

**คุณลักษณะของเนื้ออกไก่ในระหว่างกระบวนการซูวีด้วยความดัน**

**Characteristics of chicken breast during *sous-vide* pressure process**

**เบญญาภา รัตนโรจน์ตระกูล**

**BENYAPA RATTANAROTTAKUL**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร**

**คณะอุตสาหกรรมเกษตร**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**พ.ศ. 2563**

**KMITL-2020-AI-M-053-356**

คุณลักษณะของเนื้ออกไก่ในระหว่างกระบวนการซูวีด้วยความดัน

Characteristics of chicken breast during *sous-vide* pressure process

เบญญาภา รัตนโรจน์ตระกูล

BENYAPA RATTANAROTTAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

KMITL-2020-AI-M-053-356

**Characteristics of chicken breast during *sous-vide* pressure process**

**BENYAPA RATTANAROTTAKUL**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2020**

**KMITL-2020-AI-M-053-356**

**COPYRIGHT 2020**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คุณลักษณะของเนื้ออกไก่ในระหว่างกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเบญญาภา รัตนโรจน์ตระกูล
รหัสประจำตัว	60608028
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสรยา เกิดพิบูลย์

### บทคัดย่อ

กระบวนการซูวิดเป็นกระบวนการแปรรูปที่สามารถใช้อาหาร โดยการนำวัตถุดิบอาหารมาบรรจุในสถานะสุญญากาศก่อนการให้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิ และเวลา ส่งผลต่อคุณลักษณะของอาหาร ได้แก่ ความนุ่มของเนื้อสัตว์ สีและคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้บางชนิด เป็นต้น กระบวนการซูวิดยังมีข้อจำกัดบางประการ งานวิจัยนี้จึงนำกระบวนการซูวิดร่วมกับความดันที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและรูปแบบโปรตีนของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน โดยกำหนดสภาวะที่ความดันบรรยากาศ 2 บาร์ และ 3 บาร์ ใช้เวลา ตั้งแต่ 0.5 ถึง 6 ชั่วโมง กำหนดอุณหภูมิการซูวิดคงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ระดับความดัน และเวลาที่ใช้ในการซูวิดที่อุณหภูมิคงที่ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิด ค่าความสว่างและความเป็นสีแดง ความแข็ง ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำ ของอกไก่อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ในช่วงแรกของการให้ความร้อน พบว่าอกไก่อมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ในช่วงต่อมาพบว่าคุณลักษณะต่างๆ ของเนื้อไก่ไม่แตกต่างกันมากนัก ขึ้นอยู่กับระดับความดัน และเวลาที่ใช้ในการซูวิด นอกจากนี้พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการซูวิดร่วมกับความดัน ของอกไก่ ที่มีการใช้ความดัน 2 บาร์ สามารถลดค่าความแข็งของเนื้ออกไก่ ได้ต่ำกว่า กรณีการใช้ความดันที่ 3 บาร์ และระดับบรรยากาศ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการซูวิดที่ไม่แตกต่างจากระดับความดันบรรยากาศมากนัก นอกจากนี้ผลการทดลองพบว่าความดันส่งผลต่อรูปแบบโปรตีนของอกไก่และน้ำที่สูญเสียจากเนื้ออกไก่หลังจากการซูวิดร่วมกับความดัน ภายใต้สภาวะ reducing และ non-reducing

**คำสำคัญ** กระบวนการซูวิด ความดัน รูปแบบของโปรตีน อกไก่

<b>Thesis</b>	Characteristics of chicken breast during <i>sous vide</i> pressure process
<b>Student</b>	Ms. Benyapa Rattanakul
<b>Student ID.</b>	60608028
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Science
<b>Year</b>	2020
<b>Thesis advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Soraya Kerdpi boon

### **Abstract**

Sous-vide can be used for food cooking by vacuum packing of food before heating under controlled temperature and time. Sous-vide cooking induces characteristics of foods such as tenderness of meat and color and nutrients of fruits and vegetables. However, the limitation of sous-vide induces this research to study effect of sous-vide combination with pressure on the physical properties and protein pattern of chicken breast during cooking. The pressure levels consisted of atmosphere, 2 bars and 3 bars and cooking time of 0.5 to 6 hrs with controlled temperature of 60°C. It was found that pressure and cooking time affected percentage of cooking loss, lightness and redness, hardness and percentage of reheating loss of chicken breast with significantly different ( $p \leq 0.05$ ) in the first period, then physical properties tended to increased and decreased with not significantly different ( $p > 0.05$ ). Results were found that using pressure of 2 bars induced lowest hardness of chicken breast compared to 3 bars and atmosphere pressure, while it did not affect cooking time. Besides, pressure affected protein pattern of sous-vide chicken breast and exudate solvent after sous-vide cooking both reducing and not-reducing condition.

**Keywords:** Sous-vide process, pressure, protein pattern, chicken breast

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง คุณลักษณะของเนื้อมะพร้าวในระหว่างกระบวนการซูวีดร่วมกับความดัน เล่มนี้จัดทำขึ้นจากการศึกษาค้นคว้า วิจัย และวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลของวิทยานิพนธ์ วิทยานิพนธ์ เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสริยา เกิดพิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ เสียสละเวลา คอยให้คำแนะนำ และให้อภัยในข้อผิดพลาด ตลอดจนสนับสนุนเครื่องมือ งบประมาณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ ให้ความรู้ ให้กำลังใจและคอยคำแนะนำอยู่เสมอ

นอกจากนี้ผู้วิจัย ขอขอบคุณ ดร. ปัทมา สุภาพล พสธร ผ่องแผ้ว ระพีพรรณ ชิงชัย ญัฐพร โชติกาวิรินทร์ Sylvia indriani ภูมิภัทร สังขบุญย์ และนักษาปริญญาโทคนอื่นๆที่คอยให้กำลังใจ และ ช่วยผลักดันจนสามารถทำเล่มวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงมาได้

ยิ่งไปกว่านั้นขอขอบคุณครอบครัวทุกคนที่ให้โอกาส สนับสนุนทั้งร่างกาย แรงใจ และทุนทรัพย์ เพื่อให้งานวิจัยลุล่วงมาโดยตลอด

หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ และหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ

เบญญาภา รัตนโรจน์ตระกูล

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 องค์ประกอบของเนื้อสัตว์	4
2.2 คุณภาพการบริโภคของเนื้อไก่สด	11
2.3 กระบวนการชุว้ด	13
2.4 การใช้ความดันในกระบวนการแปรรูปอาหาร	15
2.5 อิเล็กโทรโฟรีซิส	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.1 วัตถุประสงค์	25
3.2 อุปกรณ์	25
3.3 สารเคมี	25
3.4 การทดลอง	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	32
4.1 การศึกษาผลของความดัน และเวลาที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของอกไก่	32
4.2 ผลของความดัน และเวลาที่มีต่อรูปแบบโปรตีนของอกไก่ โดยเทคนิค SDS-PAGE	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	58
บรรณานุกรม	59

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	66
ก. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Biuret	67
ข. การเตรียม Acrylamide gel	69
ค. ขั้นตอนการดำเนินการด้วยวิธี SDS-PAGE	71
ง. มวลโมเลกุล และร้อยละความเข้มของรูปแบบโปรตีน	73
ประวัติผู้เขียน	75

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะเฉพาะของเส้นใยสีแดงและสีขาวในกล้ามเนื้อสัตว์ปีก	8
2.2 องค์ประกอบหลักที่สำคัญในเนื้อไก่ 100 กรัม	10
2.3 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในเนื้อไก่ 100 กรัม	11
2.4 ช่วงของโปรตีนที่ต้องการแยกโดยใช้พอลิอะคริลาไมด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	18
4.1 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชูวิดของเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการชูวิดร่วมกับความดัน	34
4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการชูวิดร่วมกับความดัน	37
4.3 ค่าสีของเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการชูวิดร่วมกับความดัน	40
4.4 ค่าความแข็งของเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการชูวิดร่วมกับความดัน	44
4.5 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำของเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการชูวิดร่วมกับความดัน	47
4.6 คุณลักษณะทางกายภาพของเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการชูวิดร่วมกับความดัน	52

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ชนิดของกล้ามเนื้อสัตว์	4
2.2 แสดงมัดกล้ามเนื้อลายทั้งมันใหญ่ที่ตัดขวาง และแสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของกล้ามเนื้อ	5
2.3 ภาพตัดขวางเนื้อเสต็กที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบทั่วไป และแบบซูวิด	15
2.4 การแยกโปรตีนมาตรฐาน โดยวิธี (a) tricine-SDS-PAGE, (b) glycine-SDS-PAGE	20
2.5 การเติมบัพเฟอร์ที่ขั้วบวก-ขั้ว	21
3.1 เนื้ออกไก่	27
3.2 อกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน	27
3.3 ตำแหน่งการวัดสีของชิ้นกึ่งกลาง	29
3.4 สภาพะในการถ่ายภาพชิ้นเนื้อตัวอย่าง	30
4.1 แสดงการตัด เนื้อตามขวาง และตามยาวของเนื้ออกไก่	51
4.2 แสดงผล SDS-PAGE ของตัวอย่างเนื้อ Reducing และ Non-reducing	53
4.3 แสดงผล SDS-PAGE ของตัวอย่าง exudate และ Non-reducing	55

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื้อไก่เป็นวัตถุดิบที่ได้รับความนิยมในการบริโภคจากกลุ่มคนทั่วไป ด้วยเหตุผลที่ว่ามีราคาถูกกว่าเนื้อหมูและเนื้อวัว นอกจากนี้เนื้อไก่มีปริมาณโปรตีนสูง ไขมันอิ่มตัว และคอเลสเตอรอลต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อแกะ ทั้งนี้การบริโภคผลิตภัณฑ์จากเนื้อไก่ หรือเนื้อสัตว์ต่างๆ ในปัจจุบัน นอกจากการพิจารณาถึงราคาที่เหมาะสมแล้ว การพิจารณาจากปัจจัยคุณภาพต่างๆ เช่น รูปลักษณะ ความนุ่ม ความชุ่มฉ่ำ รสชาติ ราคา กลิ่นขณะปรุงอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการ ยังเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญ ดังนั้นผู้ผลิตจึงได้มีการนำเทคโนโลยีและวิธีการแปรรูปอาหารมาช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์มีความน่ารับประทานมากยิ่งขึ้น โดยวิธีการแปรรูปต่างๆ มีทั้งใช้ความร้อน ไม่ใช้ความร้อน ใช้กระบวนการแปรรูปมากกว่า 1 ขั้นตอน การใช้ความดัน เป็นต้น

ในการปรับปรุงคุณลักษณะ โดยเฉพาะด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์นั้น มีงานวิจัยและผลิตภัณฑ์ต่างๆ จำนวนมาก ที่มีการใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การใช้สารหมักเนื้อ การใช้ความร้อน การแช่เยือกแข็ง การใช้เทคนิคการชุบ และ การใช้ความดัน เป็นต้น ทั้งนี้กระบวนการชุบเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถปรับปรุงลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้เป็นตามความต้องการของผู้บริโภคได้ (Kato และคณะ, 2016)

กระบวนการชุบเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารภายใต้สภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิและเวลา โดยมีการให้ความร้อนคงที่ในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศ หลังจากการให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจนอุณหภูมิถึง 0-4 °C (Schellekens, 1996) กระบวนการชุบมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหารประเภทการจัดและบริการอาหาร โดยสามารถเตรียมวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปปริมาณมากในคราวเดียว ซึ่งจะช่วยปรับสภาพให้เหมาะสมสำหรับการเตรียมอาหารหลังจากกระบวนการให้ความร้อน โดยไม่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนข้ามของจุลินทรีย์ ทำให้ปัจจุบันเซฟในระดับภัตตาคารและร้านอาหารใหญ่ๆ ใช้กระบวนการชุบในการจัดเตรียมอาหาร เนื่องจากสะดวก สามารถจัดการเตรียมอาหารในปริมาณมาก และยังสามารถปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพต่างๆ เช่น เนื้อสัตว์ที่ใช้เทคนิคการชุบสามารถเพิ่มความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำของเนื้อมากขึ้น (Aguilera, 2018) นอกจากนั้นยังสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และสารอาหารที่สำคัญต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรุงอาหารโดย

การต้มที่ความร้อนสูง (Oz และ Seyyar, 2013) อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50-80 °C ในการชงวีคในระยะเวลาที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นชนิด ขนาดอาหาร เป็นต้น ส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาในการแปรรูป เนื่องจากใช้เวลานาน ซึ่งเมื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะทำให้ใช้เวลาในการแปรรูปสูง และมีกำลังผลิตต่ำ ทั้งนี้แนวทางในการช่วยลดระยะเวลาในการแปรรูปจึงเป็นประเด็นสำคัญเพื่อผลิตวัตถุดิบที่มีคุณภาพแต่ใช้เวลาในการแปรรูปที่น้อยลง

นอกจากการชงวีคแล้ว ยังมีกระบวนการแปรรูปอื่นที่สามารถปรับปรุงคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ได้ การใช้ความดัน เป็นหนึ่งในกระบวนการที่มีการนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณลักษณะของเนื้อสัตว์ การใช้ความดันเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ใช้ความร้อน (Aymerich และคณะ, 2008) ระดับของความดันมีตั้งแต่ความดันระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ จากงานวิจัยของ Hoover และคณะ (1998) มีการใช้ความดันระดับสูงในวัตถุดิบอาหาร โดยพบว่า การใช้ความดันที่ระดับประมาณ 400-600 MPa โดยใช้อุณหภูมิไม่เกิน 45 องศาเซลเซียส สามารถปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารได้ ในขณะที่สภาวะดังกล่าวส่งผลกระทบต่อรสชาติและลักษณะปรากฏน้อยมาก อย่างไรก็ตามกระบวนการใช้ความดันระดับสูง ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ อาหารสูญเสียน้ำหนักได้มากถึงร้อยละ 40 เมื่อใช้ความดันในระดับที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค นอกจากนี้วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ จะต้องมีการออกแบบและใช้วัสดุที่สามารถทนต่อความดันสูง จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูง (Penchalaraju, 2013)

แนวทางการใช้ความดันในระดับที่ไม่สูงมาก ร่วมกับกระบวนการชงวีค จึงมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัตถุดิบเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลอ้างอิง และอธิบายคุณลักษณะของเนื้อสัตว์ที่ผ่านการชงวีคร่วมกับการใช้ความดันยังมีจำกัด งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในกระบวนการชงวีคร่วมกับการใช้ความดันที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของเนื้อไก่ เพื่อเป็นแนวทางในการนำการชงวีคร่วมกับการใช้ความดันในการพัฒนาต่อยอดในการปรับปรุงคุณลักษณะของเนื้อสัตว์ โดยการใช้กระบวนการแปรรูป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของความดัน และเวลาที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการชงวีคร่วมกับความดัน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความดัน และเวลาที่มีต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในอกไก่ที่ผ่านกระบวนการชงวีคร่วมกับความดัน

1.2.3 เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพ และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในอวกาศที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทำให้ทราบถึงผลของความดัน และเวลาที่มีต่อลักษณะทางกายภาพ และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในอวกาศที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดันในสภาวะต่างๆ

1.3.2 เป็นพื้นฐานสำหรับงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง และสามารถนำผลงานที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

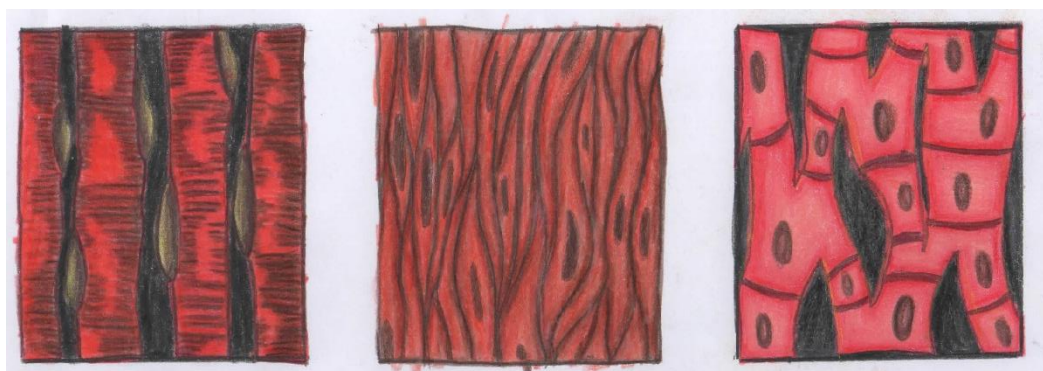
#### 2.1 องค์ประกอบของเนื้อสัตว์

##### 2.1.1 ลักษณะโครงสร้างของเนื้อสัตว์

เนื้อสัตว์ มีคำนิยามสั้นๆที่กล่าวถึงว่าเป็นส่วนเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (Muscle tissue) ของสัตว์ รวมถึงส่วนประกอบอื่นๆที่สามารถบริโภคได้ และเหมาะสมสำหรับนำไปปรุงเป็นอาหารเพื่อไว้การบริโภค เนื้อสัตว์สามารถแบ่งออกเป็นหมวดหมู่ได้หลายประเภท หมวดที่ใหญ่ที่สุดในแง่ของการบริโภค คือ เนื้อจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม หรือสัตว์เนื้อแดง ที่นิยมในการบริโภค ได้แก่ วัว หมู และแกะ นอกจากนี้ สัตว์จากปีก เช่น ไก่ ไก่วง เป็ด ห่าน นก และไก่ต๊อก เป็นต้น (Aberle และคณะ, 2001)

เนื้อสัตว์ถูกจัดว่าเป็นอาหารที่ราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับอาหารที่ให้โปรตีนอื่นๆ แต่ในเนื้อสัตว์ประกอบไปด้วยคุณค่าทางอาหารที่จำเป็นต่อผู้บริโภค (Kinsman และคณะ, 1994) นอกจากนั้นอุดมไปด้วยธาตุเหล็ก วิตามินบี และวิตามินเอที่จำเป็นอีกด้วย (Aberle และคณะ, 2001)

กล้ามเนื้อในร่างกายของสัตว์มีอยู่ 3 ชนิด เช่นเดียวกับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอื่นๆ คือ กล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ และ กล้ามเนื้อหัวใจ ดังภาพที่ 2.1



