. Park Ridge , New Jersy. London , England.

Lamkey , J. W. , R.W. Mandigo and C.R. Calkins. 1986. Effect of salt and phosphate on the texture and color stability of restructured beef steaks.*J . Food Sci.* 51 : 873 - 875 , 911 .

Lan , Y.H. , J. Novakofski , R.H. McCusker , M.S. Brewer , T.R. Carr and F.K. Mckeith. 1995a. Thermal gelation properties of protein fractions from pork and chicken breast muscle . *J . Food Sci* . 60 : 742 - 747 , 752 .

Lan , Y.H. , J. Novakofski, R.H. McCusker , M.S. Brewer , T.R. Carr and F.K. Mckeith. 1995b. Thermal gelation of pork , beef , fish , chicken and turkey muscles as affected by heating rate and pH . *J . Food Sci* . 60 : 936 – 940 , 945.

Lanier , T.C. 1986. Functional properties of surimi. *Food Technol.* 40 : 107.

Lanier , T.C. , G.M. MacDonald and D.N. Scott. 1988. *Surimi technology workshop notes.* Nelson, New Zealand. July 19 - 21. 131 pp.

Lapanje , S. 1978. *Physicochemical Aspects of Protein Denaturation.* A Wiley – Interscience , U.S.A. 331 p.

Lee , C.M. 1984. Surimi processing technology. Food Technol. 38 (1) : 69 – 80.

Lui , D.C. and M.T. Chen. 1992. Effect of raw meat storage time and temperature on the quality of meat storage time and temperature on the quality of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

meat balls. *J. of the Chinese. Society. of Animal – Sci.* 21 (1) : 85 – 90.

Liu , Y.M. , T.S. Lin and T.C. Lanier. 1982. Thermal denaturation and aggregation of actomyosin from atlantic croaker. *J. Food Sci.* 46 : 1412 - 1414.

Mandigo , R.W. 1986. Restructuring of muscle foods. *Food Technol.* 40 (3) : 85 – 89.

Millet , M.F. , G.W. Davi , S.C. Seideman and C.B. Ramsey. 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.

Mochizuki , Y. , T. Saito , N. Iso , H. Mizuno , A. Aochi and M. Noda. 1987. Effects of adding fat on rheological properties of fish meat gel. *Nippon Suisan Grakkaishi.* 53 : 1471– 1474.

Montejano , J.G. , D.D. Hamann and T.C. Lanier. 1984. Thermally induced gelation of selected communuted muscle system - rheological changes during processing , final strength and microstructure . *J . Food Sci* . 49 : 1496 - 1505 .

Morita , J. I. , H. Sugiyama and K. Kondo. 1994. Heat - induce gelation of chicken gizzard myosin . *J . Food Sci* . 59 : 720 - 724 .

Mutsumoto , J. 1980. Chemical deterioration of muscle proteins during frozen storage, *In* Chemical Deterioration of Proteins. ACS Symposium Series 123. American Chemical Soceiety. Weghington,D.C. : 95 - 117.

Neer , K.L. and R.W. Mandigo. 1977. Effects of salts , sodium tripoly – phosphate and frozen storage time on properties of a flaked , cured pork products. *J. Food Sci* . 42 : 739 – 742.

Niinivaara , F. and P. Antila. 1972. *Der Naehrwert des Fleisches.* Fleischforsc hung and Praxis , Schriftenreihe Heft 8. Verlag Hess Druckwerk – statetten , Alzey.50 p.

Niwa , E. 1984. Fuctional Aspect of Surimi , pp. 141-147. *In* Science and Techonogy of fish paste product. Koseisha Koseikako , Tokyo.

Niwa , E. 1992. Chemistry of surimi gelation. Edited by Laniea T.C. and M.C. Lee. Surimi technology. Marcel Dekker , Inc : New York : 389-421.

Norsad , A. AKM , E. Kanoh , S. Kanoh and E. Niwa. 1996. Contribution of transglutaminase to the setting of fish pastes at various temperatures , *Fisheries. Sci.* 62(1) : 94-97.