กล้ามเนื้อลาย

กล้ามเนื้อเรียบ

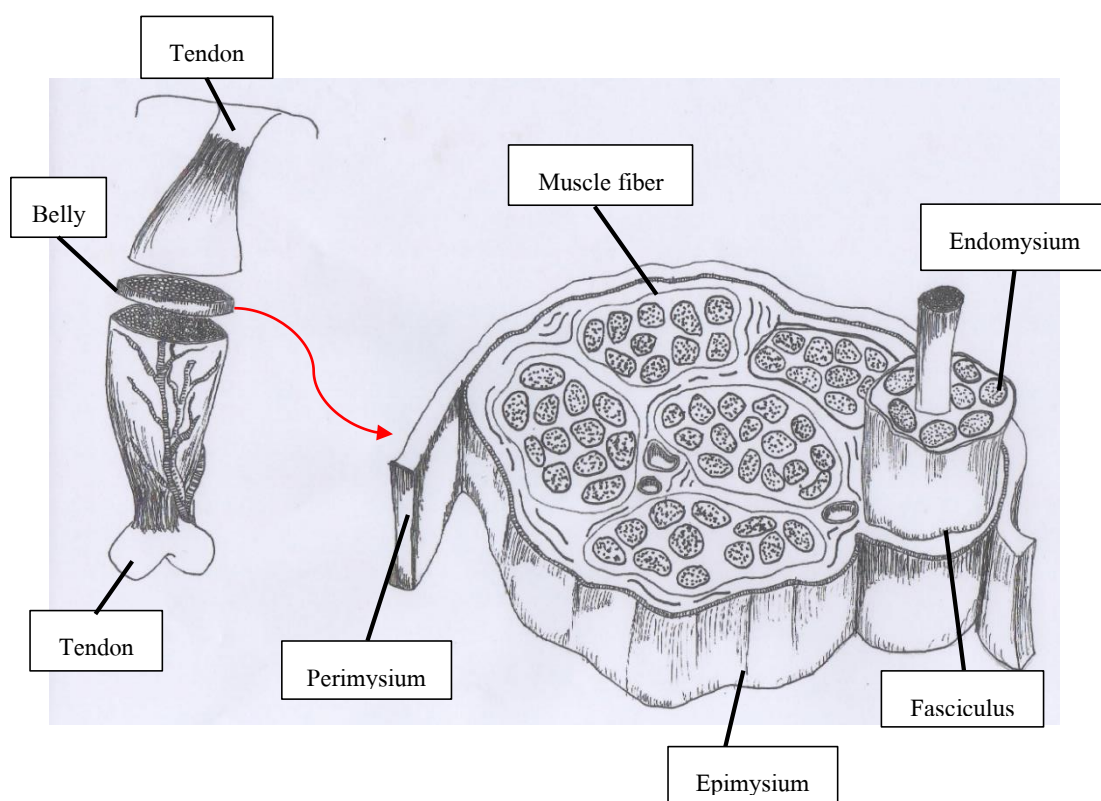
กล้ามเนื้อหัวใจ

ภาพที่ 2.1 ชนิดของกล้ามเนื้อสัตว์

คัดแปลง: วิโรจน์ (2537)

2.1.1.1 กล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscle) เป็นกล้ามเนื้อในร่างกายของสัตว์ปีก ส่วนมากจะเกาะอยู่ตามโครงสร้างของร่างกาย และอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจควบคุมโดยระบบประสาท ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย มีประมาณร้อยละ 40-50 ของน้ำหนักร่างกาย กล้ามเนื้อลายส่วนมากจะติดอยู่กับกระดูกโดยตรง แต่มีบางส่วนที่ติดอยู่กับเส้นเอ็น กระดูกอ่อนและหนัง

กล้ามเนื้อทั้งก้อนเมื่อมองดูด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าถูกห่อหุ้มอยู่โดยตลอดด้วยแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า epimysium ดังภาพที่ 2.2 แผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนี้ ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันประเภทคอลลาเจน (Collagen) และ อีลาสติน (Elastin) และต่อเนื่องจาก epimysium โดยแทรกเข้าไปภายในกล้ามเนื้อแล้วห่อหุ้มรอบหน่วยเล็กลงไปอีกของกล้ามเนื้อเรียกว่า fasciculi หรือ muscle bundle นั้น ก็จะเป็นแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน perimysium และเมื่อเราตัดขวาง fasciculi ให้นำประมาณ 10 ไมครอน แล้วนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ก็จะพบว่า fasciculi นั้น ประกอบไปด้วยหน่วยเล็กลงไปอีกจำนวนมาก ซึ่งแต่ละอันมีรูปร่างหน้าตัดกลม เรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ เซลล์ของกล้ามเนื้อนั่นเอง แต่ละเส้นใยจะถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นเนื้อเยื่อบางอย่างอีกชื่อว่า endomysium เส้นใยเหล่านี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในระหว่าง 10-180 ไมครอน ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อแตกต่างกันเช่นนี้มีรากฐานมาจากปัจจัยต่างๆ คือ อายุ เพศ ระดับโภชนาการ ฯลฯ (วิโรจน์ , 2537)



ภาพที่ 2.2 แสดงมัดกล้ามเนื้อลายทั้งมันใหญ่ที่ตัดขวาง และแสดง โครงสร้างและส่วนประกอบของกล้ามเนื้อ

คัดแปลง: Freeman (1980)

2.1.1.2 กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle) กล้ามเนื้อเรียบเป็นส่วนประกอบของเนื้อสัตว์ในปริมาณต่ำ ส่วนมากจะพบกล้ามเนื้อเรียบในบริเวณผนังของเส้นเลือดใน gastrointestinal tracts และ reproductive tracts และนอกจากนั้นจะพบทั้งกล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อโครงร่างในอวัยวะบางชนิด เช่น ลิ้น เป็นต้น เส้นใยกล้ามเนื้อเรียบมีรูปร่างยาวและเป็น spindle-shape มีนิวเคลียสเดี่ยวและอยู่ใจกลางของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยเส้นใยฝอยของกล้ามเนื้อเรียบจะอยู่ด้วยกันอย่างไม่เป็นระเบียบ จะไม่เห็นเป็นรูปร่างชัดเจนเหมือนกล้ามเนื้อโครงร่าง โดยจะมองเห็นแอกตินได้ชัดเจนแต่ไมโอซินนั้นจะมองไม่เห็น (ชัยณรงค์, 2529)

2.1.1.3 กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscle) กล้ามเนื้อหัวใจมีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างออกไปจากกล้ามเนื้ออื่นๆ คือ มีการทำงานเด่นเป็นจังหวะตลอดเวลาไม่หยุดยั้ง กล้ามเนื้อหัวใจมีส่วนคล้ายทั้งกล้ามเนื้อโครงร่างและกล้ามเนื้อเรียบ คือ มีนิวเคลียสอยู่ในใจกลางเซลล์และทำงานนอกเหนือการควบคุมของสมอง หรือภายใต้การควบคุมของ autonomic nervous system เช่นเดียวกับกล้ามเนื้อเรียบ ส่วนที่คล้ายกับกล้ามเนื้อโครงร่างนั้นก็คือ มีเส้นใยฝอยแอกตินและไมโอซินที่เรียงตัวอยู่ด้วยกันและทำให้เห็นว่ามีลาย เช่นเดียวกับเส้นใยกล้ามเนื้อของกล้ามเนื้อโครงร่าง (ชัยณรงค์, 2529; วิโรจน์, 2537)

## 2.1.2 โปรตีนในเนื้อสัตว์ (Meat protein)

เนื้อสัตว์เป็นอาหารที่มีโปรตีนมีคุณภาพสูง คือมีปริมาณโปรตีนมากและมีกรดอะมิโนที่จำเป็นที่ร่างกายต้องการครบทุกตัว ถ้าพิจารณาจากโครงสร้างเนื้อสัตว์ พบว่าเนื้อสัตว์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ เส้นใยกล้ามเนื้อ (Myofibrillar fiber) เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) และเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue)

### 2.1.2.1 โปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ (Myofibrillar protein)

เป็นโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเกลือ (Salt soluble protein) พบอยู่ในส่วนของกล้ามเนื้อที่เรียกว่า “Muscle fiber” ซึ่งทำหน้าที่หดตัวภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ มีรูปร่างเป็นเส้นยาวกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ไมครอน และภายในเส้นใยย่อยจะปรากฏให้เห็นเมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง เส้นใยย่อยเหล่านี้จะอยู่เรียงตัวกันไปตามทางยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยมาซาร์โคพลาสซึม (Sarcoplasm) หล่อเลี้ยงอยู่โดยตลอด โดยขนาดเส้นใยแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับอายุ และชนิดของสัตว์ เช่น โค กระบือ มีขนาดของเส้นใหญ่กว่าไก่ สัตว์ที่มีอายุมากขนาดของเส้นใยจะใหญ่ขึ้น โปรตีนที่พบมากในเส้นใย คือ แอ็คติน (Actin) ไมโอซิน (Myosin) โทโปไมโอซิน (Tropomyosin) และโทรโปนิน (Troponin) (ชัยณรงค์, 2529; Kelly และคณะ, 2011)

2.1.2.1.1 เส้นใยฝอยชนิดหนา หรือไมโอซิน (Myosin) พบอยู่ประมาณร้อยละ 50 ของโปรตีนเส้นใยย่อย ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีขั้วสูง รูปร่างของโมเลกุลของไมโอซิน จะมีลักษณะเป็นรูปกลมยาวโดยที่ปลายหนึ่งเป็นส่วนที่มีลักษณะเป็นก้อนหนากว่าที่อื่นๆ บริเวณนี้จึงเป็นส่วนหัว (Head region) และส่วนที่เป็นแท่งกลมยาวออกมานั้นเรียกว่า ส่วนหาง (Tail region) โดยมีส่วนเชื่อมระหว่างหัวกับหาง เรียกว่า ส่วนคอ (Neck) ส่วนหัวดังกล่าวจะเป็นคู่และยื่นกลางออกมาจากแนวยาวและเส้นใยฝอย และเมื่อ ไมโอซินถูกสารย่อยทริปซิน (Trypsin) ซึ่งมีคุณสมบัติย่อยโปรตีนนั้นมันจะขาดออกจากกันเป็น 2 ส่วน ณ บริเวณคอ โดย 2 ส่วนนี้เรียกว่า light meromyosin กับ heavy meromyosin เป็นตัวทำหน้าที่ในการเกิดการยึดหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยจะไปจับกันกับเส้นใยฝอยแอกติน สร้าง crossbridge ขึ้นมาก่อนที่จะปล่อยไปอีกตามจังหวะของการเกิดยึดหดตัว การเกิดขึ้นของ crossbridge ทำให้เกิดส่วนผสมทางเคมีที่เรียกว่า actomyosin ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการเกร็งและแข็งตัวของกล้ามเนื้อ actomyosin จะพบในปริมาณสูงในกล้ามเนื้อสัตว์ตาย (ชัยณรงค์, 2529)

2.1.2.1.2 เส้นใยฝอยชนิดบาง หรือแอกติน (Actin) มีอยู่ประมาณร้อยละ 20 - 25 ของโปรตีนในเส้นใยย่อย (Myofibrillar protein) โมเลกุลของแอกตินจะมีกรดอะมิโน proline ในระดับสูง ซึ่งกรดตัวนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษจึงทำให้ polypeptide chain ของโมเลกุลแอกตินต้องม้วนตัวเข้าหากัน และเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.5 nm. เรียกว่า G-actin (Globular actin) คือ โมเลกุลอันหนึ่งของโปรตีนแอกติน โมเลกุลของแอกตินนี้จะเรียงตัวกันเป็นเส้นยาวโดยขบวนการ polymerization และเรียกเส้นยาวนี้ว่า F-actin (Fibrous actin) โดย F-actin จำนวน 2 เส้นก็จะม้วนตัวเข้าหากันเป็นเกลียวเชือกสร้างลักษณะ super helix ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเส้นใยฝอยแอกติน (Kelly และคณะ, 2011)

สัตว์ปีกกล้ามเนื้อโครงร่างเป็นส่วนสำคัญที่นำมาแปรรูปโดยส่วนที่นิยมบริโภคจะแบ่งลักษณะสีของกล้ามเนื้อออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ เนื้อสีขาว (White meat) และเนื้อสีเข้ม (Dark meat) โดยเนื้อสีขาวจะหมายถึงกล้ามเนื้อบริเวณอก ส่วนเนื้อสีเข้มหมายถึงเนื้อจากบริเวณขา การจำแนกประเภทนี้ขึ้นอยู่กับสีโดยรวมซึ่งเป็นผลมาจากสัดส่วนของเส้นใยสีแดง (Red fiber) และเส้นใยสีขาว (White fiber) ภายในของกล้ามเนื้อ โดยกล้ามเนื้อส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของเส้นใยสีแดงและสีขาวมีเพียงส่วนน้อยที่มีองค์ประกอบของเส้นใยสีขาวหรือสีแดงเพียงอย่างเดียวทั้งหมด ส่วนเนื้อสีเข้มจะมีสัดส่วนของเส้นใยสีแดงสูงเมื่อเทียบกับเนื้อสีขาว สัดส่วนดังกล่าวมีผลต่อความแตกต่าง

ของการเผาผลาญและการทำงานที่สำคัญระหว่างเนื้อสีเข้มและเนื้อสีขาวดังแสดงในตารางที่ 2.1 (Barbut, 2002)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะของเส้นใยสีแดงและสีขาวในกล้ามเนื้อสัตว์ปีก

องค์ประกอบ	ชนิดของเส้นใย	
	เส้นใยสีแดง	เส้นใยสีขาว
ความเข้มข้นของไมโอโกลบิน (Myoglobin concentration)	สูง	ต่ำ
สี (Color)	แดง	ขาว
ความเร็วของการหดตัว (Contraction speed)	ช้า	เร็ว
จำนวนของไมโทคอนเดรีย (Mitochondria number)	มาก	น้อย
ขนาดของไมโทคอนเดรีย (Mitochondria size)	ใหญ่	เล็ก
ระดับไกลโคเจน (Glycogen content)	ต่ำ	สูง
Glycolytic activity	ต่ำ	สูง
ระดับไขมัน (Lipid content)	สูง	ต่ำ
Oxidative metabolism	สูง	ต่ำ
เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (Fiber diameter)	เล็ก	ใหญ่

ที่มา: (Barbut, 2002)

#### 2.1.2.2 โปรตีนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue protein)

เนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีกระจายอยู่ทั่วไปในทุกส่วนของกล้ามเนื้อสัตว์ ทำหน้าที่หุ้มมัดกล้ามเนื้อ (Muscle fiber bundle) และเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fiber) ให้อยู่รวมกันและเชื่อมต่อกันเนื้อเยื่อให้ติดอยู่กับกระดูก ลักษณะเฉพาะของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่พบทั่วไปจะมีเซลล์จำนวน 2-3 เซลล์ และมีสารประกอบภายในเซลล์ในปริมาณที่สูง ซึ่งส่วนที่เป็นส่วนประกอบภายในเซลล์นี้จะมีลักษณะตั้งแต่ นิ่มหยุ่นๆ เหมือนเจลลี่ไปจนถึงแข็งเป็นก้อนเส้นใยแข็ง (Fiber mass) (Kelly และคณะ, 2011)

เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นสารประกอบพวกโปรตีนไม่ละลายน้ำ โปรตีนที่สำคัญพบในเนื้อเยื่อ คือ คอลลาเจน (Collagen) อีลาสติน (Elastin) และเรติคิวลิน (Reticulin) โดยโปรตีนที่พบมากที่สุดคือ คอลลาเจน และอีลาสติน

2.1.2.2.1 คอลลาเจน (Collagen หรือ White connective tissue) เป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีอยู่ในเนื้อสัตว์ที่มีปริมาณมากที่สุด พบมากในเอ็น หนัง กระดูกอ่อน มีลักษณะเป็นเส้นยาว มีขนาดเล็กและหยิกหยอง (Wavy) อยู่เป็นเส้นเดี่ยวหรืออยู่รวมกันหลายเส้นเป็นมัด เช่น เอ็นทำหน้าที่เชื่อมกล้ามเนื้อเข้าด้วยกันกับกระดูก คอลลาเจนเป็นไกลโคโปรตีน เมื่อนำคอลลาเจนไปต้มในน้ำอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส คอลลาเจนจะถูกไฮโดรไลส์ให้เป็นเจลาตินซึ่งละลายน้ำได้ (ชัยณรงค์, 2529)

2.1.2.2.2 อีลาสติน (Elastin หรือ Yellow connective tissue) เป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าคอลลาเจน และถูกแยกออกจากคอลลาเจนได้ง่าย เพราะมีลักษณะคล้ายยาง มีสีเหลือง ยืดหยุ่นได้ พบมากในเอ็นผนังของเส้นเลือดแดง และกล้ามเนื้อ อีลาสตินมีความทนต่อปฏิกิริยาของความร้อน และเอนไซม์เปปซิน อีลาสตินไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ เมื่อถูกทำลาย และไม่สลายตัวหรือแปรสภาพเป็นเจลาติน (ชัยณรงค์, 2529)

2.1.2.2.3 เรติคิวลิน (Reticulin) เป็นโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ประกอบไปด้วยเส้นใยเล็กๆที่อยู่ระหว่างเอนโดไมเซียมกับซาร์โคเลมมา (ชัยณรงค์, 2529)

### 2.1.2.3 โปรตีนซาโรพลาสมิก (Sarcoplasmic protein)

เป็นโปรตีนที่อยู่รอบๆเส้นใยกล้ามเนื้อ มีรูปร่างเป็นก้อนกลม สามารถละลายในน้ำหรือสารละลายเกลือเจือจาง โปรตีนที่สำคัญในกลุ่มนี้คือ โปรตีนที่ทำให้เกิดเม็ดสีในกล้ามเนื้อสัตว์ เช่น ไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบิน และเอนไซม์กลุ่มโปรติเอส (Kelly และคณะ, 2011)

2.1.2.3.1 ไมโอโกลบิน (Myoglobin) เป็นโปรตีนที่ก่อให้เกิดสีแดงในเนื้อสัตว์ ปริมาณของไมโอโกลบินแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของเนื้อสัตว์ ในเนื้อวัวจะมีมาก ในเนื้อไก่จะมีน้อย และปริมาณจะมากตามอายุ เช่น ลูกวัวมีปริมาณ 1-3 มิลลิกรัมต่อเนื้อสด 1 กรัม น้ำหนักโมเลกุลของไมโอโกลบินเท่ากับ 18,000 ดาลตัน ประกอบด้วยสายโซ่โพลีเปปไทด์ 1 เส้น มีกรดอะมิโน 153 เรซิดิว มิวันพียงอ มีฮีม (Heme) เป็น prosthetic group (Kelly และคณะ, 2011)

2.1.2.3.2 เอนไซม์โปรติเอส (Proteases) ที่พบในกล้ามเนื้อ ถ้าแบ่งตาม pH ที่เหมาะสมในการทำงานแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ พวกที่ชอบความเป็นด่าง (Alkaline protease) พวกที่

ชอบความเป็นกลาง (Neutral protease) และพวกที่ชอบความเป็นกรด (Acidic protease) (ชัยณรงค์, 2529)

### 2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่

สัตว์ที่สามารถนำมารับประทานได้ประกอบมวณกล้ามเนื้อประมาณร้อยละ 35-60 ของน้ำหนักตัว (Listrat และคณะ, 2016) ซึ่งองค์ประกอบของกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยน้ำ และ โปรตีน ทั้ง 2 องค์ประกอบเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบหลักที่สำคัญในเนื้อไก่ 100 กรัม

สารอาหาร	จำนวน	หน่วย
น้ำ	74.86	กรัม
โปรตีน	23.20	กรัม
ไขมัน	1.65	กรัม
วิตามินเอ	27.00	หน่วยสากล
วิตามินบี 1 (ไทอะมิน)	0.068	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน)	0.092	มิลลิกรัม
วิตามินบี 3 (ไนอะซิน)	10.604	มิลลิกรัม
แคลเซียม	12.00	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	187.00	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.73	มิลลิกรัม

ที่มา : USDA (2015)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นในอกไก่ 100 กรัม (โปรตีน 20.20 กรัม)

กรดอะมิโน	ปริมาณ	หน่วย
Arginine	1.24	กรัม
Histidine	0.62	กรัม
Isoleucine	0.85	กรัม
Leucine	1.58	กรัม
Lysine	1.59	กรัม
Methionine	0.54	กรัม
Phenylalanine	0.83	กรัม
Threonine	0.89	กรัม
Valine	0.86	กรัม

ที่มา : Kim และคณะ, (2017)

## 2.2 คุณภาพการบริโภคของเนื้อไก่สด

### 2.2.1 สี

สีของเนื้อสัตว์เป็นสิ่งที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ด้วยตาเปล่าและเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค โดยรงควัตถุ (Pigments) ที่สำคัญที่พบในสัตว์ ได้แก่ ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) เป็นรงควัตถุที่พบในเซลล์เม็ดเลือดแดงและไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าและพบในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สีของเนื้อจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุ เพศ วิธีการฆ่า และชิ้นส่วนต่างๆของซาก เช่น เนื้อโคมีปริมาณไมโอโกลบินมากกว่าเนื้อไก่ จึงทำให้เนื้อโคมีสีเข้มมากกว่าเนื้อไก่ เนื่องจากสัตว์ตัวผู้จะมีไมโอโกลบินมากกว่าตัวเมีย นอกจากนี้กล้ามเนื้อของสัตว์บริเวณที่ต้องถูกใช้งาน เช่น เนื้อบริเวณน่องของไก่จะมีไมโอโกลบินมากกว่าเนื้อบริเวณอกทำให้เนื้อที่ได้มีสีเข้มกว่า ในโมเลกุลไมโอโกลบินประกอบด้วยสองส่วนหลักๆ คือส่วนของโปรตีนเรียกว่าโกลบิน (Globin) และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนเรียกว่าฮีม (Heme) โดยจะพบโมเลกุลของเหล็กเป็นองค์ประกอบในกลางโมเลกุลของฮีม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของโปรตีนที่ติดกับฮีมมีผลต่อสถานะของโมเลกุลเหล็ก (เช่น อยู่ในรูปรีดิวซ์หรือออกซิไดซ์) ทำให้ไมโอโกลบินเกิดการเปลี่ยนแปลงและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีเช่นเดียวกับเลือดเมื่อได้รับออกซิเจนจากปอดจะทำให้เลือดมีสีแดง เมื่อเลือดส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อทำให้ไมโอโกลบิน

เปลี่ยนเป็นอยู่ในรูปออกซีไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ทำให้เนื้อมีสีแดงสด ซึ่งสีแดงสดจะพบได้ในเนื้อส่วนขาของไก่ ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Mountney, 1966; Barbut, 2002)

### 2.2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ

ความสามารถในการอุ้มน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อที่มีการบดหรือสับ เช่น ไส้กรอก เนื่องจากโครงสร้างของกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อถูกทำลายทำให้ของเหลวไหลออกจากโปรตีนได้ง่าย โดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ปีกจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 60-80 โดยน้ำจะจับกับโปรตีน และมีโปรตีนประมาณร้อยละ 10-20 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ ไขมัน ร้อยละ 5-35 ซึ่งปริมาณไขมันไม่ได้มีผลทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำดีขึ้น เนื่องจากความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์เกิดจากโปรตีน ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์จะขึ้นอยู่กับชนิดของกล้ามเนื้อก่อนและหลังการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ และกระบวนการแปรรูป ซึ่งค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อโปรตีนมีการเสียสภาพเพิ่มมากขึ้น (Barbut, 2002; Lawrie และ Ledward, 2006)

### 2.2.3 การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม

การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (Cooking loss) นั้นเกิดจากการหดตัวของอาหารระหว่างการหุงต้ม โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักได้แก่ภาวะหลังการเกร็งตัว อายุของสัตว์เพศ วิธีการปรุง เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการหุงต้ม ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มเนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีน ผนังเซลล์ถูกทำลาย เกิดการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อทั้งตามขวางและตามยาว เกิดการเสียสภาพและรวมตัวของซาร์โคพลาสติกโปรตีน และเกิดการหดตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันทำให้ของเหลวภายในไหลออกมามากกว่าเนื้อ โดยมีส่วนของของเหลวที่ไม่ใช่ น้ำไหลปนออกมากับน้ำ ทั้งนี้เพราะการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ไขมันภายในกล้ามเนื้อละลายและไหลปนออกมากับน้ำ ซึ่งเนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพดีนั้นจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มน้อยกว่าเนื้อสัตว์ที่ด้อยคุณภาพ (Mountney, 1966; Lawrie และ Ledward, 2006)

### 2.2.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสเป็นคุณสมบัติสำคัญของเนื้อไก่ที่บ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของวัตถุดิบและประสิทธิภาพในการแปรรูป และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคต่อตัวผลิตภัณฑ์ (Barbut, 2002; Lawrie และ Ledward, 2006) ถ้าเนื้อไก่มีความเหนียวหรือนุ่มมากเกินไปจะไม่ใช่สิ่งที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นการวัดค่าเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่หลังผ่านการแปรรูปจึงเป็นส่วนสำคัญในการควบคุม

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ต้องการ ซึ่งวัดได้หลายวิธี ได้แก่ การฉีก การเจาะ การกด การดึง และการบิด การวัดค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อไก่ในทางการค้าจะนิยมใช้วิธีการฉีกด้วยใบมีด 2 แบบ คือ Warner-Bratzler shear และ Kramer shear จะเป็นใบมีดเดี่ยวใช้ในการตัดกึ่งกลางของเนื้อตัวอย่าง ซึ่งจะได้ค่าแรงที่ใช้ในการฉีกบ่งบอกถึงความแน่นเนื้อหรือความแข็งของเนื้อสัตว์ (Mountney, 1966; Barbut, 2002) ซึ่งค่าความแน่นเนื้อจะเกี่ยวข้องกับ โปรตีนสามกลุ่มในกล้ามเนื้อได้แก่ เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Collagen elastin และ Reticulin) myofibril (Actin myosin และ Tropomyosin) และ sarcoplasm (Sarcoplasmic protein และ Sarcoplasmic reticulum) โดยค่าความแข็งของเนื้อที่วัดได้จะเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนที่เกิดจากการหดตัวของ myofibril ชนิดของกล้ามเนื้อ และอุณหภูมิในการปรุงสุก ที่ส่งผลต่อการเสถียรภาพของโปรตีน (Barbut, 2002; Lawrie และ Ledward, 2006)

### 2.3 กระบวนการซูวีด

การซูวีด (Sous vide) เป็นกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบโดยการบรรจุในสถานะสุญญากาศ ก่อนการให้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิและเวลา การซูวีดเป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการแปรรูปอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณภาพของเนื้อสัตว์ให้มีคุณลักษณะที่ดี เนื้อซูวีดจะมีความนุ่ม ชุ่มฉ่ำน้ำและเนื้อแน่น โดยมีการนำเทคนิคดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและการจัดบริการอาหาร (Pulgar และคณะ, 2012)

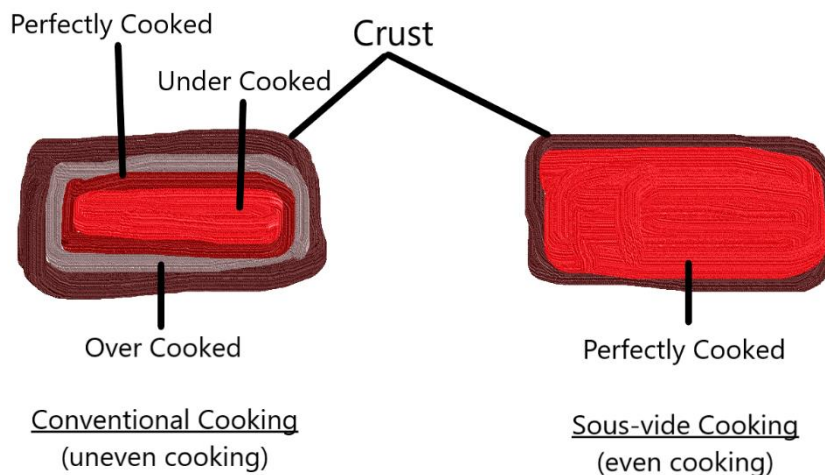
การแปรรูปอาหารด้วยวิธีการซูวีดทำได้โดยนำวัตถุดิบบรรจุลงถุงเพื่อไปเข้าเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศและนำลงไปแช่ในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้โดยเป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก การควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่วัตถุดิบแช่ ให้ความร้อนที่เกิดขึ้นสำหรับกระบวนการซูวีดเป็นความร้อนที่คงที่ และยังส่งผลให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจะค่อยๆ ถ่ายเทสู่วัตถุดิบอย่างช้าๆ อุณหภูมิที่ใช้คือช่วงอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส วัตถุดิบที่ใช้สามารถเป็นได้ทั้งผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ประเภทต่างๆ อาทิ หมู วัว แกะ แพะ ไก่ และปลา เป็นต้น

การซูวีดจะทำให้วัตถุดิบสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยและยังคงรักษากลิ่นรสและความชุ่มฉ่ำได้ดีเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนโดยไม่บรรจุถุงสุญญากาศ เนื่องจากการแปรรูปอาหารด้วยวิธีทั่วไป เช่น การทอด การอบ การย่าง เป็นการให้ความร้อนที่รุนแรงและใช้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำที่อยู่ในเนื้อปริมาณมาก โดยน้ำที่ออกจากอาหารอยู่ในรูปของเหลว (กรณี

การต้ม ทอด) หรือไอน้ำ (กรณีการอบ ย่าง) ส่งผลโดยตรงต่อความชุ่มฉ่ำของวัตถุดิบ การทำอาหารด้วยวิธีชูวิดจะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับวัตถุดิบนั้นๆ โดยจะแช่น้ำจนกว่าอุณหภูมิจะเข้าถึงส่วนในสุดของวัตถุดิบหรือจุดกึ่งกลางของวัตถุดิบ ในการทำอาหารวิธีนี้จะไม่ทำให้เกิดควันเกิดขึ้น จึงทำให้กักเก็บความชุ่มฉ่ำของวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ได้มาก

การนำเทคนิคชูวิดไปปรับปรุงคุณภาพเนื้อ เนื่องจากการทำชูวิดทำโดยนำวัตถุดิบที่หมักหรือปรุงรสแล้วบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศและนำไปแช่ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยอุณหภูมิและระยะเวลาจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ไม่ว่าจะเป็นประเภทของวัตถุดิบขึ้นส่วนบริเวณต่างๆ เป็นต้น ซึ่งจะมีอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการชูวิดที่แตกต่างกันไป วิธีการทำชูวิดนี้ถูกพัฒนามาเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมอาหารประเภทการจัดและบริการอาหาร (Catering Industry) ซึ่งจะช่วยปรับสภาพให้เหมาะสมสำหรับการเตรียมอาหารหลังจากกระบวนการให้ความร้อน โดยไม่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ทำให้ปัจจุบันเชฟในระดับภัตตาคารชั้นนำหลายคนใช้กระบวนการชูวิดในการจัดเตรียมอาหารในการจัดเลี้ยง เพราะว่ามีความสะดวกและเหมาะสมที่จะจัดการเตรียมอาหาร แต่ในการทำชูวิดของเชฟโดยส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิที่ต่ำและระยะเวลานาน

การชูวิดจะทำให้วัตถุดิบสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยและยังคงรักษากลิ่นรสและความชุ่มฉ่ำได้ดีเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนโดยไม่บรรจุสุญญากาศ เนื่องจากการแปรรูปอาหารด้วยวิธีทั่วไป เช่น การทอด การอบ การย่าง เป็นการให้ความร้อนที่รุนแรงและใช้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำที่อยู่ในเนื้อปริมาณมาก นอกจากจะได้สารอาหารมากกว่าวิธีการทำอาหารปกติแล้ว วัตถุดิบที่เมื่อถูกควบคุมอุณหภูมิที่คงที่ จะทำให้วัตถุดิบสุกพอดีกันทั่วทั้งชิ้นจากผิวหนังนอกสู่ด้านในจนถึงกึ่งกลางของวัตถุดิบ ซึ่งจะแตกต่างจากการทำอาหารวิธีต่างๆ ที่เมื่อใช้ความร้อนสูงมากเกินไปจะส่งผลทำให้วัตถุดิบบริเวณรอบนอกหรือผิวหนังจะแห้งและแข็ง แต่ด้านในสุกพอดีหรือด้านนอกจะสุกพอดีแต่ด้านในยังไม่สุก (ภาพที่2.3) ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร ในระดับอุตสาหกรรมอาจส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งการชูวิดจะทำให้ชิ้นเนื้อสุกสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น



ภาพที่ 2.3 ภาพตัดขวางเนื้อสเต็กที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบทั่วไป และแบบซูวีด

คัดแปลง: Haris and Asif (2019)

## 2.4 การใช้ความดันในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การใช้ความดัน หมายถึง การทำให้อาหารได้รับความดันตั้งแต่ ระดับความดันต่ำเพียงเล็กน้อยจนถึง 1000 MPa ที่อุณหภูมิห้อง โดยอาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากความดัน เวลาที่ใช้ในการทำกระบวนการใช้ความดันสั้นมากคืออยู่ในช่วง 2-30 นาที ทำให้อาหารที่ผ่านการผลิตด้วยกระบวนการนี้มีคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมและเป็นสถานะที่ส่งผลต่อการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในบางชนิด จึงเป็นที่คาดหวังว่าเทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวางกับผลิตภัณฑ์อาหารแช่เย็นและแช่เยือกแข็ง เช่น หอย ปลาดิบ ซูชิ นอกจากนี้อาจจะใช้การเพิ่มระดับของความดันทดแทนการใช้วัตถุเจือปนอาหาร หรือการใช้ความร้อนสูงเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ และอาหาร

### 2.4.1 ผลของกระบวนการใช้ความดันต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบอาหาร

2.4.1.1 ผลต่อจุลินทรีย์ การทำลายจุลินทรีย์เนื่องจากความดัน เป็นผลรวมของการทำลายพันธะที่ไม่ใช่โคเวเลนต์ และทำลายเซลล์เมมเบรน โดยทั่วไปแบคทีเรียแกรมบวกทนทานต่อความดันได้มากกว่าแกรมลบ สปอร์ทนทานต่อความดันมากกว่าเซลล์ปกติ เซลล์ที่อยู่ในช่วง stationary phase ทนต่อความดันมากกว่า exponential phase และเซลล์ที่อยู่ใน enriched medium ทนทานต่อ

ความดันมากกว่าในน้ำเกลือสภาวะในการให้ความดันที่แตกต่างกันให้ผลเช่นเดียวกันได้ เช่น ความดัน 400 MPa 10 นาที ให้ผลเช่นเดียวกับการใช้ความดัน 900 MPa 5 นาที จึงอาจเป็นทางเลือกในการพิจารณาถึงการลงทุนในเครื่องมือ นอกจากนั้นประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยความดันยังขึ้นอยู่กับค่า pH และ  $A_w$

2.4.1.2 ผลต่อเอนไซม์ กระบวนการใช้ความดันมีผลต่อทั้งการเพิ่มหรือลดกิจกรรมของเอนไซม์ ภายใต้ความดันมาก กิจกรรมของเอนไซม์ถูกยับยั้งเกือบทั้งหมดเนื่องจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนซึ่งอาจผันกลับได้อย่างช้า ๆ เมื่อใช้ความดัน 100-400 MPa ความดันยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและการรวมของหน่วยย่อยเอนไซม์ ขณะที่ความดันไม่สูงมากประมาณ 100 MPa ไปส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิด ความดันส่งเสริมปฏิกิริยา partial proteolysis ที่ความดัน pH ชนิดของโปรตีน และช่วงเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น กลิ่นของโปรตีนบางชนิดลดลง สีของเฮโมโกลบินในเนื้อสัตว์จางลงและการละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้น

2.4.1.3 ผลต่อปฏิกิริยาเคมี กระบวนการใช้ความดันลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่สภาวะความเป็นกรด โดยความดันไปกีดการเกิดอนุมูลอิสระจากขั้นตอนการเกิดเมลานอยดิน (Melanoidin) ขณะที่ความดันเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่มีความชื้นต่ำ แต่ถ้ามีความชื้นสูงความดันอาจยับยั้งปฏิกิริยาดังกล่าว

2.4.1.4 ผลต่อโปรตีน กระบวนการใช้ความดันเปลี่ยนสภาพธรรมชาติของโปรตีนโดยเกิดในโครงสร้างทุติยภูมิและโครงสร้างตติยภูมิ ซึ่งโครงสร้างทั้งสองมีเสถียรภาพด้วยพันธะที่ไม่ใช่โคเวเลนต์ โปรตีนที่ได้รับความดันพอเหมาะทำให้เกิดการคลายตัวบางส่วนหรือสมบูรณ์ ก่อให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนเกิดพอลิเมอร์ของไอโอซิน บางครั้งก่อให้เกิดการตกตะกอน (Precipitation) หรือ เกิดการสร้างเจลโดยการรวมกลุ่มของโปรตีน (Aggregation) ในโครงข่ายเจลขึ้นอยู่กับสภาวะทางกายภาพหรือทางเคมีขณะนั้น กระบวนการใช้ความดันยังช่วงเพิ่มความแข็งแรงของการจับตัวกันของชิ้นเนื้อโปรตีน โดยทั่วไปความดันกว่า 300 MPa ทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนแบบผันกลับไม่ได้ที่อุณหภูมิห้องขณะที่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดังกล่าวที่ความดันผันกลับได้

กระบวนการใช้ความดันมีผลต่อการสูญเสียสภาพธรรมชาติทั้งของโปรตีนซาร์โคพลาสมิก และไมโอไฟบริลลาในกล้ามเนื้อ ส่งผลต่อสีของกล้ามเนื้อ และสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน เนื้อปลาที่ได้รับความดันมีลักษณะคล้ายปลาสุกเนื่องจากการจับเป็นก้อนของโปรตีน (Coagulation) ปรากฏเป็นสีเหลืองอมขาว ขุ่นทึบแสง ขณะที่กระบวนการใช้ความดันทำให้สีแดงในเนื้อวัวลดลง เนื่องจากการที่ฮีโมโกลบินปลดปล่อยออกมา และเกิดจากสาร ferrous myoglobin ถูกออกซิไดซ์ไปเป็น ferric metmyoglobin

## 2.5 อิเล็กโทรโฟรีซิส

อิเล็กโทรโฟรีซิส (Electrophoresis) เป็นเทคนิคที่ใช้แยกสารที่มีประจุออกจากกัน โดยการใช้กระแสไฟฟ้า เช่น กรดอะมิโนโปรตีน เป็นต้น อิเล็กโทรโฟรีซิสเป็นขบวนการใช้สนามไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มีประจุ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลต่างชนิดกันจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของโมเลกุล และระบบที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งโปรตีนเป็นสารที่มีประจุ เกิดจากการแตกตัวของหมู่-R หมู่อะมิโน และหมู่คาร์บอกซิลที่ปลายสายพอลิเพปไทด์ จากการแตกตัวของหมู่ต่างๆดังกล่าวจะทำให้ประจุรวมของโปรตีนเป็นบวก ลบ หรือเป็นกลาง ขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายที่ใช้ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลาย โปรตีนที่มีประจุบวกจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ ส่วน โปรตีนที่มีประจุลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก

อย่างไรก็ตามในการแยกสารชีวโมเลกุลโดยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส ส่วนใหญ่ทำโดยใช้เจลเป็นตัวกลาง เจลที่ใช้เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ (Polymer) ตัวอย่างเช่น อะกาโรส (Agarose) และพอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) เป็นต้น ซึ่งการแยกโปรตีนโดยใช้กระแสไฟฟ้าหรือที่เรียกว่าอิเล็กโทรโฟรีซิส นิยมใช้ เจลพอลิอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide gel) โดยเจลพอลิอะคริลาไมด์เตรียมได้จาก ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) แบบสายตรงของอะคริลาไมด์ (Acrylamide) และแบบระหว่างสาย (Cross-link) โดยใช้ เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ (Methylenebisacrylamide) ซึ่งเจลที่ได้จากเจลพอลิเมอไรเซชัน จะเป็นแผ่นบาง และมีรูพรุน โดยขนาดของรูพรุนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอะคริลาไมด์ และเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ ที่ใช้การเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันทำได้ โดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งนิยมใช้ N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine (TEMED) ซึ่งจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) ของซัลเฟต จากแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตที่เติมลงไป ในสารละลายเจล

โปรตีนแต่ละชนิดมีประจุสุทธิต่างกัน และมีโครงสร้างต่างกัน ทำให้การเคลื่อนที่ของโปรตีน แตกต่างกันด้วย เมื่อมีการต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า ดังนั้นประจุของโปรตีนจึงมีผลต่อการเคลื่อนที่บนเจล การแยกโปรตีนจึงมักทำในสภาพที่โปรตีนถูกทำให้เสียสภาพ (Denaturing condition) โดยการเติม sodium dodecyl sulfate (SDS) ลงในบัฟเฟอร์ โดย SDS จะจับกับกรดอะมิโนในโปรตีน ในอัตราส่วนของ 1 โมเลกุลของ SDS ต่อกรดอะมิโน 2 ตัวโดยประมาณ จึงเรียกวิธีวิเคราะห์นี้ว่า SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) ดังนั้น โครงสร้างจตุรภูมิ ทูติยภูมิและตติยภูมิ ของโปรตีนจะถูกทำลาย เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน SDS-พอลิเปปไทด์ (SDS-polypeptide complex) ซึ่งมีรูปร่างเป็นแท่ง (Rod shape) เนื่องจากสายโซ่พอลิเปปไทด์จะคลายการม้วนออกเป็นสายยาว เมื่อถูกจับด้วย SDS และประจุลบของ SDS จะทำให้ประจุสุทธิบนโปรตีนเป็นลบ จึงทำให้โปรตีนเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันคือ เคลื่อนที่เข้าหาขั้วทางขั้วบวก (Anode) ดังนั้นการแยกโปรตีนบนเจลจะขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุลโปรตีน โดยไม่มีผลของประจุและรูปร่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถนำเทคนิค SDS-PAGE มาใช้ในการหามวลโมเลกุลของโปรตีนและพอลิเปปไทด์ โดยประมาณได้ โดยแสดงช่วงของมวลโมเลกุลของโปรตีนที่เหมาะสมต่อความเข้มข้นของอะครีลาไมด์ดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** ช่วงของโปรตีนที่ต้องการแยกโดยใช้พอลิอะครีลาไมด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของอะครีลาไมด์ (%w/v)	ช่วงการแยกโปรตีน (kDa)
3.5	-
5.0	>1000
8.0	300-1000
12.0	50-300
15.0	10-80
20.0	5-30

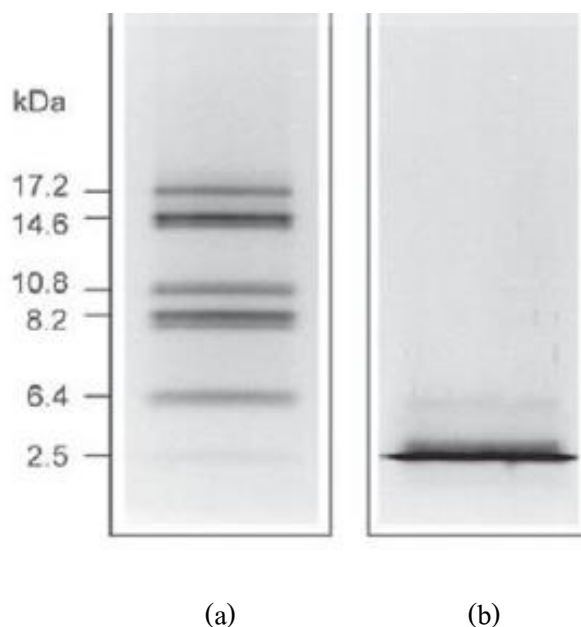
ที่มา : Sheehan (2000)

สำหรับการแยกโปรตีนด้วยกระแสไฟฟ้าจะกระทำภายใต้ระบบที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous system) เพื่อให้มีความคมชัดของแถบโปรตีนดีขึ้น วิธีนี้ประกอบด้วยเจล 2 ช่วง ได้แก่ ช่วง stacking gel และ running gel กล่าวคือ

Stacking gel หรือ spacer gel เป็นเจลช่วงบน มี pH 6.9 ซึ่งใน stacking gel จะประกอบไปด้วย สารละลายบัฟเฟอร์ Tris-HCl (Tris มีค่า  $pK_a$  เท่ากับ 8.3 ที่ 20 องศาเซลเซียส) และมีความเข้มข้นของ polyacrylamide ต่ำ (ร้อยละ 4) ionic strength ต่ำ และมี pH ที่เป็นกลาง จากการที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จึงเป็นเหตุให้โมเลกุลของสารเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งจะถูกบีบให้ band แคบลง

Running gel หรือ separating gel เป็นเจลช่วงล่าง มี pH ประมาณ 8-9 ซึ่ง running gel จะมีความเข้มข้นของ polyacrylamide สูง (ร้อยละ 8-20) มี ionic strength สูง และมี pH ที่แตกต่าง จึงเป็นเหตุให้โมเลกุลของสารเคลื่อนที่ได้ช้าลง เนื่องจากความเป็นรูพรุนเล็กลง และจะทำให้เกิดการแยกกันของโปรตีน ตัวอย่างเป็นแถบตามขนาดและปริมาณของประจุ

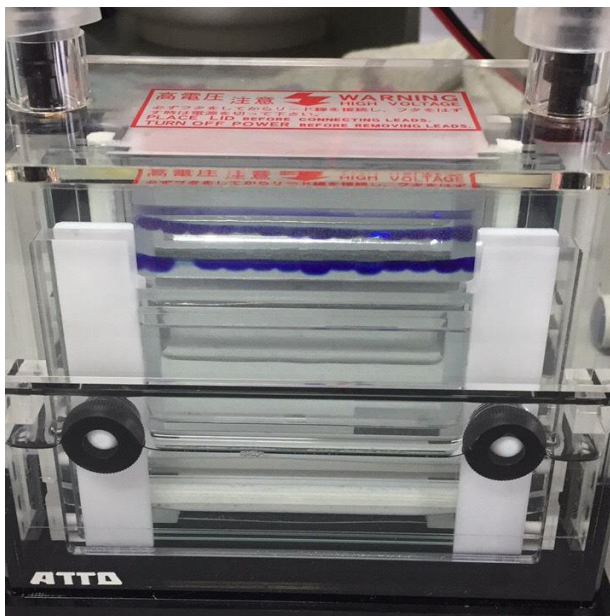
องค์ประกอบของ separating gel และ stacking gel สำหรับทำ SDS-PAGE 1 แผ่น ที่ใช้สำหรับการแยกโปรตีนอยู่ในระหว่างช่วง 1 ถึง 100 kDa โดยบัฟเฟอร์ที่นิยมใช้ในการแยกโปรตีนด้วยกระแสไฟฟ้าคือ Tris-HCl (Tris hydroxyl methyl) aminomethane ซึ่งมีส่วนผสมของ ไทรซีน (tricine) หรือ ไกลซีน (glycine) อยู่ด้วย กรณีที่มีส่วนผสมของ ไทรซีนจะเรียกวิธีการแยกโปรตีนแบบนี้ว่า tricine-SDS-PAGE สามารถใช้ในการแยกโปรตีนหรือพอลิเปปไทด์ที่มีขนาดเล็ก (1-100 kDa) ได้ดีกว่าวิธี glycine-SDS-PAGE และใช้เปอร์เซ็นต์ของอะคริลาไมด์ที่ต่ำกว่าวิธี glycine-SDS-PAGE เนื่องจากค่า และ  $pK_a$  ที่แตกต่างของ functional group ซึ่ง tricine จะอยู่ในรูป zwitterionic acid ในช่วง pH 7.4-8.8 ทำให้การเคลื่อนที่ของ trailing ion ของ glycine และของ tricine แตกต่างกัน และเนื่องจาก tricine มีประจุลบที่ต่ำกว่าและมี ionic strength ที่สูงกว่า glycine จึงสามารถเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกได้เร็วกว่าดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การแยกโปรตีนมาตรฐาน โดยวิธี (a) tricine-SDS-PAGE, (b) glycine-SDS-PAGE

ที่มา: Shangger และ Jagow (1987)

ซึ่งการประกอบเจลเข้ากับอุปกรณ์ จะทำโดยการเตรียมสารละลายเจลในบัฟเฟอร์แล้วเทลงระหว่างกระจกสองแผ่นซึ่งมีแผ่นกั้น (Spacer) วางระหว่างกระจกทั้งสอง ความหนาของเจลจะขึ้นกับความหนาของแผ่นกั้นที่ใช้ จากนั้นจึงใส่หวี (Comb) เพื่อให้เกิดช่องว่างสำหรับใส่สารตัวอย่าง (Well) หลังเจลแข็งตัวแล้ว ซึ่งการแข็งตัวของเจลใช้เวลาประมาณ 30-60 นาที แล้วจึงประกอบเจลเข้ากับอุปกรณ์ (Gel electrophoresis apparatus) ขอบด้านบนของเจลจะจมอยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เรียกว่า cathode buffer ซึ่งอยู่ในภาชนะ (Chamber) ที่ต่อเข้ากับขั้วลบ (Cathode) ส่วนขอบด้านล่างของเจลจะจมอยู่ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เรียกว่า anode buffer ซึ่งต่อเข้ากับขั้วบวก (Anode) เมื่อประกอบอุปกรณ์ดังภาพที่ 2.5 แล้วจึงต่อขั้วทั้งสองเข้ากับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะมีทิศทางจากบนลงล่าง



ภาพที่ 2.5 การเติมบัฟเฟอร์ที่ขั้วบวก-ขั้วลบ

สารผสมที่ต้องการแยกและหามวลโมเลกุลต้องถูกทำให้เสียสภาพธรรมชาติ โดยให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 3 นาทีใน loading buffer ที่มี SDS ปริมาณมากเกินไป และมีตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) ซึ่งจะทำให้เกิดการสลายพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bonds) ในโปรตีน ทำให้พันธะไดซัลไฟด์แยกออกจากกันโดยเปลี่ยนเป็นหมู่ sulfhydryl (SH) พันธะไดซัลไฟด์จะเกิดจากการจับกันของ cysteine ในโปรตีน ซึ่ง reducing agent ที่นิยมใช้ในการสลายพันธะไดซัลไฟด์คือ 2-mercaptoethanol และ dithiothreitol (DTT)

หลังจากให้ความร้อนสารตัวอย่างโปรตีนแล้ว ต้องปล่อยให้สารตัวอย่างเย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ แต่ถ้ายังไม่ต้องการวิเคราะห์ทันทีให้เก็บสารตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งโปรตีน หรือพอลิเพปไทด์ที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนของเจลได้ดีกว่าโมเลกุลขนาดใหญ่จึงเคลื่อนที่ในระยะทางที่มากกว่าโมเลกุลขนาดใหญ่ในเวลาเท่ากัน โดยสามารถใช้แยกโปรตีนที่มีปริมาณน้อยได้ถึง 0.1  $\mu\text{g}$  และแยกโปรตีนที่มีมวลโมเลกุลต่างกันเพียงร้อยละ 2 ได้

เมื่อเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่ต้องการบนเจลแล้วเป็นการสิ้นสุดการทำอิเล็กโทรโฟรีซิส (โดยการปิดเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า) จากนั้นจึงนำเจลมาทำการย้อมสีเพื่อดูแถบของโปรตีน สีย้อม (Dye) ที่นิยมใช้คือ coomassie blue ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่จะถูกย้อมด้วยสีย้อมชนิดนี้ การย้อมด้วย

coomassie blue จะต้องใช้ตัวกลางที่เป็นกรดเพื่อให้เกิดแรงทางไฟฟ้า (Electrostatic force) ระหว่างโมเลกุลของสีเชื่อมกับหมู่แอมโมเนียมไอออน  $\text{NH}_3^+$  ของโปรตีน

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pulgar และคณะ (2012) ได้ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ในระหว่างกระบวนการชวีดิที่มีต่อคุณภาพของเนื้อในลักษณะต่างๆ ทั้งกายภาพและเคมี โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการชวีดิได้แก่ อุณหภูมิที่ 60 และ 80 องศาเซลเซียส เวลาที่ 5 และ 12 ชั่วโมง และการบรรจุ (บรรจุแบบสุญญากาศ และบรรจุแบบมีอากาศ) ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีบทบาทสำคัญเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อการสูญเสีย น้ำ สี และคุณสมบัติของเนื้อสัตว์ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการชวีดิ การชวีดิที่ระยะเวลายาวนานมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งลดลง มีผลต่อการสูญเสีย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและสูญเสียสีไปอีกด้วย

Choi และคณะ (2016) ได้ศึกษาว่าการประยุกต์ใช้ความดันในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยการใช้ความดันร่วมกับการแช่เยือกแข็ง โดยนำเนื้อวัวมาผ่านเงื่อนไขที่ความดัน 0.1 MPa เป็นเวลา 17.3 นาที (ส่วนควบคุม) ที่ความดัน 50 MPa เป็นเวลา 39.9 นาที ที่ความดัน 100 MPa เป็นเวลา 48.2 นาที ที่ความดัน 150 MPa เป็นเวลา 72.4 นาที และที่ความดัน 200 MPa เป็นเวลา 114.4 นาที พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในด้านคุณภาพของเนื้อในเคมีและกายภาพเช่นกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH เมื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้นและเก็บไว้ที่อุณหภูมิที่ต่ำลง โดยค่า pH มีค่าเพิ่มสูงขึ้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ดังนั้นเนื้อจึงมีสีที่เข้มขึ้นและซีดจางลงแปรผันไปตามความดันและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป และพบว่าโครงสร้างของกล้ามเนื้อเกิดการเสียหายในช่วงของการให้แรงดันน้อยจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างมัดเส้นใยของกล้ามเนื้อส่งผลให้เนื้อวัวมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มลงแต่จะมีโครงสร้างที่แน่นขึ้นเมื่อมีการให้ระดับของความดันที่สูงขึ้น

Botinestean และคณะ (2016) ศึกษาผลของการใช้กระบวนการให้การแช่แข็งร่วมกับกระบวนการชวีดิต่อคุณลักษณะต่างๆ ทั้งกายภาพและเคมี โดยกระบวนการที่ใช้ร่วมคือการนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง และนำไปแปรรูปแบบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิถึงกลางของเนื้อมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า การชวีดิกับการนำไปแช่แข็งก่อนการชวีดิ ทำให้เนื้อมีความนุ่มและมีเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมสำหรับผู้บริโภคกลุ่มผู้สูงอายุ

Khan และคณะ (2014) ปรับปรุงคุณภาพของเนื้อส่วนอกของเป็ด โดยการใช้ความดันและการใช้ความร้อน โดยการนำเนื้อส่วนอกของเป็ดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95.99 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปให้ความดันที่ 200 เมกะปาสคาล อุณหภูมิ 20.25 องศาเซลเซียส นาน 156 นาที พบว่า การใช้ความดัน อุณหภูมิต่ำในการแปรรูป ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการแปรรูปลดลง มีความสว่างและความเป็นสีเหลืองสูงขึ้น สีแดงลดลง นอกจากนี้พบว่า การใช้ความดันส่งผลให้โปรตีนไมโอซินและแอกตินเกิดการเสียสภาพ แต่โปรตีน connective tissue ยังคงอยู่

Choi และคณะ (2016) ศึกษาการประยุกต์ใช้ความดันในกระบวนการแปรรูปอาหารร่วมกับการแช่เยือกแข็ง พบว่าเมื่อนำเนื้อหมูมาเก็บรักษาภายใต้ความดันร่วมกับควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำโดยนำเนื้อมาผ่านการใช้ความดัน 0.1 Mpa เป็นเวลา 17.3 นาที เปรียบเทียบกับการใช้สภาวะต่างๆ 4 สภาวะ ได้แก่ ที่ความดัน 50 MPa เป็นเวลา 39.9 นาที ที่ความดัน 100 MPa เป็นเวลา 48.2 นาที ที่ความดัน 150 MPa เป็นเวลา 72.4 นาที และ ที่ความดัน 200 MPa เป็นเวลา 114.4 นาที พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในด้านคุณภาพของเนื้อ ในกระบวนการให้ความดันร่วมกับการแช่เยือกแข็ง (PSF) ให้ความดันกว่า 150 MPa แสดงให้เห็นถึงความสูญเสียความชื้น และการเปลี่ยนของสีสูงขึ้น ในขณะที่ PSF ที่ 50 MPa ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการแช่แข็งในชั้นบรรยากาศ (0.1 MPa) และพบว่าไม่แตกต่างจากการควบคุมหลังจากละลาย ผลการทดลองพบว่า PSF ที่ 100 MPa มีศักยภาพในการแช่แข็งที่รวดเร็วโดยไม่ทำให้คุณภาพของเนื้อสัตว์มีคุณภาพลดลง

Haibo Zheng และคณะ (2015) วิจัยเกี่ยวกับผลของค่าเนื้อสัมผัสและค่าการอุ้มน้ำในกระบวนการให้ความดันร่วมกับอุณหภูมิต่อแบคทีเรียของเนื้อไก่ พบว่าเมื่อมีการให้ความร้อนร่วมกับความดันทำให้ค่าการอุ้มน้ำของแบคทีเรียไก่อดีขึ้นเมื่อเทียบกับไม่มีการให้ความดัน แต่เมื่อมีการเพิ่มความดันเป็น 200 MPa ที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่ามีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น และมีการอุ้มน้ำน้อยลง

Alberto Grossi และคณะ (2015) ได้วิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของการให้ความดันต่อโปรตีน myofibrillar โดยให้ความดันที่ 200, 400, 600 หรือ 800 MPa เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 5 หรือ 20 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าที่ความดัน 400 MPa จัดเป็นเกณฑ์สำหรับการสูญเสียความสามารถในการละลายของโปรตีน เนื่องจาก myosin และ actin สูญเสียความสามารถในการละลายตัวเองทำให้เกิดการรวมตัวกัน ผลจากการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างๆทำให้เกิดการ

รวมตัวกันโดยพันธะไฮโดรเจน และทำลายพันธะhydrophobic interactions และ disulphide cross-links นอกจากนี้โปรตีนที่ละลายน้ำได้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ 200 MPa และสูญเสียฟังก์ชันดั้งเดิม การเปลี่ยนแปลงของโปรตีนเมื่อได้รับความดันส่งผลต่อการยึดเกาะของโปรตีน myofibrillar และคุณสมบัติการอุ้มน้ำอีกด้วย

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัสดุดิบ

เนื้อไก่ส่วนอกติดหนัง ไม่มีกระดูก กำหนดน้ำหนักของชิ้นเนื้อประมาณ 200-250 กรัมต่อชิ้น ที่ถูกฆ่าและ ตัดแต่งชิ้นส่วน และบรรจุในถุงพลาสติก จากบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน สาขามีนบุรี กรุงเทพมหานคร บรรจุลงในโฟมที่มีน้ำแข็งสำหรับควบคุมอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เพื่อขนส่งมายังสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้เวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง นับจากออกจากโรงงาน