Ogawa , M., T. Ehara , T. Tamiya and T. Tsuchiya. 1993. Thermal stability of fish myosin. *Biochem Physiol.* 106B(3) : 517-521.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Okada , M. 1985. Ingredients on gel texture , pp. 515 - 528. *In* R.E. Martin and R.L. Colletle (eds). Proceeding of the International Fisheries Institute , Washington , D.C.

Okada , M. 1990. Ingredients on gel texture , pp. 507 - 522. *In* R.E. Martin and R.L. Colletle (eds). Enginerrred seafood including surimi. Noyes data corporation. Park Ridge , New Jersey. USA.

Paterson ,B.C. , F.C. Parrish and M.H. Stromer. 1988. Effects of salt and pyrophosphate on the physical and chemical properties of beef muscle. *J . Food Sci* . 53 : 1258 -1265.

Park , S. , M.S. Brewer , F.K. Mckeith , P.J. Bechtel and Novakofski. 1996. Salt , cryoprotectants and preheating temperature effects on surimu - like material from beef or pork . *J . Food Sci* . 61 : 790 - 795 .

Paul , P.C. and H.H. Palmer. 1972. *Food theory and applications*. John Wileyt & Sons , Inc.

Pepper , F.H. and G.R. Schmidt. 1975. Effect on blending time , salt , phosphate and not - boned beef on binding strength and cook yield of beef rolls . *J . 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.

Saffle , R.L. and J.W. Galbreath. 1964. Quantitative determination of salt soluble protein in various type of meat. *Food Technol.* 18 : 143 – 146.

Saliba , D.A. , E.A. Foegeding and D.D. Hamann. 1987. Structural failure and non destructive rheological analysis of frankfurter batters : Effects of heating rate and sugar . *J . Texture Studies* . 18 : 241 .

Samejima , K. , M. Ishioroshi and T. Yasui. 1981. Relative roles of the head and tail portion of the molecule in heat - induced gelation of myosin. *J. Food Sci.* 46 : 1412-1418.

Sano , T., S.F. Noguchi , J.J. Matsumoto and T. Tsuchiya. 1989a. Dynamic viscoelastic behavior of F – actin on heating. *J. of Food Sci.* 54 : 231.

Sano , T., S.F. Noguchi , J.J. Matsumoto and T. Tsuchiya. 1989b. Role of F – actin in thermal gelation of fish actomyosin. *J. of Food Sci.* 54 : 800 – 804.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sano , T., S.F. Noguchi , J.J. Matsumoto and T. Tsuchiya. 1990. Effect of ionic strength dynamic viscoelastic behavior of myosin during thermal gelation. *J. Food Sci.* 55 : 51-54,70.

Sato , S. , T. Tsuchiya and J.J. Matsumoto. 1984a. Electron microscopic study of find structures of kamaboko fish jellies. *Bull. Of the Jap. Soc. of Sci. Fisheries.* 50 : 1869 – 1876.

Sato , S. , N. Nakagawa , T. Tsuchiya and J.J. Matsumoto. 1984b. Electron microscopic study of dispersion profiles of proteins in frozen surimi (fish mince). *Bull. of the Jap. Soc. of Sci. Fisheries.* 50 : 2117 – 2126.

Sato , S. , N. Nakagawa , T. Tsuchiya and J.J. Matsumoto. 1987. Electron microscopic study on the processes of preparation of kamaboko. *Bull. of the Jap. Soc. of Sci. Fisheries.* 53 : 649 – 658.

Scott , D.N., R.W. Porter , G. Kudo , R. Miller and B. Koury. 1988. Effect of freezing and frozen storage of alaska pollock on the chemical and gel – forming properties of surimi. *J. Food Sci.* 53(2) : 353 – 358.

Shimizu , Y. 1976. In " White Meat and Real Meat fish " . *Soc. Sci. Fish.*, Koseisha - Koseikaku , Tokyo. 106 p.

Shults , G.W. and E. Wierbicki. 1972. Effect of condensed posphate on pH , swelling and water holding capacity of beef. *J. Food Sci.* 37 : 860 – 864.

Suzuki , T. 1981. Fish and Krill Protein : Processing and Technology. *Applied Sci.* Publisher. , London. 260 p.