#### 3.2 อุปกรณ์

3.2.1 ชุดอุปกรณ์ชุดวัดร่วมกับความดัน ประกอบด้วย

1) หม้อความดัน

2) ปืน

(XM-2525, PUMA, Taiwan)

3) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

(WNB 7-45, Memmert, Germany)

3.2.2 เครื่องหมุนเหวี่ยง

(5804r, Eppendorf, Germany)

3.2.3 เครื่องบรรจุสุญญากาศ

DZ-500

3.2.4 Thermocouple

(UN-305A, UNION, China)

3.2.5 เครื่องวัดสี

(Chroma meter CR-400, Konica Minolta, Japan)

3.2.6 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

(TA.XT plus, Stable Micro Systems, England)

3.2.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง

Pioneer, USA

3.2.8 Slap gel electrophoresis apparatus

(AE-6500, ATTO, Japan)

3.2.9 Power supply (Check)

(AE-8135, ATTO, Japan)

3.2.10 เครื่องแก้ว

3.2.11 เครื่องครัว

#### 3.3 สารเคมี

3.3.1 Copper Sulfate ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

(Sigma, USA)

3.3.2 Molecular Weight Marker (10-210 kDa)

(Merck, Germany)

3.3.3 Sodium Hydroxide (NaOH)

(Sigma, USA)

3.3.4 Tris-HCl 0.5 M pH 6.8

(Merck, Germany)

3.3.5 Bromophenol blue 0.3 %	(Merck, Germany)
3.3.6 Glycerol 20 %	(Merck, Germany)
3.3.7 Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)	(Merck, Germany)
3.3.8 $\beta$ -Mercaptoethanol	(Merck, Germany)
3.3.9 Acrylamide -bis(CH <sub>2</sub> CHCON·H <sub>2</sub> ) (29.1:0.9)	(Merck, Germany)
3.3.10 Tris-HCl 1.5 M pH 8.8	(Merck, Germany)
3.3.11 Ammonium Persulfate (APS) 10%	(Merck, Germany)
3.3.12 N,N,N,N – Tetramethyl Ethylenediamine (TEMED)	(Sigma, China)
3.3.13 Glycine (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> )	(Sigma, USA)
3.3.14 Coom Assie Brilliant Blue R-250	(Merck, Germany)
3.3.15 Methanol	(Sigma, USA)
3.3.16 Acetic acid	(Merck, Germany)
3.3.17 Sodium Potassium Tartarate (NaK <sub>2</sub> C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> )	(Merck, Germany)
3.3.18 Bovine Serum Albumin (BSA)	(Sigma, USA)

### 3.4 การทดลอง

#### 3.4.1 การเตรียมวัตถุติด

เนื้ออกไก่จากข้อ 3.1 นำมาตัดแต่งเอาหนัง ไขมัน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รอบนอกของเนื้ออกไก่ออก หั่นชิ้นเนื้อตามขวางของเส้นใยกล้ามเนื้อ ตัดเนื้อไก่ชิ้นส่วนนอกให้มีขนาดของชิ้นเนื้อ กว้าง× ยาว ×หนา เท่ากับ 5 ×10× 2.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร กำหนดให้แต่ละชิ้นมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 75-80 กรัมต่อชิ้นตามภาพที่ 3.1 จากนั้นบรรจุตัวอย่างลงในถุง Laminate low density polyethylene (LLDPE) และนำไปปิดผนึกแบบสุญญากาศ ตัวอย่างจะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-7 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 24 ชั่วโมง จากวันที่รับวัตถุดิบจากบริษัท เพื่อการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี ระหว่างกระบวนการชำรุดร่วมกับความดันต่อไป (ตัดแปลงจาก Khan และคณะ, 2014)



ภาพที่ 3.1 เนื้ออกไก่

### 3.4.2 การศึกษาผลของความดัน และเวลาที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของอกไก่ชุวิต

นำตัวอย่างจากข้อ 3.4.1 มาใส่ลงในชุดอุปกรณ์ชุวิตร่วมกับความดัน กำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ ความดัน 3 ระดับ ได้แก่ ความดันบรรยากาศ ความดัน 2 และ 3 บาร์ ระยะเวลา 12 ช่วงเวลา ระหว่าง 0 ถึง 6 ชั่วโมง กำหนดการให้ความร้อนในการชุวิตที่ 60 องศาเซลเซียส และเริ่มนับเวลาแต่ละสภาวะเมื่อความดันถึงจุดที่กำหนดไว้ ตัดแปลงวิธีการจาก Khan และคณะ (2014) หลังเสร็จกระบวนการชุวิตร่วมกับความดัน นำถุงตัวอย่างไปแช่ในถังน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิที่ 4-7 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เพื่อป้องกันการได้รับความร้อนสะสมเนื่องจากกระบวนการชุวิตร่วมกับความดัน จากนั้นนำอกไก่ที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ โดยเริ่มจากวิธีการตรวจสอบที่ไม่ทำลายตัวอย่างก่อน ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชุวิต จากนั้นจะแบ่งชิ้นเนื้อออกเป็น 3 ส่วน ดังภาพที่ 3.2 ชิ้นด้านซ้าย (สีแดง) นำไปวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำ ชิ้นกึ่งกลาง (สีเหลือง) นำไปวัดสี ถ่ายภาพ และลักษณะของเนื้อสัมผัส และชิ้นด้านขวา (สีเขียว) นำไปวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.2 อกไก่ที่ผ่านกระบวนการชุวิตร่วมกับความดัน

### 3.4.2.1 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิด (Sous vide loss, %)

นำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดันไปชั่งน้ำหนัก และนำมาคำนวณค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิด ดังสมการที่ (3.1) (ดัดแปลงวิธีการจาก Bethany และคณะ, 2012) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง

$$\% \text{ sous-vide loss} = \frac{W_2 - W_1}{W_2} \times 100 \quad (3.1)$$

โดย  $W_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน (กรัม)

### 3.4.2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, %)

นำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน มาสับให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม ท่อด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 110 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุลงในหลอดพลาสติกสำหรับหมูนเหวียง นำไปหมูนเหวียงที่ความเร็วรอบ 9,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กำหนดอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังการหมูนเหวียงนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณความสามารถในการอุ้มน้ำ จากสมการที่ 2 (ดัดแปลงวิธีการจาก Zheng และคณะ, 1988) แสดงผลเป็นค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ของเนื้ออกไก่ในแต่ละชิ้น ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง

$$\% \text{ WHC} = \frac{(W_{bs} - W_{fs})}{W_{bs}} \times 100 \quad (3.2)$$

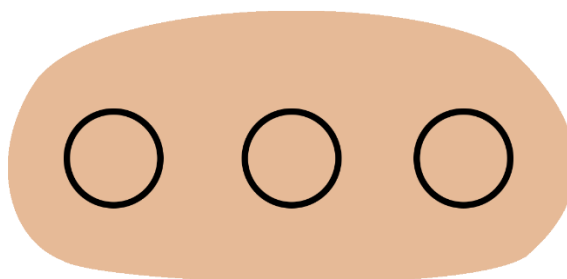
โดย  $W_{bs}$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนหมูนเหวียง (กรัม)

$W_{fs}$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังหมูนเหวียง (กรัม)

### 3.4.2.3 ค่าสี ( $L^*$ , $a^*$ )

นำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Chroma meter CR-400 โดยวัดด้านในของชิ้น กำหนดตำแหน่งในการวัด 3 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.3 รายงานค่าสีในระบบ hunter lab ประกอบด้วย ค่าสี  $L^*$  เป็นค่าความสว่าง (lightness) ค่าสี  $a^*$  เป็นค่าสีแดง/สีเขียว

(redness/greenness) (ดัดแปลงวิธีการจาก Young และ West, 2001) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง



ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งการวัดสีของชิ้นกึ่งกลาง (ภาพตัดขวางเส้นใยกล้ามเนื้อ)

#### 3.4.2.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture, N)

นำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน หั่นให้เป็นสี่เหลี่ยม มีขนาดกว้าง × ยาว × หนา เท่ากับ  $1.5 \times 1.5 \times 1.5$  เซนติเมตร นำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส TA.XT plus วางตัวอย่างในการทดสอบให้หัววัดอยู่ในแนวตัดขวางเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยใช้หัววัดแบบ P/50 กำหนดให้ความเร็วในการวัด (test speed) 2 mm/s ระยะทางที่ใช้วัดค่าตัวอย่าง (distance) ร้อยละ 50 วัดเนื้อสัมผัสโดยแสดงเนื้อสัมผัสในรูปค่า Hardness (N) (ดัดแปลงวิธีการจาก Pulgar และคณะ, 2012) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง

#### 3.4.2.5 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำ (Re-heating loss, %)

นำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน หั่นให้มีขนาด กว้าง × ยาว × หนา เท่ากับ  $2 \times 2 \times 2$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ชั่งน้ำหนัก และใส่ในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (PP) นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นนำเนื้อมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 4-7 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำมาชั่งน้ำหนักหลังกระบวนการ และคำนวณค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำดังสมการที่ 3 (ดัดแปลงวิธีการจาก Supaphon และคณะ, 2013) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง

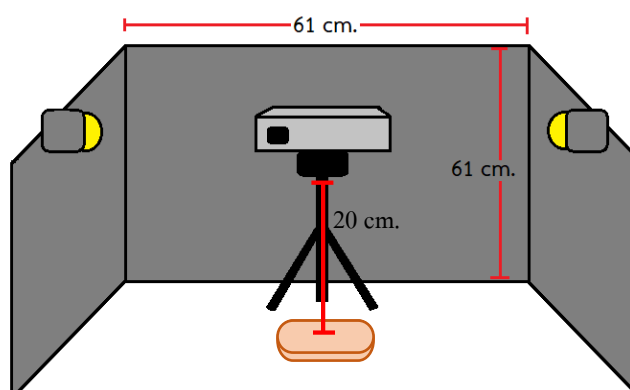
$$\% \text{ re-heating loss} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.3)$$

โดย  $W_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนการให้ความร้อนซ้ำ (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังการให้ความร้อนซ้ำ (กรัม)

### 3.4.2.6 ลักษณะทางกายภาพของอวกั่และลักษณะปรากฏโดยภาพถ่าย

นำตัวอย่างอวกั่ที่ได้จากข้อ 3.4.2 ขึ้นตรงกลาง มาถ่ายภาพขึ้นเนื้อ โดยกำหนดสภาวะในการถ่ายภาพอวกั่แสดงดังภาพที่ 3.4 ประกอบด้วย ฉากสีดำที่มีขนาดกว้าง×ยาว×สูง ประมาณ  $61 \times 61 \times 61$  เซนติเมตร ซึ่งทำจากไม้ กิ่งกล้องดิจิทัล NIKON (D-3100, Japan) ตำแหน่งที่วางขึ้นเนื้อ และแหล่งกำเนิดแสงจากหลอด Light- Emitting Diode (LED) กว้าง× สูง ประมาณ  $70 \times 116$  เซนติเมตร มีกำลัง 5 วัตต์ จำนวน 2 หลอด กำหนดระยะห่างระหว่างตำแหน่งของขึ้นเนื้อตัวอย่าง และกล้อง ประมาณ 20 เซนติเมตร โดยภาพถ่ายขึ้นเนื้อทุกขึ้นที่สภาวะเดียวกันตลอดการทดลอง ทุกภาพมีขนาดภาพ  $4608 \times 3072$  พิกเซล เป็น RGB-color format คัดแปลงวิธีการของ Supaphon และคณะ (2014) โดยถ่ายทั้งตามยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ และตามขวางของเส้นใยกล้ามเนื้อ



ภาพที่ 3.4 สภาวะในการถ่ายภาพขึ้นเนื้อตัวอย่าง

### 3.4.3 การศึกษาผลของความดัน และเวลาที่มีต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในอวกั่

นำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการซูวีดร่วมกับความดัน มาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Sodium Dodecyl Sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) (คัดแปลงวิธีการจาก Laemmli, 1970) นำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการซูวีดร่วมกับความดัน 3 กรัม สับให้ละเอียด ผสมกับสารละลาย SDS 10% ปริมาณ 27 มิลลิลิตร หรือผสมกันในอัตราส่วนตัวอย่าง 1 ส่วน ต่อ สารละลาย SDS 9 ส่วน นำไปโฮโมจิไนซ์นาน 1 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่  $85^{\circ}\text{C}$  องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เพื่อให้โปรตีนละลายอย่างสมบูรณ์ นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,100 รอบต่อนาที นาน 10 นาที นำส่วนสารละลายใสด้านบน (Supernatant) ซึ่งมีโปรตีนละลายอยู่ ไปวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี Biuret (คัดแปลงจาก Robinson และ Hodgen, 1940) รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก. ในขั้นตอนการเตรียมเจลอะคริลาไมล์สำหรับการวิเคราะห์ โดยวิธี SDS-PAGE ตามภาคผนวก ข.

นอกจากนั้นขั้นตอนการวิเคราะห์ใช้สารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ปริมาณ 15  $\mu\text{l}$  เติมลงบนช่องเจล ส่วนบนประมาณ 5  $\mu\text{l}$  โดยเตรียม Separating gel ร้อยละ 10 และ Stacking gel ร้อยละ 4 หลังจากนั้นเปิดกระแสไฟฟ้า จนกระทั่งสีน้ำเงินของโบรโมฟินอลบลูเคลื่อนลงไปที่ขอบข้างล่างเจลจึงปิดการให้กระแสไฟฟ้า นำเจลมาแช่ใน fixing solution จากนั้นแช่ 10 นาที ย้อมสีเจล โดยใส่ staining solution วางบนเครื่องเขย่าแล้วทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นทำเจลให้แห้งรายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ค. แล้วนำไปวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม ImageJ-win 64 เพื่อศึกษารูปแบบของโปรตีนและความเข้มของแถบโปรตีนในอกไก่ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากผลของความดัน และระยะเวลา

#### 3.4.4 การวางแผนการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สำหรับการศึกษารูปแบบของความดัน และเวลาที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของอกไก่ ทั้งหมดออกแบบแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวนด้วย Analysis of variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ( $p \leq 0.05$ )

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลของความดัน และเวลาที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของอกไก่ชุว้ด

จากการศึกษาผลของความดันและเวลาในระหว่างการชุว้ดเนื้ออกไก่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเนื้ออกไก่ ได้ผลการทดลองแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชุว้ด

การสูญเสียน้ำหนักอกไก่ภายหลังกระบวนการชุว้ดที่ความดันและเวลาต่างๆจากตารางที่ 4.1 แสดงผลดังนี้

จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชุว้ดที่ระดับความดันเดียวกันแต่เวลาต่างกัน โดยผลการทดลองพบว่า ที่ระดับความดันบรรยากาศ ค่าการสูญเสียน้ำหนักของอกไก่หลังกระบวนการชุว้ดในช่วงแรกคือที่ระยะเวลา 0.5-3.0 ชั่วโมง ค่าการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นรวดเร็วอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5.91-15.67 และแต่เมื่อชุว้ดต่อตั้งแต่วเวลา 3.0-5.0 ชั่วโมง มีการเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักอย่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักอยู่ระหว่างร้อยละ 15.91-18.51

เมื่อพิจารณาที่ระดับความดัน 2 บาร์ ผลการทดลองพบว่าค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชุว้ดที่เวลา 0.5-2.0 ชั่วโมง มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) มีค่าระหว่างร้อยละ 12.26-18.31 และเมื่อชุว้ดตั้งแต่วเวลา 2.5-6.0 ชั่วโมง มีการเพิ่มขึ้นของค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักอย่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) มีค่าประมาณร้อยละ 17.37-20.65

ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชุว้ดระดับความดัน 3 บาร์ มีแนวโน้มที่เหมือนกันกับที่ระดับความดันอื่น โดยการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชุว้ดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) 0.5-3.0 ชั่วโมง และเมื่อเวลา 3.5-6 ชั่วโมง ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่าระหว่างร้อยละ 15.72-23.70 ตามลำดับ

ผลการทดลองสอดคล้องกับ Laakkonen และคณะ (1970) ที่พบว่าการใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเนื้อหมูส่วน *Semintendinosus* เมื่อให้ความร้อนนาน 3-7 ชั่วโมง พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) และระยะเวลาที่ 7-10 ชั่วโมง คงที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ( $p > 0.05$ ) และเมื่อทดลองด้วยกระบวนการเดียวกัน โดยใช้ชิ้นเนื้อในส่วน *Longissimus* พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน โดยทั่วไปน้ำเกาะอยู่กับโปรตีนในเนื้อสัตว์ แต่เมื่อให้ความร้อน โปรตีนเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ น้ำจึงจับกับโปรตีนได้น้อยลง ทำให้น้ำออกจากโครงสร้างเนื้อได้มากขึ้น และเกิดสูญเสียน้ำมากขึ้น (Ishiwatari และคณะ, 2013; Palka และ Daun, 1999) และเมื่อให้ความร้อนคงที่เป็นเวลานานขึ้นจนเนื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงจนผ่านสภาวะที่ 2 พบว่าเกิดการเสียสภาพสมบูรณ์ของโปรตีนในเนื้อ ทำให้ค่าการสูญเสียน้ำเท่ากับการเสียสภาพของโปรตีนในเนื้อ ส่งผลให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียน้ำหนัก (Tornberg, 2005)

เมื่อพิจารณาร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชูวิดที่ระยะเวลาเดียวกันแต่แตกต่างกันที่ความดัน แสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่า การใช้ความดันที่ 2 และ 3 บาร์ ส่งผลให้ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชูวิดของอกไก่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อเปรียบเทียบที่ความดัน 2 และ 3 บาร์ พบว่าค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นที่ความดัน 2 บาร์ เวลา 4 และ 3 ชั่วโมง มีการสูญเสียน้ำหลังกระบวนการชูวิดมากกว่าการใช้ความดัน 3 บาร์อย่างมีนัยสำคัญ การใช้ความดันส่งผลให้ตัวอย่างมีการสูญเสียน้ำหนักหลังจากกระบวนการชูวิดที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศ โดยจากงานวิจัยของ Mcardle และคณะ (2010) เมื่อให้ความดันที่ 300 และ 400 MPa ในเนื้อส่วน *M. pectoralis profundus* พบว่ามีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสภาวะความดันบรรยากาศ แสดงให้เห็นว่าความดันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการสูญเสียความสามารถในการอุ้มน้ำของโปรตีน เกิดจากการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อเมื่อระดับความดันเพิ่มขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นความดันส่งผลกระทบต่อโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ โดยความดันจะส่งผลต่อโปรตีนกลุ่ม โดยเฉพาะตรงบริเวณที่มีพันธะ hydrophobic และ ionic interactions ทำให้เกิดการแยกของโปรตีนกลุ่มมากขึ้น น้ำจึงออกจากโครงสร้างได้ง่ายขึ้น (Gross และคณะ, 2010)

ตารางที่ 4.1 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชูวิดของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการชูวิดร่วมกับความดัน

เวลา/(ชั่วโมง)	ร้อยละค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการชูวิด		
	ความดัน (บาร์)		
	ความดัน บรรยากาศ	2	3
0.5	5.91±1.51 <sup>aA</sup>	12.26±0.22 <sup>bA</sup>	12.23±0.47 <sup>bA</sup>
1.0	8.65±1.89 <sup>aAB</sup>	12.88±1.38 <sup>bA</sup>	13.62±0.98 <sup>bAB</sup>
1.5	10.60±1.42 <sup>aBC</sup>	15.61±3.60 <sup>bB</sup>	13.60±3.61 <sup>abAB</sup>
2.0	12.76±2.83 <sup>aCD</sup>	18.31±0.42 <sup>bCD</sup>	15.64±3.14 <sup>abBC</sup>
2.5	13.06±3.71 <sup>aCD</sup>	17.37±2.69 <sup>bBC</sup>	14.26±1.42 <sup>abAB</sup>
3.0	15.67±3.19 <sup>aDEF</sup>	18.83±0.78 <sup>bCD</sup>	17.91±1.56 <sup>abCD</sup>
3.5	15.91±2.95 <sup>aEF</sup>	20.35±1.08 <sup>bD</sup>	19.69±1.52 <sup>bDE</sup>
4.0	17.92±1.36 <sup>aF</sup>	20.65±0.85 <sup>bD</sup>	16.07±3.10 <sup>aBC</sup>
4.5	18.51±2.54 <sup>aF</sup>	20.17±4.05 <sup>aD</sup>	20.74±1.47 <sup>aE</sup>
5.0	17.85±2.03 <sup>aF</sup>	20.53±2.04 <sup>bD</sup>	15.72±2.14 <sup>aBC</sup>
6.0	21.90±2.07 <sup>bG</sup>	18.39±1.48 <sup>aCD</sup>	23.70±1.87 <sup>bF</sup>

หมายเหตุ

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างภายในสภาพความดันที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>A,B,...,G</sup> ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในสภาพเวลาที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้ออกไก่ภายหลังกระบวนการซูวิดที่ความดันและเวลาต่างๆ จากตารางที่ 4.2 แสดงผลดังนี้

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้ออกไก่หลังจากกระบวนการซูวิดที่ระดับความดันเดียวกันแต่เวลาต่างกัน โดยผลการทดลองพบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้ออกไก่หลังกระบวนการซูวิดระดับความดันบรรยากาศ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่าระหว่างร้อยละ 64.71-67.36 ยกเว้นที่เวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด มีร้อยละประมาณ 68.37

ในกรณีการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการอุ้มน้ำหลังกระบวนการซูวิดระดับความดัน 2 บาร์ พบว่าค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่เวลา 0.5 ชั่วโมง มีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อยที่สุด ( $p \leq 0.05$ ) ประมาณร้อยละ 62.42 ที่เวลา 6 ชั่วโมง มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมากที่สุดประมาณร้อยละ 70.84

สำหรับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำหลังกระบวนการซูวิดระดับความดัน 3 บาร์ พบว่ามีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) สอดคล้องกับกรณีการซูวิดที่ความดัน 2 บาร์ โดยช่วงแรกพบที่เวลา 1.5-2.5 ชั่วโมง มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 67.02-67.65 และต่อมาเวลา 5-6 ชั่วโมง ซึ่งมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด มีค่าประมาณร้อยละ 67.18-64.64

ผลการทดลองขัดแย้งกับ Vaudagna และคณะ (2002) ที่ศึกษาการซูวิดเนื้อวัว พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่เวลา 50 และ 150 นาที มีคุณลักษณะกายภาพที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อใช้ความร้อนเป็นระยะเวลาหนึ่งทำให้เกิดการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ และเกิดการเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนไมโอซิน ซึ่งเริ่มเสียสภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเสียสภาพสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แต่โปรตีนแอคตินเริ่มเสียสภาพที่อุณหภูมิ 66-73 องศาเซลเซียส จึงเกิดการอุ้มน้ำของโปรตีนตามคุณสมบัติของโปรตีนอยู่ (Wattanachant และคณะ, 2005) นอกจากนั้นผลของ Aaslyng และคณะ (2003) ศึกษาผลของการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ต่อการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อหมู พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการอุ้มน้ำลดลง และการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรุงแบบทั่วไป พบว่าวิธีการซูวิดสามารถลดการสูญเสียน้ำได้มากถึงร้อยละ 20

Colmenero (2002) ศึกษาผลของความดันและอุณหภูมิต่อคุณสมบัติของโปรตีนกลั่นเนื้อของเนื้อหมู เมื่อให้ความร้อนมากกว่า 60-80 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 200-400 MPa เป็นเวลา 30 นาที พบว่าโครงสร้างมีค่านุ่มลง แต่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะความดันบรรยากาศ สามารถอธิบายได้ว่า กระบวนการให้ความดันส่งผลให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เกิดการขาดของสายโซ่ ทำให้มีปริมาณของโปรตีนขนาดเล็กเพิ่มขึ้น เมื่อทำการลดอุณหภูมิลงทันที โปรตีนเกิดการจับตัวกันใหม่ ทำให้ค่าการอุ้มน้ำดีขึ้น

เมื่อพิจารณาความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้ออกไก่ที่เวลาเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ความดัน พบว่าที่เวลาเดียวกัน การชุบที่ระดับความดันบรรยากาศ 2 บาร์ และ 3 บาร์ ส่งผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นที่ 0.5 ชั่วโมง การใช้ความดัน 2 บาร์มีค่าการอุ้มน้ำน้อยกว่าที่ระดับความดันบรรยากาศ และ 3 บาร์ ทั้งนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โปรตีนเกิดการเสียสภาพบางส่วน ทำให้โปรตีนบางส่วนยังคงคุณสมบัติการอุ้มน้ำได้ ส่งผลให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเปลี่ยนแปลงน้อย การใช้ระดับความดันที่ไม่สูงมากจึงยังไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อความดันเปลี่ยนไป

อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Hygreeva และคณะ (2016) ที่ศึกษาการใช้ความดันที่ระดับ 200 400 และ 600 MPa ซึ่งเป็นระดับความดันที่สูง ในผลิตภัณฑ์แพตตี้ไก่พบว่ามีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้นร้อยละ 8 เนื่องจากผลของความดันส่งผลกระทบทำให้เกิดการละลายเพิ่มมากขึ้น เมื่อหยุดกระบวนการทำให้เกิดการ depolymerization จนส่งผลให้โปรตีนเกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นโครงข่าย ส่งผลทำให้โปรตีนจับกับน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยของ Hong และคณะ (2006) ได้รายงานเกี่ยวกับการใช้กระบวนการให้ความดันเพื่อการปรับปรุงโครงสร้างในโปรตีนเลียนแบบเนื้อหมู โดยให้ความดันสูงที่ 100 และ 200 MPa เป็นเวลา 30 นาที พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ระดับความดัน 2 และ 3 บาร์ จึงไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมาก

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวีร่วมกับความดัน

เวลา/(ชั่วโมง)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ		
	ความดัน (บาร์)		
	ความดัน บรรยากาศ	2	3
0.5	64.75±2.52 <sup>bA</sup>	62.42±1.17 <sup>aA</sup>	64.91±0.87 <sup>bAB</sup>
1.0	64.71±2.58 <sup>aA</sup>	64.07±1.09 <sup>aAB</sup>	63.64±1.49 <sup>aA</sup>
1.5	67.36±2.20 <sup>bAB</sup>	63.67±1.11 <sup>aAB</sup>	67.02±1.76 <sup>bC</sup>
2.0	65.43±3.02 <sup>aA</sup>	64.13±0.96 <sup>aAB</sup>	67.65±1.36 <sup>bC</sup>
2.5	64.89±2.54 <sup>aA</sup>	66.60±3.62 <sup>aC</sup>	67.63±0.65 <sup>aC</sup>
3.0	66.69±2.31 <sup>bAB</sup>	64.71±1.26 <sup>aB</sup>	64.53±1.41 <sup>aA</sup>
3.5	65.99±4.48 <sup>aAB</sup>	63.41±0.65 <sup>aAB</sup>	63.48±1.72 <sup>aA</sup>
4.0	66.78±2.50 <sup>aAB</sup>	66.46±1.51 <sup>aC</sup>	64.78±1.45 <sup>aAB</sup>
4.5	67.28±1.05 <sup>bAB</sup>	64.65±2.84 <sup>aB</sup>	66.15±0.63 <sup>abBC</sup>
5.0	68.37±0.71 <sup>bB</sup>	67.68±0.83 <sup>abC</sup>	67.18±1.50 <sup>aC</sup>
6.0	67.17±0.92 <sup>aAB</sup>	70.84±1.37 <sup>bD</sup>	67.64±1.80 <sup>aC</sup>

หมายเหตุ <sup>a,b</sup> ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างภายในสภาพความดันที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>A,B,C</sup> ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในสภาพเวลาที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 4.1.3 ค่าสี

ค่าสีของเนื้ออกไก่ภายหลังกระบวนการซูวิดที่ความดันและเวลาต่างๆ จากตารางที่ 4.3 แสดงผลดังนี้

เมื่อพิจารณาค่าสีของเนื้ออกไก่หลังจากกระบวนการซูวิดที่ระดับความดันเดียวกันแต่เวลาต่างกัน โดยผลการทดลองพบว่า

ค่า  $L^*$  ของเนื้ออกไก่หลังกระบวนการซูวิดระดับความดันบรรยากาศ เวลา 0.5-1.0 ชั่วโมง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) มีค่าประมาณ 77.31-81.21 และ มีการเพิ่มขึ้นของค่า  $L^*$  อย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) มีค่าประมาณ 80.00-83.57

ส่วนค่า  $L^*$  ของเนื้ออกไก่หลังกระบวนการซูวิดที่ระดับความดัน 2 บาร์ สอดคล้องกรณีการซูวิดที่ความดันบรรยากาศ โดยพบว่า ค่าสีที่เวลาการซูวิดนาน 0.5-2.0 ชั่วโมง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) มีค่าประมาณ 79.83-81.35 และช่วงเวลาที่สอง มีการเพิ่มขึ้นของค่า  $L^*$  อย่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ที่เวลา 2.5-6.0 ชั่วโมง โดยมีค่าระหว่าง 82.65-86.02

ผลการทดสอบสอดคล้องกับในกรณีการซูวิดที่ความดัน 3 บาร์ ที่เวลา 0.5-2.5 ชั่วโมง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) มีค่าประมาณ 78.03-82.00 และ มีการเพิ่มขึ้นของค่า  $L^*$  อย่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ที่เวลา 3.0-6.0 ชั่วโมง มีค่าประมาณ 83.94-88.49

ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อไก่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเสียดสภาพของโปรตีนทำให้เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน ส่งผลให้แสงเกิดการหักเหเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิด โดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีภายในของเนื้อเนื่องจากการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้าง และเกิดจากการเสียดสภาพของโปรตีนต่างๆ ส่งผลทำให้ค่า  $L^*$  ของเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้น (Martens และคณะ, 1982) ยิ่งไปกว่านั้นงานวิจัยของ Marcos และคณะ (2013) พบว่าเมื่อให้ความดัน 600 MPa แก่เนื้อวัวส่วน *M. lonissimus dorsi* ทำให้เกิดการเสียดสภาพของโปรตีนซาโคพลาสติก ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำ จึงทำให้มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้ความดันบรรยากาศ เมื่อให้ความดันแก่เนื้อวัวทำให้เกิดการเสียดสภาพของโปรตีนซาโคพลาสติก ซึ่งทำให้น้ำบางส่วนสูญเสียไปด้วย

อย่างไรก็ตาม การชูวิดที่เวบาเพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลค่า  $a^*$  อย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) เมื่อเวลาในกระบวนการชูวิดนานขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง อาจเกิดขึ้นในช่วงแรกของการชูวิด จึงไม่เห็นความแตกต่างของค่าสีแดงหลังจากการชูวิดไประยะหนึ่งจนถึงช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลการทดลอง

Vaudagna และคณะ (2002) ศึกษาผลกระทบของกระบวนการชูวิดที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่เวลา 90 นาที พบว่าค่า  $a^*$  มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) การเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ Myoglobin globin hemochrome (Lawrie, 1994) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดงในเนื้อสัตว์ ประกอบไปด้วยธาตุเหล็กที่อยู่ในรูป  $Fe^{2+}$  ทำให้เกิดค่าสีแดง หากเกิดการเปลี่ยนรูปเป็น  $Fe^{3+}$  จะแสดงค่าสีเป็นโทนน้ำตาลแดง ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้คือ ความร้อน (Young และ Weat, 2001) นอกจากกระบวนการปรุงแล้วปัจจัยในเรื่องชนิดของเนื้อก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องจากในอกไก่เป็นกล้ามเนื้อส่วนที่มีปริมาณความเข้มข้นของไมโอโกลบินต่ำทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า  $a^*$  อาจเกิดได้น้อย (Barbut, 2002)

เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของเนื้ออกไก่ชูวิดที่เวบาเดียวกันแต่ต่างความดันกัน พบว่าการชูวิดร่วมกับความดัน ที่ความดัน 2 และ 3 บาร์ค่า  $L^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ โดยที่เวลา 4 ชั่วโมง มีค่า  $L^*$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) จาก 80.00 เป็น 87.84 การเพิ่มขึ้นของค่าความสว่างเกิดจากผลของความดันที่ทำให้ โปรตีนไมโอโกลบินเกิดการเสียสภาพส่งผลต่อเนื่องให้เกิดการแทนที่ของหมู่ฮีม (Heme) หรือการปลดปล่อยหมู่ฮีม ยิ่งไปกว่านั้นการให้ความดันส่งผลกระทบต่อการสูญเสีย น้ำ ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง

ในส่วนของค่าความเป็นสีแดงของเนื้ออกไก่ พบว่าการใช้ความดันที่ระดับต่างกันส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดงเช่นกัน เนื่องจากความดัน ทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนไมโอโกลบิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่แสดงสีในเนื้อสัตว์ ทำให้ค่าสี  $a^*$  เกิดการเปลี่ยนแปลง เหนียวน่าทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของ ferrous myoglobin ถูกเปลี่ยนให้เป็น ferric metmyoglobin (Hygreeva และคณะ, 2016)

ตารางที่ 4.3 ค่าสีของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวีร่วมกับความดัน

ค่าสี						
ความดัน (บาร์)						
เวลา/ (ชั่วโมง)	$L^*$			$a^*$		
	ความดัน	2 บาร์	3 บาร์	ความดัน	2 บาร์	3 บาร์
	บรรยากาศ			บรรยากาศ		
0.5	77.31±1.60 <sup>aA</sup>	79.83±1.35 <sup>bA</sup>	80.94±0.52 <sup>bC</sup>	3.24±0.42 <sup>aABC</sup>	4.55±1.21 <sup>bE</sup>	3.20±0.54 <sup>aABC</sup>
1.0	81.21±2.10 <sup>abC</sup>	81.35±0.89 <sup>ab</sup>	81.23±0.74 <sup>aCD</sup>	3.97±0.69 <sup>abBC</sup>	4.37±0.85 <sup>bDE</sup>	3.61±0.65 <sup>aC</sup>
1.5	82.07±2.09 <sup>aCD</sup>	80.00±1.59 <sup>aAB</sup>	81.00±1.10 <sup>aD</sup>	2.83±0.99 <sup>aA</sup>	3.16±0.73 <sup>aAB</sup>	3.31±0.87 <sup>aBC</sup>
2.0	81.98±1.32 <sup>cCD</sup>	80.34±1.95 <sup>bAB</sup>	78.03±0.67 <sup>aA</sup>	3.34±0.41 <sup>bABC</sup>	2.59±0.81 <sup>aA</sup>	3.40±0.32 <sup>bBC</sup>
2.5	83.50±1.65 <sup>bd</sup>	82.65±1.34 <sup>bc</sup>	79.17±2.10 <sup>ab</sup>	3.05±0.91 <sup>aAB</sup>	3.38±1.10 <sup>aABC</sup>	3.31±0.33 <sup>aBC</sup>
3.0	83.43±1.26 <sup>ad</sup>	83.38±0.66 <sup>ac</sup>	83.94±0.57 <sup>aEF</sup>	3.33±0.66 <sup>aABC</sup>	3.69±0.88 <sup>aABC</sup>	3.12±0.46 <sup>aABC</sup>
3.5	82.09±1.48 <sup>aCD</sup>	83.18±0.49 <sup>bc</sup>	83.16±0.60 <sup>bE</sup>	3.45±0.98 <sup>aABC</sup>	3.03±0.78 <sup>aAB</sup>	2.66±0.82 <sup>aA</sup>
4.0	80.00±3.14 <sup>ab</sup>	83.04±0.61 <sup>bc</sup>	87.84±1.45 <sup>cGH</sup>	4.18±1.09 <sup>aC</sup>	3.72±0.86 <sup>aBCD</sup>	3.32±0.89 <sup>aBC</sup>
4.5	83.57±2.61 <sup>ad</sup>	83.30±0.72 <sup>ac</sup>	88.49±1.26 <sup>bH</sup>	3.29±1.08 <sup>aABC</sup>	3.38±0.85 <sup>aABC</sup>	3.17±0.33 <sup>aABC</sup>
5.0	82.11±1.59 <sup>aCD</sup>	86.02±1.88 <sup>bE</sup>	87.11±1.03 <sup>bG</sup>	3.28±1.53 <sup>aABC</sup>	4.10±0.44 <sup>aCD</sup>	3.57±0.54 <sup>aC</sup>
6.0	83.45±2.62 <sup>ad</sup>	84.45±0.37 <sup>ad</sup>	84.24±0.89 <sup>aF</sup>	2.97±0.55 <sup>aA</sup>	3.34±0.63 <sup>aABC</sup>	2.87±0.68 <sup>aAB</sup>

หมายเหตุ <sup>a,b</sup> ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างภายในสภาพความดันที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>A,B,...,D</sup> ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในสภาพเวลาที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ค่าความแข็งของอกไก่ภายหลังกระบวนการซูวิดที่ความดันและเวลาต่างๆ จากตารางที่ 4.4 แสดงผลดังนี้

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของอกไก่ที่ระดับความดันเดียวกัน แต่ต่างระยะเวลากัน โดยพิจารณาที่ระดับความดันบรรยากาศ พบว่าการซูวิดส่งผลต่อค่าความแข็งของอกไก่อย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วงแรกที่ระยะเวลา 0.5-1.5 ชั่วโมง มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าความแข็งจาก 40.06 นิวตัน เป็น 34.79 นิวตัน จากนั้นความแข็งเพิ่มขึ้นที่เวลา 2.0 ชั่วโมง มีค่าความแข็งมากที่สุด ประมาณ 41.25 นิวตัน จากนั้นค่าความแข็งของอกไก่ที่ซูวิดตั้งแต่ 2.5-6.0 ชั่วโมง มีค่าแนวโน้มลดลงอย่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) มีค่าประมาณ 31.40-34.55 นิวตัน ช่วงเวลาดังกล่าวมีผลสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิด และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำดังนี้ จากผลการทดลองสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิดพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่เวลา 0.5 ชั่วโมง จนถึง 2.5 ชั่วโมง จากร้อยละ 5.91 เป็นร้อยละ 13.06 หลังจากนั้นการสูญเสียน้ำหนักก็ลดลงเล็กน้อยจนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) การสูญเสียน้ำปริมาณมากในช่วงแรกส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสที่แข็งและเหนียวมากขึ้น เมื่อให้ความร้อนต่อเนื่องมาระยะหนึ่ง พบว่าเส้นใยมัดกล้ามเนื้อรวมตัวกันแน่นขึ้น จากผลการทดลองพบว่าที่เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความแข็งประมาณ 41.25 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าความแข็งสูงสุด หลังจากนั้นทำให้ความร้อนต่อไป ที่ช่วงเวลา 2.5-6 ชั่วโมง พบว่าค่าความแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สัมพันธ์กับค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการซูวิดที่มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ค่าความแข็งของอกไก่หลังกระบวนการซูวิดที่ระดับความดัน 2 บาร์ ผลการทดลองพบว่าโดยช่วงแรกที่ระยะเวลา 0.5-3.5 ชั่วโมง มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าความแข็งจาก 39.54 นิวตัน เป็น 28.46 นิวตัน เมื่อซูวิดต่อที่เวลา 4.0 ชั่วโมง ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นจนอยู่ที่ประมาณ 35.75 นิวตัน และที่เวลา 4.5-6.0 ชั่วโมง พบว่ามีค่าแนวโน้มของความแข็งลดลงอย่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) มีค่าความแข็งประมาณ 27.20-28.48 นิวตัน