Taguchi , T. , M. Ishizaka , M. Tanaka , Y. Nakashima and K. Amano. 1987. Protein – protein interaction of fish myosin fragment. *J. Food Sci.* 52 : 1103-1104.

Taketshi , S. , S.F. Noguchi , J.J. Matsumoto and T. Tsuchiya. 1990. Thermal gelation chracteristics of myosin subfragments. *J. Food Sci* . 55 : 55 - 58 , 70 .

Theno , D.M. , D.G. Siegel and G.R. Schmidt. 1978. Meat massaging : Effect of salt and phosphate on the microstructure of binding junctions in sectioned and formed hams. *J. Food Sci.* 43 : 443 , 493 – 498.

Whiting , R.C. 1984. Stability and gel strength of frankfurter batters made with reduced NaCl. *J. Food Sci* . 49 : 1350 – 1354.

Wierbicki , E. , M.G. Tiede and R.C. Burell. 1962. A comparison method of estimate water holding capacity. Fleischwirts. 14 : 948.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Xiong , Y.L. and C.J.Brekke. 1989. Changes in protein solubility and gelatin properties of chicken myofibrils during storage . *J .Food Sci.* 54 : 1141 - 1146.

Xiong , y.L. 1994. Myofibrillar protein from different muscle fiber types : Implication of biochemical and functional properteis in meat processing. *Crit. Rev. Food science and Nutrition*. 34(3) : 293 – 320.

Xiong , Y.L. and C. J. Brekke. 1990a. Thermal transition of salt – soluble protein form pre – and postrigor chicken muscle. *J .Food Sci.* 55 : 1540 – 1543 , 1570.

Xiong , Y.L. and C. J. Brekke. 1990b. Physicochemical and gelation properties of pre - and postrigor chicken salt - soluble proteins. *J . Food Sci* .55 : 1544 – 1548.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์โปรตีนและไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์โปรตีนแบบ Buchi – Kjeldahl – System (AOAC. 1995)

สารเคมี

1. กรดซัลฟุริกเข้มข้น
2. กรดบอริความเข้มข้น 2%
3. กรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 32%
5. Catalyst : ผสมซีลิเนียมไดออกไซด์ (SeO_2) 2.5 กรัม โปตัสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 100 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_45H_2O$) 20 กรัม เข้าด้วยกัน
6. อินดิเคเตอร์ผสม
   ก. เตรียม Bromo cresol green ความเข้มข้น 0.1% ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95% และ Methyl red ความเข้มข้น 0.1% ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95%
   ข. ผสม 10 มิลลิลิตร Bromo cresolj green กับ 2 มิลลิลิตร Methyl red ในขวดหยด

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ลงใน degestion vessels
2. เติม catalyst 5 กรัม กรดซัลฟุริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร และ glass beads
3. นำ degestion vessels ตั้งในชุดย่อยจนได้สารละลายสีฟ้า
4. เทสารละลายทั้งหมดลงในบีกเกอร์แล้วนำไปใส่ในเครื่องกลั่นโปรตีน (Buchi) เติมน้ำให้ได้ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 32% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ประมาณ 4 – 5 นาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้น 2% ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ผสมอยู่ 2 – 3 หยด ในฟลาสก์ลูกชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
5. นำส่วนที่กลั่นได้ไปไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล จนกระทั่งสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นสีใส หรือไม่มีสี

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{\text{N.HCl} \times \text{ml.HCl} \times 14 \times 6.25 \times 100}{\text{ml. ของตัวอย่าง} \times 1000}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC. 1995)