ผลการทดลองสอดคล้องกับกรณีการซูวิดที่ระดับความดัน 3 บาร์ พบว่าที่ระยะเวลา 0.5-3.5 ชั่วโมง ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีความแข็งจาก 38.73 นิวตัน เป็น 29.67 นิวตัน และเพิ่มขึ้นคือที่เวลา 4.0 ชั่วโมง ค่าความแข็งมากที่สุดมีค่าประมาณ 38.12 นิวตัน

จากนั้นค่าความแข็งที่เวลา 4.5-6.0 ชั่วโมง มีค่าแนวโน้มของความแข็งลดลงอย่างไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) มีค่าความแข็งประมาณ 24.17-25.96 นิวตัน

เมื่อทำการให้ความร้อนกับเนื้อสัตว์เป็นระยะเวลานาน เนื้อสัตว์อาจเกิดการเสียดสภาพของโปรตีนกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดการหดตัวของ intramuscular collagen ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และทำให้เนื้อสัมผัสมีความเหนียวเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Bailey และ Light, 1989) โดย Ishiwatari และคณะ (2013) อธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่างๆ นั้น สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงออกเป็นได้ 2 ช่วง คือ ช่วงแรกของการให้ความร้อน ทำให้เกิดการเสียดสภาพธรรมชาติของโปรตีนไมโอซินที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และช่วงต่อมาเกิดการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ ทำให้มีช่องว่างระหว่างมัดเส้นใยกล้ามเนื้อส่งผลให้การสูญเสียน้ำ Palka และ Daun (1999) อธิบายว่าเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นเกิดจากการเสียดสภาพธรรมชาติของโปรตีน และการแยกตัวออกของโปรตีนกล้ามเนื้อ ส่วนเพอริไมเซียม ส่วนเอนโดไมเซียม และส่วนคอลลาเจน ทำให้น้ำที่อยู่ในโครงสร้างไม่สามารถจับกับโปรตีนได้อีกต่อไป ส่งผลทำให้เนื้อสัมผัสของเนื้อในระยะนี้มีค่าความแข็ง กระด้าง และไม่ชุ่มฉ่ำ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Zamri และคณะ (2006) ศึกษาผลกระทบของความร้อนและความดันต่อค่าความแข็งของอกไก่ โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความดัน 400-600 MPa พบว่าเมื่อความดันที่เพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) งานวิจัยของ Garcia-segovia และคณะ (2007) พบว่าค่าความเหนียวของเนื้อวัวที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าความเหนียวนั้นเกิดจากการเสียดสภาพของ intramuscular collagen หรือ เกิดจากการเสียดสภาพของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์

สำหรับการเปรียบเทียบค่าความแข็งของเนื้อไก่ที่เวลาเดียวกันแต่ต่างความดันกัน พบว่าที่ความดันบรรยากาศ ความดัน 2 บาร์ และความดัน 3 บาร์ พบว่าที่เวลา 0.5 – 2.0 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) มีค่าประมาณ 33.19 – 41.25 นิวตัน นอกจากนั้นความดัน 2 บาร์ ที่เวลา 2.5 ชั่วโมง พบว่ามีค่าความแข็งน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความดันอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) มีค่าประมาณ 28.46 นิวตัน และที่ 4.5 ชั่วโมง พบว่ามีการลดลงของค่าความแข็งอีกครั้ง โดยมีค่าประมาณ 28.48 นิวตัน เนื่องจากความดันส่งผลกระทบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในโปรตีนทำให้เกิดการคลายของโปรตีนเส้นใย และเกิดการหดตัวของโปรตีนตามลำดับ นอกจากนั้นสามารถทำให้โปรตีนเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพได้ เช่น การจับตัว

เป็นก้อน (Coagulation) การรวมกลุ่ม (Aggregation) และการเกิดเจล (Gelation) (Tintchev และคณะ , 2012) ซึ่งความดันที่ทำให้เกิดการเสียหายของโปรตีนได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับของความดัน ระยะเวลาในการให้ความร้อน และอุณหภูมิที่ใช้ (Chatton และ Apichartsrangkoon, 2009) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Zamri และคณะ (2006) เนื้ออกไก่มี แนวโน้มของค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ความดัน 200-800 MPa ร่วมกับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากความร้อนที่ให้แก่เนื้อ ทำให้เกิดการเสียหายขององค์ประกอบของกล้ามเนื้อ ที่ส่งผลให้ ค่าความแข็งสูงขึ้น และที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์และ โปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เกิดการเสียหายอีกด้วย

จากผลการทดลองพบว่า การใช้ความดันในระดับที่ไม่สูงมาก (คือการใช้ 2 บาร์ และ 3 บาร์) ร่วมกับการให้ความร้อนในการซูวิดไม่ได้ส่งผลต่อการลดเวลาในการซูวิดที่สั้นลงมากนัก แต่ จากผลการทดลองพบว่า เนื้ออกไก่ที่ผ่านการซูวิดร่วมกับความดัน มีการลดลงของค่าความแข็งใน จุดที่นุ่มที่สุด ที่ต่ำกว่ากรณีการใช้ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ 4.4 ค่าความแข็งของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวีดร่วมกับความดัน

ค่าความแข็ง (นิวตัน)			
เวลา(ชั่วโมง)	ความดัน (บาร์)		
	ความดันบรรยากาศ	2	3
0.5	40.06±13.17 <sup>aBC</sup>	39.54±4.56 <sup>aC</sup>	37.97±6.88 <sup>aF</sup>
1.0	36.22±11.35 <sup>aABC</sup>	33.19±4.18 <sup>ab</sup>	34.06±2.91 <sup>aCD</sup>
1.5	34.79±5.14 <sup>aAB</sup>	33.98±3.98 <sup>ab</sup>	36.75±4.09 <sup>aD</sup>
2.0	41.25±12.95 <sup>aC</sup>	35.76±8.11 <sup>ab</sup>	37.39±4.57 <sup>aE</sup>
2.5	34.18±6.25 <sup>bAB</sup>	28.46±4.71 <sup>aA</sup>	38.73±5.22 <sup>cF</sup>
3.0	32.04±7.55 <sup>abA</sup>	28.59±2.80 <sup>abA</sup>	33.35±2.66 <sup>bCD</sup>
3.5	31.40±6.92 <sup>aA</sup>	29.03±4.06 <sup>aA</sup>	29.67±5.58 <sup>ab</sup>
4.0	33.06±6.93 <sup>aAB</sup>	35.75±6.09 <sup>abB</sup>	38.12±4.42 <sup>bF</sup>
4.5	33.79±4.30 <sup>bAB</sup>	28.48±2.58 <sup>aA</sup>	31.24±3.30 <sup>bBC</sup>
5.0	34.55±4.58 <sup>bAB</sup>	27.20±5.20 <sup>aA</sup>	25.96±2.52 <sup>aA</sup>
6.0	33.50±5.18 <sup>cAB</sup>	27.50±3.42 <sup>bA</sup>	24.17±3.22 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างภายในสภาพความดันที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>A,B,...,F</sup> ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในสภาพเวลาที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.5 ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำ

ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำของอกไก่ภายหลังกระบวนการซูวิดที่ความดันและเวลาต่างๆ จากตารางที่ 4.5 แสดงผลดังนี้

จากการเปรียบเทียบค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำที่ระดับความดันเดียวกัน แต่ต่างระยะเวลา พบว่า ที่ทั้ง 3 ระดับความดัน มีแนวโน้มการลดลงของค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำเมื่อเวลานานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่ระดับความดันบรรยากาศ ที่เวลา 1 ชั่วโมง มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำมากที่สุด มีค่าร้อยละ 25.38 ที่เวลา 4.5-6 ชั่วโมง มีค่าการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำน้อยที่สุด มีค่าระหว่างร้อยละ 15.36-16.78 ในกรณีการซูวิดอกไก่ที่ความดัน 2 บาร์ พบว่าค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำมากที่สุดที่เวลา 0.5-1 ชั่วโมง คือมีค่าร้อยละ 30.25-30.45 และที่เวลา 6 ชั่วโมง มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำน้อยที่สุด ประมาณร้อยละ 15.06

ส่วนการซูวิดที่ระดับความดัน 3 บาร์ พบว่าค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำมีค่าสูงสุดที่เวลา 1 ชั่วโมง ร้อยละ 25.38 และที่เวลา 4.5-6 ชั่วโมง มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการให้ความร้อนซ้ำน้อยที่สุด ร้อยละ 15.36-16.78

ผลการทดลองสอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในกระบวนการซูวิดนานขึ้นและเนื่องจากกระบวนการซูวิดมีการสูญเสียน้ำมากขึ้น ทำให้มีน้ำค้างเหลือในอกไก่น้อยลง เมื่อมีการให้ความร้อนซ้ำอีกครั้งจึงทำให้น้ำที่ออกมาปริมาณน้อยลง ซึ่งการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างโปรตีนกล้ามเนื้อ เกิดจากการเสียดสีของโปรตีนและการหดตัวของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อเมื่อได้รับความร้อนและเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำสูญเสียออกจากโครงสร้างเพิ่มขึ้น (Tomberg, 2005) นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Zheng และคณะ (2015) ศึกษาผลกระทบของกระบวนการให้ความดันร่วมกับความร้อนที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำและการอุ้มน้ำของเบทเทอร์ของไก่ พบว่ามีค่าการอุ้มน้ำลดลงเมื่อผ่านความดันและอุณหภูมิเนื่องจากความดันเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการละลายของโครงสร้างโปรตีนและเส้นใยโปรตีนได้ (Iwasaki และคณะ, 2009)

การเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่ใช้ความดันที่ระดับความดันบรรยากาศ ความดัน 2 และ 3 บาร์ พบว่าการใช้ความดัน 2 และ 3 บาร์ ส่งผลให้ค่าร้อยละการให้ความร้อนซ้ำมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่ 2 และ 3 บาร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) นอกจากนั้นพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิดของอกไก่และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำของอกไก่ ที่มีค่าความสัมพันธ์ ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิดของอกไก่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จะมีค่า ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำของอกไคน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและเวลาทำให้เพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำได้ (Aaslyn และคณะ, 2003) น้ำในเนื้อสัตว์ที่สูญเสียเนื่องจากความร้อนเกิดจากการเสียสภาพของโปรตีนระหว่างการปรุง ทำให้โปรตีนที่ทำหน้าที่จับกับน้ำไม่สามารถจับน้ำไว้ได้ (Heyman และคณะ, 1990) ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำมากขึ้น ทำให้มีน้ำคงเหลือในตัวอย่างน้อยลง เมื่อมีการให้ความร้อนซ้ำอีกครั้งจึงทำให้น้ำที่ออกมามีแนวโน้มลดลง (Tornberg, 2005)

ตารางที่ 4.5 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน

ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำ			
เวลา/(ชั่วโมง)	ความดัน (บาร์)		
	ความดันบรรยากาศ	2	3
0.5	23.13±1.50 <sup>aC</sup>	30.25±2.54 <sup>bF</sup>	29.06±1.14 <sup>bC</sup>
1.0	25.38±2.57 <sup>aD</sup>	30.45±0.93 <sup>bF</sup>	28.42±3.42 <sup>bC</sup>
1.5	20.04±1.53 <sup>aB</sup>	26.18±2.36 <sup>bD</sup>	27.27±2.83 <sup>bC</sup>
2.0	21.05±2.82 <sup>aB</sup>	19.64±7.00 <sup>aB</sup>	28.20±3.02 <sup>bC</sup>
2.5	19.06±2.42 <sup>aB</sup>	25.82±4.09 <sup>bD</sup>	19.92±2.30 <sup>aA</sup>
3.0	20.10±2.42 <sup>aB</sup>	24.43±3.42 <sup>bCD</sup>	24.50±1.88 <sup>bB</sup>
3.5	19.81±2.22 <sup>aB</sup>	21.75±3.89 <sup>abBC</sup>	24.28±3.81 <sup>aB</sup>
4.0	20.52±3.72 <sup>aB</sup>	29.25±3.47 <sup>bEF</sup>	23.37±2.94 <sup>aB</sup>
4.5	15.36±1.03 <sup>aA</sup>	24.17±3.23 <sup>bCD</sup>	23.28±3.83 <sup>bB</sup>
5.0	16.78±1.04 <sup>aA</sup>	19.64±3.39 <sup>bB</sup>	17.38±1.88 <sup>aA</sup>
6.0	16.50±1.41 <sup>aA</sup>	15.06±1.41 <sup>aA</sup>	24.00±3.23 <sup>bB</sup>

หมายเหตุ <sup>a,b</sup> ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในแนวนอนหมายถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างภายในสภาพความดันที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>A,B,...,F</sup> ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแนวตั้งหมายถึงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในสภาพเวลาที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพ และลักษณะปรากฏโดยภาพถ่ายของเนื้ออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิด

จากการผลการทดลองในข้อที่ 4.1.4 ที่แสดงผลของกระบวนการซูวิดร่วมกับความดันที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้ออกไก่ พบว่าอกไก่เมื่อผ่านกระบวนการซูวิดที่ความดันบรรยากาศเป็นระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง และ 2.5 ชั่วโมง มีค่าความแข็งที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการซูวิดรวมกับการใช้ความดัน ที่เวลา 2.5 ชั่วโมง และ 4.5 ชั่วโมง ส่งผลให้เนื้ออกไก่มีค่าความแข็งที่ต่ำกว่ากรณีการใช้ความดันบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ถึงแม้จะใช้เวลาในการซูวิดที่นานกว่ากรณีการซูวิดที่ความดันบรรยากาศ ส่วนกรณีการซูวิดที่ความดัน 3 บาร์ พบว่า ที่ระยะเวลา 3.5 ชั่วโมง และ 5.0 ชั่วโมง เนื้ออกไก่มีค่าความแข็งต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เช่นกัน จากผลการทดลองข้างต้นได้มีการนำผลมาเปรียบเทียบเทียบสถานะเพื่อหาสถานะที่ค่าทางกายภาพที่เหมาะสม โดยเลือกจากสถานะที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของเนื้ออกไก่ที่ต่ำที่สุด มีการสูญเสียให้น้อยที่สุด และมีความอู่น้ำคงที่

จากตารางที่ 4.6 พบว่าที่ระดับความดันเดียวกัน พบว่าเมื่ออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่เวลานานขึ้น ส่งผลทำให้ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิดมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่ระดับความดันบรรยากาศ เพิ่มจากร้อยละ 10.60 เป็นร้อยละ 13.06 และที่ระดับความดัน 2 บาร์ เพิ่มจากร้อยละ 17.37 เป็นร้อยละ 20.17 ยกเว้นที่ระดับความดัน 3 บาร์ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น มีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิดลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากร้อยละ 19.69 เหลือร้อยละ 15.72 ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อเพิ่มระดับความดันทำให้ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) จากร้อยละ 10.60 เป็นร้อยละ 20.17 แต่ที่ระดับความดัน 2 บาร์ และ 3 บาร์ ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ค่าความสามารถในการอู่น้ำที่ระดับความดันบรรยากาศ และความดัน 2 บาร์ พบว่าเมื่ออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่เวลานานขึ้น มีค่าต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ยกเว้นที่ระดับความดัน 3 บาร์ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น ค่าการอู่น้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากร้อยละ 63.48 เป็นร้อยละ 67.18 ในทางตรงกันข้าม เมื่อความดันเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความอู่น้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ อาจเกิดจากผลกระทบของความดันที่ทำให้ในกระบวนการกระตุ้นทำให้พันธะไฮโดรเจน และแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ ส่งผลทำให้โปรตีน myosin เกิดการ

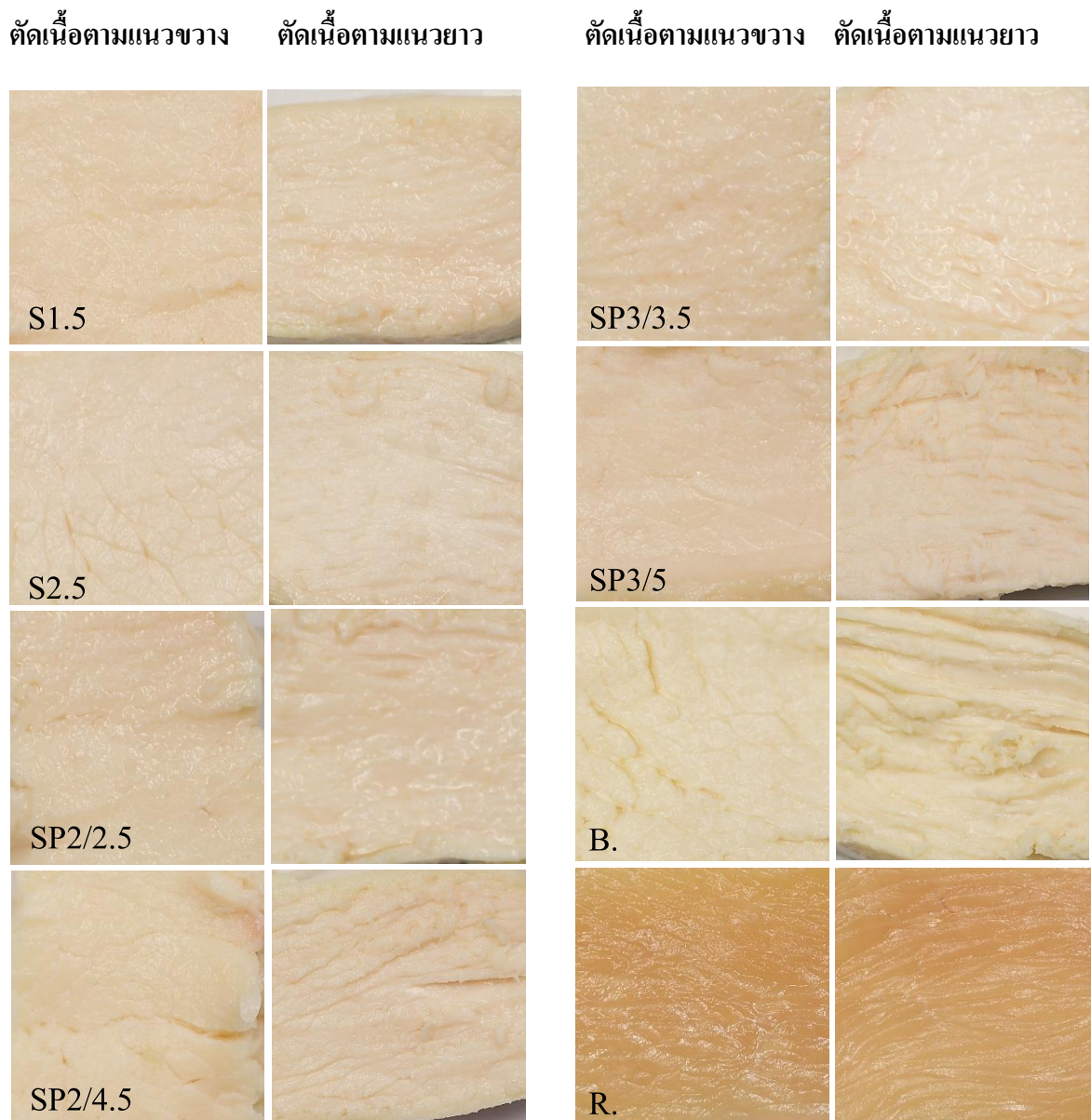
aggregation ยิ่งไปกว่านั้นหากมีการให้ความร้อนเข้าไปในระบบก็สามารถเพิ่มการ aggregation ของโปรตีนได้มากยิ่งขึ้น (Iwasaki และคณะ, 2005) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Xing Chen (2014) ที่ศึกษาผลของความดันสูงต่อค่าการอุ้มน้ำของโปรตีน Myosin ของอกไก่ พบว่ามีค่าการอุ้มน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ที่ความดัน 100-400 MPa เนื่องจากความดันมีอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น การสูญเสียน้ำ พันธะไฮโดรเจน แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำ และแรง van der Waals ซึ่งความดันสูงส่งผลต่อพันธะที่เกิดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโปรตีน สอดคล้องกับผลการทดลองของ