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างอาหารมา 5 กรัม ไปอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือได้น้ำหนักคงที่
2. นำของแข็งจากข้อ 1 ใส่ลงในทิมเบอร์ (thimble) ให้หมด ปิดด้วยสำลีที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว
3. นำทิมเบอร์ใส่ในชุดแยกสกัดของเครื่องสกัดปิโตรเลียมอีเทอร์ใส่ลงในฟลาสก์ (ให้มีปริมาณเพียงพอที่จะให้เกิดการสกัดอย่างสมบูรณ์) ต่อฟลาสก์ก้นกลมและชุดแยกสกัดให้เข้ากับคอนเดนเซอร์ ทำการสกัดโดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
4. แยกเอาฟลาสก์ก้นกลมและคอนเดนเซอร์ออกจากชุดสกัด
5. ใช้คีมคีบสำลีและทิมเบอร์ที่ใส่อาหารตัวอย่างออกมา เทเอาของแข็งออกจากทิมเบอร์ นำมาบดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์อีกครั้งหนึ่ง เพื่อสกัดไขมันในของแข็งออกมากที่สุด
6. เทของแข็งที่สกัดแล้วกลับเข้าทิมเบอร์อีกครั้งหนึ่ง แล้วเริ่มสกัดเช่นเดิม โดยเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงไปอีก ใช้สำลีที่สกัดไขันออกแล้วปิดด้านบนของทิมเบอร์ไว้สกัดต่ออีกครั้งประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง
7. นำฟลาสก์ก้นกลมไประเหยเอาอีเทอร์ออก แล้วอบในตู้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นานประมาณ 45 นาที ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

$$\text{ร้อยละไขมันต่อน้ำหนักแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้}}{\text{100 - ปริมาณความชื้น}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ความชื้นและความเป็นกรด-ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC. 1995)

วิธีวิเคราะห์

1. อบ Aluminium can ใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง
2. นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desicator)
3. ชั่งน้ำหนัก Aluminium can
4. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ใน Aluminium can
5. นำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 – 3 ชั่วโมง
6. นำมาไว้ในโถดูดความชื้น
7. ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล
8. นำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่
9. คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2. การวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) (AOAC. 1995)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัมปั่นรวมกับน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องHomogenizer เป็นเวลา 1 นาที
2. นำไปวัดด้วยเครื่อง pH meter แล้วบันทึกผล
3. เครื่อง pH meter ต้องทำการ Calibrate ด้วย Standard pH 4 และ pH 7
4. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าสูญเสียเมื่อได้รับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายในเกลือ (Salt – soluble protein , SSP) (Saffle and Galbreath. 1964)

สารเคมี

1. สารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ (3%)
2. สารละลาย deoxycholate ความเข้มข้น 1%
3. Biuret reagent
4. Bovine serum albumin (BSA)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ปั่นรวมกับสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.6 โมลาร์ ด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 2 นาที
2. นำส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันมาเทใส่หลอด Centrifuge แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที (rpm) เป็นเวลา 20 นาที
3. ตักไขมันส่วนบนออก แล้วนำส่วนใสปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลาย Deoxycholate ความเข้มข้น 1% ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร
4. เติมน้ำกลั่น 1.9 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย Biuret reagent 3 มิลลิลิตร
5. นำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที
6. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร
7. เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ BSA (Bovine serum albumin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

วิธีทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยวิธี Folding test

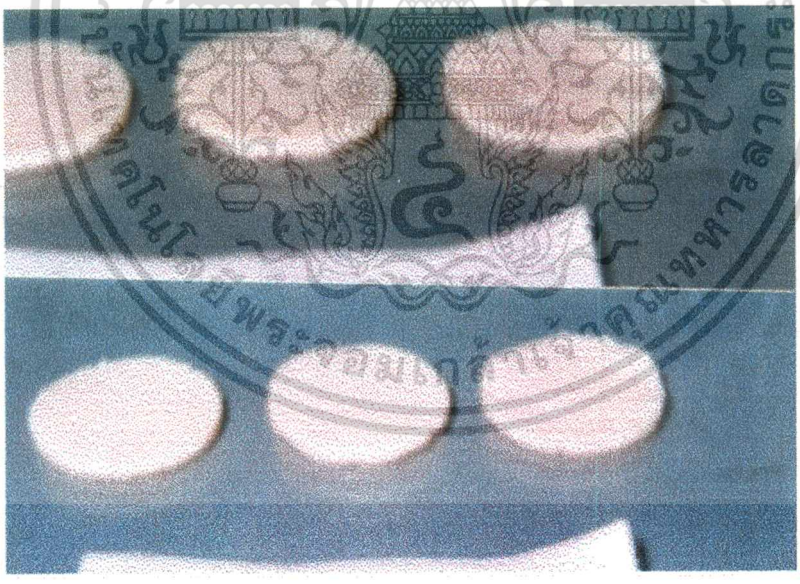
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการโดยการพับ (Folding test) (Lanier *et. al.* 1988)

ทำการตัดตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 เซนติเมตร ให้มีความหนา 3 - 5 มิลลิเมตร แล้วทำการพับครึ่ง ถ้าไม่เกิดรอยแตกหรือขาด ให้ทำการพับอีกครึ่งหนึ่งแล้วแบ่งเกรดดังตาราง

ตาราง จ1 แสดงการแบ่งเกรดคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากการทดสอบโดยการพับ

ลักษณะตัวอย่างเมื่อทำการพับ	ระดับเกรดที่ได้
มีรอยแตกเมื่อใช้นิ้วกดทดสอบ	1
พับชิ้นทดสอบให้เป็น 1 ใน 2 พบว่ามีรอยแตกทันที	2
พับชิ้นทดสอบให้เป็น 1 ใน 2 พบว่ามีรอยแตกเล็กน้อย	3
พับชิ้นทดสอบให้เป็น 1 ใน 2 พบว่าไม่มีรอยแตก	4
พับชิ้นทดสอบให้เป็น 1 ใน 4 พบว่าไม่มีรอยแตก	5



ภาพ จ1 แสดงลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยการพับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

วิธีทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยวิธีวัดค่า Gel strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความแข็งแรงของเจล (Gel strength) (Lan *et. al.* 1995a)

สำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์เพื่อทดสอบความเหนียวโดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์มาตัดเป็นท่อนยาว 3 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 เซนติเมตร

วิธีการทดสอบ

1. ทำการ Calibrate Force กรณีที่เครื่อง Texture analyzer ไม่มีการทำงานติดกันประมาณ 4 - 5 วัน โดยใช้ลูกตุ้ม 5 กิโลกรัม ขณะทำการ Calibrate Force ต้องแน่ใจว่าไม่มีหัววัด (Probe) อยู่ โดยการเลือกที่ TA - Calibrate Force

2. ทำการ Calibrate Probe โดยการติดตั้ง Probe ที่จะใช้ในการวัดค่า (ภาพ ฉ2) เข้ากับตัวเครื่องให้เรียบร้อยและตั้งระยะห่างระหว่าง Probe กับฐานของแท่นวัดที่ 40 มิลลิเมตร (ระยะห่างควรมีความสูงมากกว่าตัวอย่างเล็กน้อย) จากนั้นจึงทำการ Calibrate Probe โดยการเลือกที่ TA - Calibrate probe

3. นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้มาวางบนแท่นของเครื่องวัด จากนั้นทำการตั้งค่า (TA setting) ของสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

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 Acquistion Rate :	200 pps

4. ทำการวัดค่า Gel strength โดยการเลือก TA - Run a test

วิธีคำนวณ

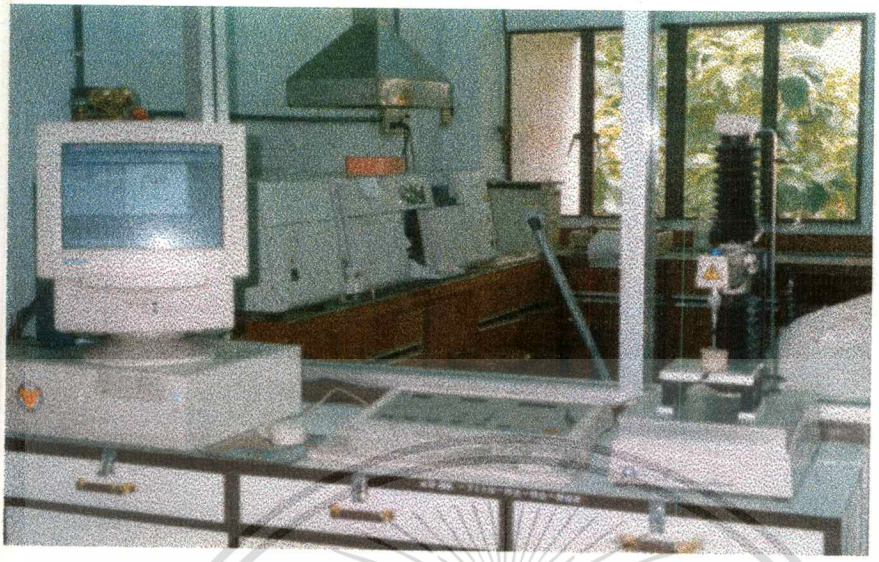
ค่าความแข็งแรงของเจล (Gel strength) คำนวณได้จากสูตร

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

เมื่อ Force คือ แรงกดที่มากที่สุด (ต้องอยู่ในพีคแรกเท่านั้น) มีหน่วยเป็นกรัม

Distance คือ ระยะทางที่ถูกกดจนเป็นรอยแตก มีหน่วยเป็นเซ็นติเมตร

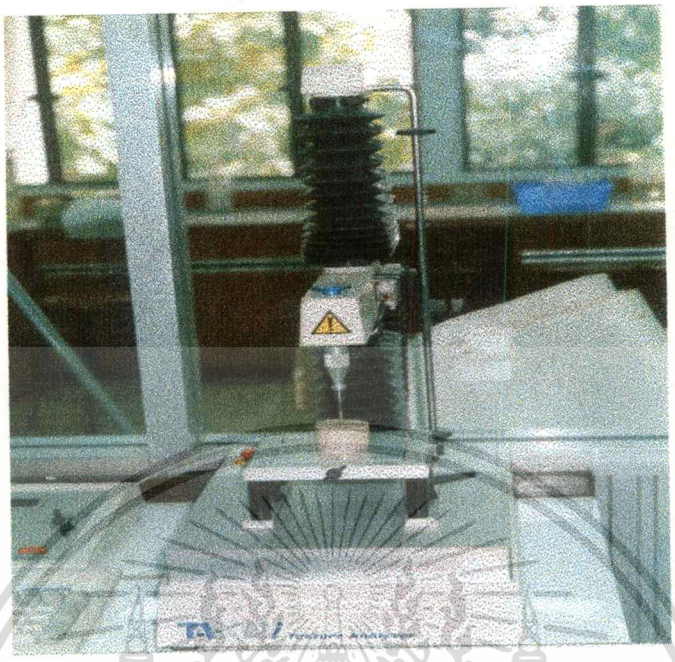
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



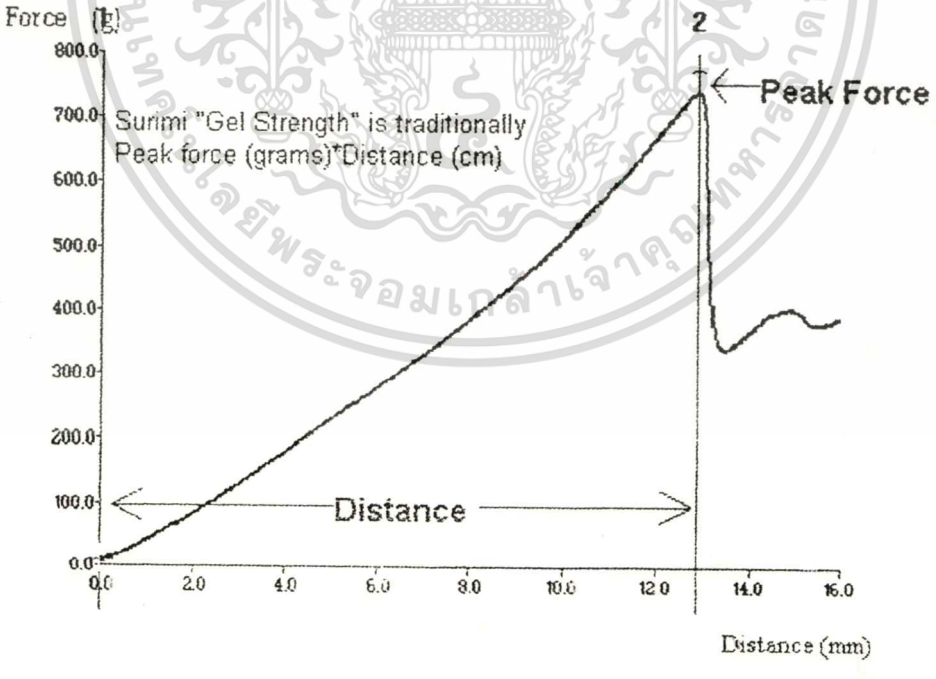
ภาพ ฉ1 แสดงเครื่องวัด Gel strength (Texture analyser รุ่น TA-XT2)

ภาพ ฉ2 แสดงลักษณะของตัวอย่างที่ใช้วัดค่า Gel strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ ฉ3 แสดงลักษณะการวัด Gel strength ของผลิตภัณฑ์



ภาพ ฉ4 แสดงลักษณะกราฟที่ได้จากการวัดค่า Gel strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gel strength และ ค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gel strength และค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์

ตาราง ช1 แสดงข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gel strength และค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์

ปริมาณฟอสเฟต (%)	ค่า Gel strength (g.cm)	Cooking loss (%)
0.25	264.787	1.81
0.5	316.777	1.67
1.0	333.665	1.46
2.0	349.716	1.30

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ แสดงได้ดังตาราง ช2

ตาราง ช2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gel strength และค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์

	Gel strength	Cooking loss
Pearson Gel strength	-0.934	1.000
Correlation Cooking loss	1.000	-0.934
Sig. Gel strength	0.066	
2 - tailed Cooking loss		0.066
R = -0.934		

เมื่อ R = -0.934 แสดงว่าเมื่อค่า Gel strength เพิ่มมากขึ้น ค่า Cooking loss ต้องลดต่ำลง โดยมีความสัมพันธ์กันในระดับ 93.4% ดังนั้นการวิเคราะห์คุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ถ้าไม่สามารถวิเคราะห์ค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ได้ก็สามารถนำค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์มาเปรียบเทียบกัน กรณีที่ค่า Gel strength และ ค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กันในลักษณะนี้ อธิบายได้ว่าผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ใด ๆ ที่เนื้อสัมผัสสามารถเกิดเจลได้และเจลที่ได้มีความแข็งแรง โดยมีค่า Gel strength สูง ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้มากจึงทำให้ค่า Cooking loss ของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

ส่วนผสมผลิตภัณฑ์หมูยอและขั้นตอนการผลิต Fat emulsion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผสมผลิตภัณฑ์หมูยอ

เนื้อสุกร	300	กรัม
เกลือ	9	กรัม
มันแข็ง หรือ Fat emulsion	60	กรัม
น้ำแข็งบดหรือน้ำเย็นจัด	90	กรัม
โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต	1.5	กรัม
ผงเพรก	0.6	กรัม
น้ำตาลทราย	1.5	กรัม
พริกไทยป่น	2.4	กรัม
ดอกจันทร์ป่น	0.15	กรัม
อบเชยป่น	0.15	กรัม
โปรตีนนม	0.3	กรัม
กระเทียมป่น	6	กรัม
ผงชูรส	0.6	กรัม

การผลิต Fat emulsion

ส่วนผสม

Isolate soy protein	100	กรัม
น้ำมันพืช	400	กรัม
น้ำ	400	กรัม

ขั้นตอนการผลิต

ชั่ง Isolate soy protein ใส่ในเครื่องผสม เติมน้ำลงไปปั่นผสมจน Isolate soy protein ดูดน้ำเข้าไปจนมีลักษณะใส จากนั้นเติมน้ำมันพืชลงไปทีละน้อย ทำการผสมตลอดเวลาขณะเติม จนน้ำมันพืชหมด และปั่นผสมต่อจนมีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด นำส่วนผสมที่ได้ไปตีในเครื่อง Silent cutter เพื่อตีผสมให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นมวลเหนียวเกาะตัวเป็นก้อนแข็ง เพื่อให้อิมัลชั่นอยู่ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวพรทิพย์ มีนพกิจ เกิดวันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร วิชาเอกสัตวศาสตร์ วิชาโทวิทยาศาสตร์การอาหาร จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2539 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ในปีพ.ศ. 2540 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้