ค่าการให้ความร้อนซ้ำที่ระดับความดันบรรยากาศ และความดัน 2 บาร์ พบว่าเมื่อออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่เวลานานขึ้น มีค่าต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ยกเว้นที่ระดับความดัน 3 บาร์ พบว่าเมื่อออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่เวลานานขึ้น มีค่าการให้ความร้อนซ้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากร้อยละ 24.28 เป็นร้อยละ 17.38 ยิ่งไปกว่านั้นที่ระดับความดันบรรยากาศ และความดัน 3 บาร์ พบว่าค่าการให้ความร้อนซ้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ค่าความแข็งที่ระดับความดันบรรยากาศ และความดัน 2 บาร์ พบว่าเมื่อออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่เวลานานขึ้น มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าประมาณ 34.24 - 34.64 นิวตัน และ 28.46 - 28.48 นิวตัน ตามลำดับ ยกเว้นที่ระดับความดัน 3 บาร์ พบว่าเมื่อออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่เวลานานขึ้น มีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จาก 29.67 นิวตัน เป็น 25.96 นิวตัน นอกจากนี้ พบว่าที่ระดับความดันบรรยากาศมีค่าความแข็งมากกว่าที่ระดับความดันที่ 2 และ 3 บาร์ อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ระดับความดันบรรยากาศ มีค่าความแข็งประมาณ 34.24 - 34.64 นิวตัน และที่ระดับความดัน 2 และ 3 บาร์ มีค่าความแข็งประมาณ 25.96 - 29.67 นิวตัน

ค่าความสว่างที่ระดับความดันบรรยากาศ และความดัน 2 บาร์ พบว่าเมื่อออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่เวลานานขึ้น มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าประมาณ 82.07-83.50 เมื่อเวลาผ่านไป ผลกระทบของความดันต่อเนื้อสัตว์ส่งผลทำให้เนื้อสัตว์นั้นมีลักษณะของสีที่เปลี่ยนแปลงไปคล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์ที่ผ่านการปรุงทั่วไป มีผลสืบเนื่องมาจากความดันมีอิทธิพลกับการ denature ของ myoglobin และปฏิกิริยา oxidation ทำให้ ferrous ใน myoglobin เปลี่ยนเป็น ferric กลายเป็น metmyoglobin เหมือนการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการให้ความร้อนแก่เนื้อสัตว์ (Serra และคณะ, 2007; Kruk และคณะ, 2011)

จากภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะปรากฏจากภาพถ่ายของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวีดโดยใช้ความดัน พบว่าอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวีดโดยใช้ความดันมีลักษณะที่ชุ่มฉ่ำมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอกไก่ต้ม (B.) ซึ่งสามารถเห็นรอยแยกของเส้นใยกล้ามเนื้อได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความดันเดียวกัน พบว่าอกไก่ที่ใช้เวลาน้อยกว่ามีลักษณะปรากฏที่ชุ่มฉ่ำกว่าสถานะที่ใช้เวลามากกว่า โดยที่ความดันบรรยากาศจากภาพ (S1.5) ใช้ระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง คูมีลักษณะที่ชุ่มฉ่ำมากกว่าภาพ (S2.5) ใช้เวลา 2.5 ชั่วโมง ซึ่งจะเริ่มเห็นรอยแยกของเส้นใยกล้ามเนื้อ แต่น้อยกว่าอกไก่ต้ม (B.) ในส่วนของสถานะที่ให้ความดันส่งผลเช่นเดียวกัน ลักษณะปรากฏชุ่มฉ่ำมากกว่า โดยที่ความดัน 2 บาร์ จากภาพ (SP2/2.5.) ใช้เวลา 2.5 ชั่วโมง คูมีลักษณะที่ชุ่มฉ่ำมากกว่าภาพ (SP2/4.5.) ใช้เวลา 4.5 ชั่วโมง ซึ่งเห็นรอยแยกของเส้นใยกล้ามเนื้อชัดเจน เนื่องจากการละลายของโปรตีนในกล้ามเนื้อ และ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้อลดลง (Marcos และคณะ, 2010) จากผลการทดลองข้างต้นจึงได้มีศึกษาโดยมีการนำตัวอย่างในสถานะดังกล่าวมาศึกษาผลของความดัน และเวลาที่มีต่อโครงสร้างกล้ามเนื้อของอกไก่ โดยเทคนิค SDS-PAGE ต่อไป



ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงการตัด เนื้อตามขวาง และตามยาวของเนื้ออกไก่ กำลังขยาย 1.8 เท่า

หมายเหตุ:	S1.5	หมายถึง 1.5 ชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศ
	S.2.5	หมายถึง 2.5 ชั่วโมง ที่ความดันบรรยากาศ
	SP2/2.5.	หมายถึง 2.5 ชั่วโมง ที่ความดัน 2 บาร์
	SP2/4.5	หมายถึง 4.5 ชั่วโมง ที่ความดัน 2 บาร์
	SP3/3.5	หมายถึง 3.5 ชั่วโมง ที่ความดัน 3 บาร์
	SP3/5.0	หมายถึง 5.0 ชั่วโมง ที่ความดัน 3 บาร์
	B	หมายถึง 100 องศาเซลเซียส 30 นาที ที่ความดันบรรยากาศ
	R	หมายถึง เนื้อดิบ

ตารางที่ 4.6 คุณลักษณะทางกายภาพของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวีดร่วมกับความดัน

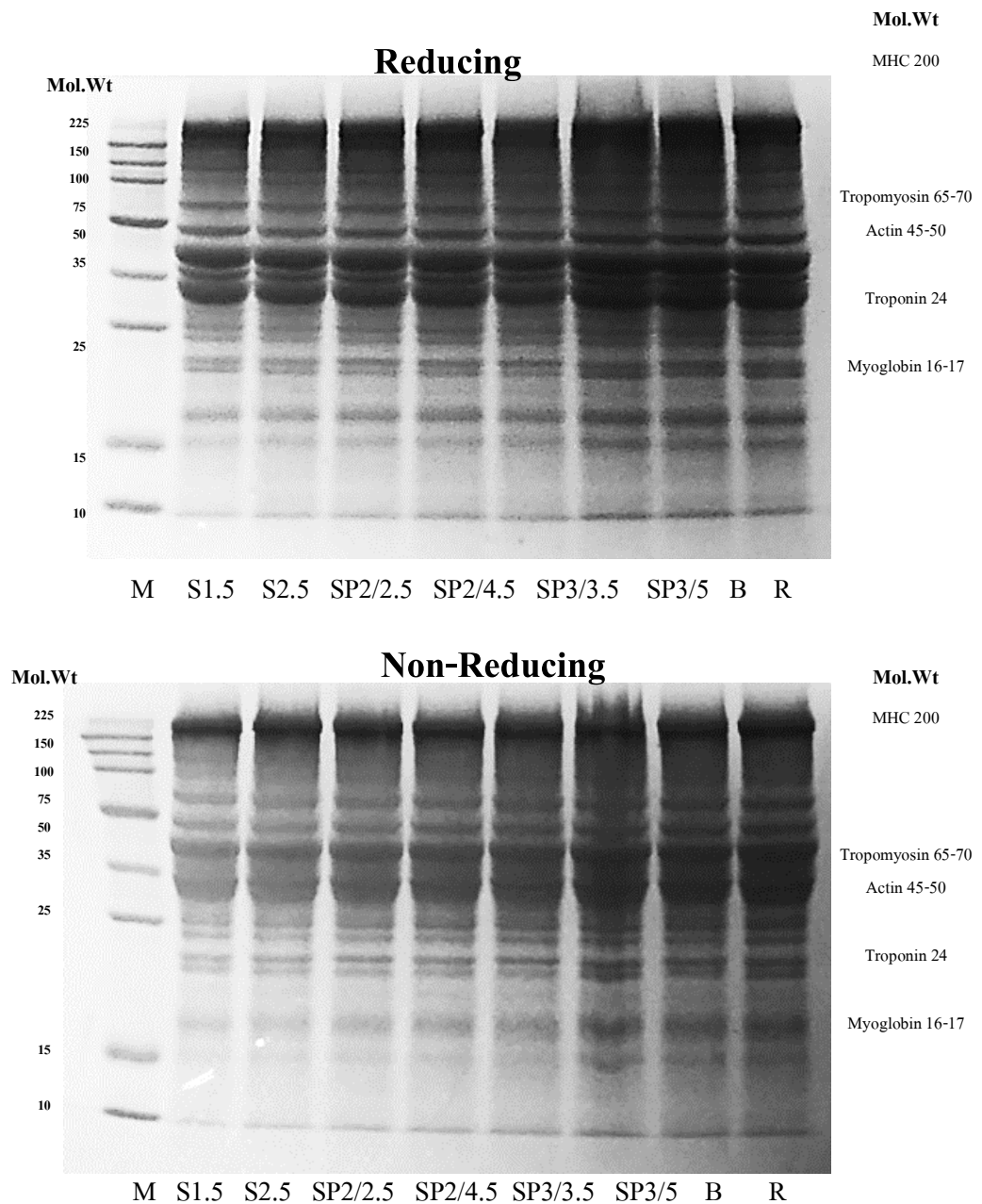
สภาวะ		คุณลักษณะทางกายภาพ					
ความดัน	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการสูญเสียน้ำหนัก	ค่าความสามารถใน	ค่าการสูญเสียน้ำหนัก	ค่าความแข็ง	ค่าสี	
		หลังกระบวนการซูวีด (%)	การอุ้มน้ำ (%)	หลังการให้ความร้อนซ้ำ (%)	(นิวตัน)	ค่าความสว่าง(L*)	ค่าสีแดง (a*)
บรรยากาศ	1.5	10.60±1.42 <sup>aa</sup>	67.36±2.20 <sup>ba</sup>	20.04±1.53 <sup>ba</sup>	34.64±4.98 <sup>cb</sup>	82.07±2.09 <sup>aa</sup>	2.83±0.99 <sup>abA</sup>
	2.5	13.06±3.71 <sup>ba</sup>	64.89±2.54 <sup>abA</sup>	19.06±2.42 <sup>bcA</sup>	34.24±6.01 <sup>bcB</sup>	83.50±1.65 <sup>aa</sup>	3.05±0.91 <sup>abA</sup>
2 บาร์	2.5	17.37±2.69 <sup>bb</sup>	66.60±3.62 <sup>abA</sup>	25.82±4.09 <sup>bcB</sup>	28.46±4.71 <sup>bcA</sup>	82.65±1.34 <sup>aa</sup>	3.38±1.10 <sup>abA</sup>
	4.5	20.17±4.05 <sup>cb</sup>	64.65±2.84 <sup>aa</sup>	24.17±3.23 <sup>cb</sup>	28.48±2.58 <sup>abA</sup>	83.30±0.72 <sup>aa</sup>	3.38±0.85 <sup>abA</sup>
3 บาร์	3.5	19.69±1.52 <sup>cb</sup>	63.48±1.72 <sup>aa</sup>	24.28±3.81 <sup>ca</sup>	29.67±5.59 <sup>ba</sup>	83.16±0.60 <sup>ab</sup>	2.66±0.82 <sup>aa</sup>
	5.0	15.72±2.14 <sup>bb</sup>	67.18±1.50 <sup>ba</sup>	17.38±1.88 <sup>aa</sup>	25.96±2.52 <sup>aa</sup>	87.11±1.03 <sup>bb</sup>	3.57±0.54 <sup>ba</sup>

หมายเหตุ <sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในแนวนั่ง หมายถึงความแตกต่างกันของปัจจัยเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>A,B</sup> ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแนวนั่ง หมายถึงความแตกต่างกันของปัจจัยความดันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2. ผลของความดัน และเวลาที่มีต่อรูปแบบโปรตีนของอกไก่ โดยเทคนิค SDS-PAGE

จากการนำตัวอย่างที่ผ่านการชงในสภาวะดังข้อที่ 4.1.6 มาศึกษาผลของความดัน และเวลาที่มีต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงโปรตีนของเนื้ออกไก่ชงและน้ำที่ออกมาจากอกไก่ที่ผ่านการชง โดยเทคนิค SDS-PAGE (Exudate) ในสภาวะ reducing และ non-reducing มีผลดังต่อไปนี้

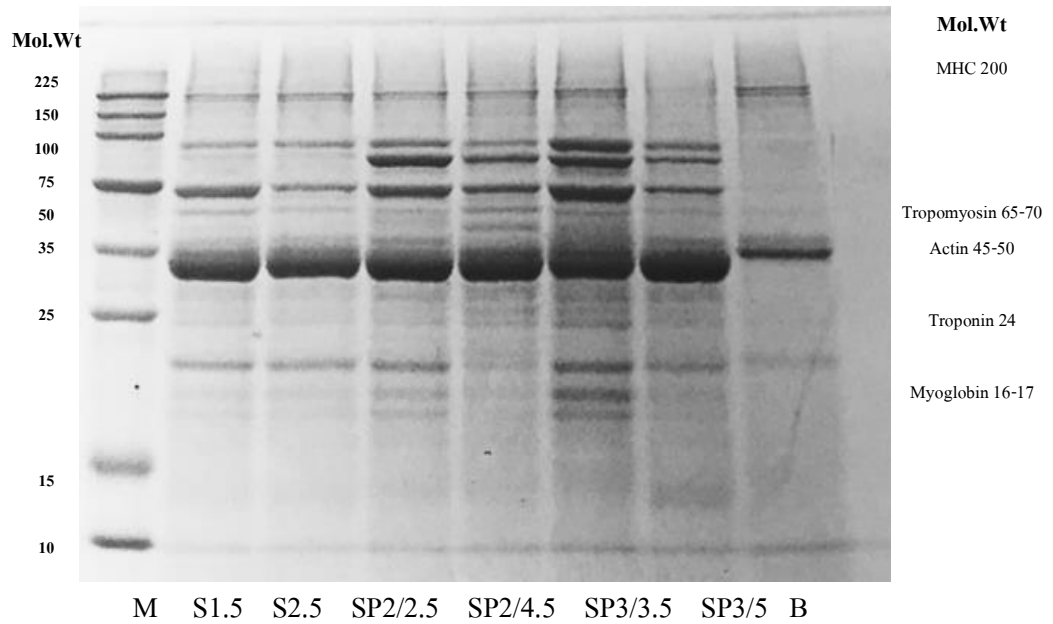


ภาพที่ 4.2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงโปรตีนของตัวอย่างเนื้ออกไก่ในสภาวะ Reduce และ Non-reduce

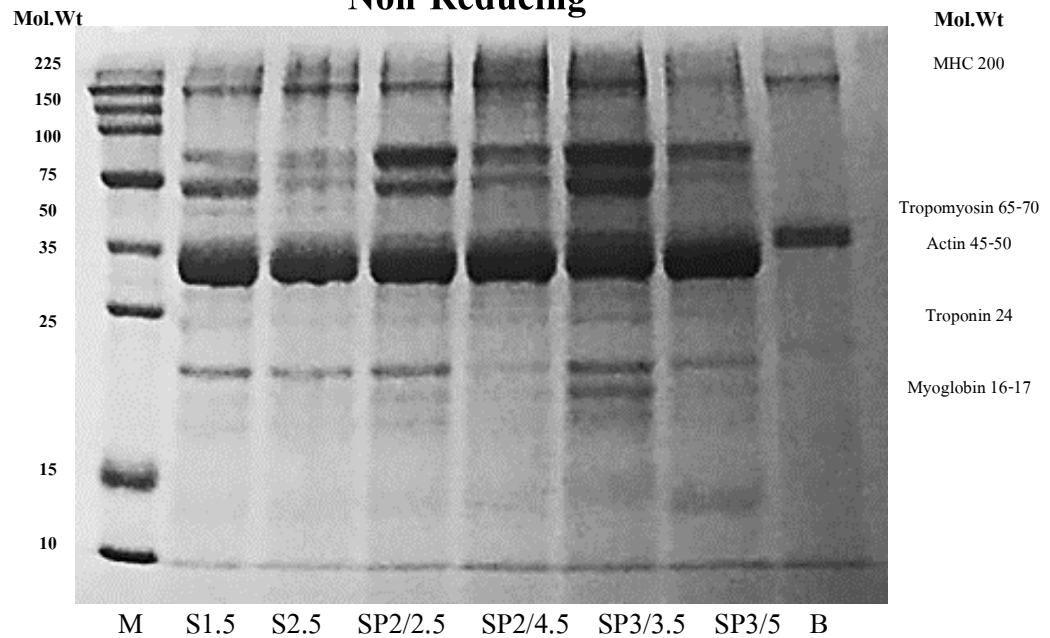
จากการศึกษารูปแบบโปรตีนของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการชุว้ดร่วมกับความดัน โดยใช้เทคนิค SDS-PAGE แบ่งตัวอย่างออกเป็น อกไก่ดิบ อกไก่ต้ม 100 องศาเซลเซียส 30 นาที (B.) อกไก่ชุว้ดที่เวลา 1.5 ชั่วโมง ความดันบรรยากาศ (S1.5) อกไก่ชุว้ดที่เวลา 2.5 ชั่วโมง ความดันบรรยากาศ (S2.5) อกไก่ชุว้ดที่เวลา 2.5 ชั่วโมง ความดัน 2 บาร์ (SP2/2.5) อกไก่ชุว้ดที่เวลา 4.5 ชั่วโมง ความดัน 2 บาร์ (SP2/4.5) อกไก่ชุว้ดที่เวลา 3.5 ชั่วโมง ความดัน 3 บาร์ (SP3/3.5) และ อกไก่ชุว้ดที่เวลา 5 ชั่วโมง ความดัน 3 บาร์ (SP3/5) ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่าทุกสภาวะการทดลองมีลักษณะรูปแบบของแถบ (band) หลักเหมือนกัน พบ 3 แถบ ขนาดประมาณ 200 kDa ประมาณ 65-70 kDa และประมาณ 45-50 kDa ซึ่งเป็นโปรตีนชนิด MHC Tropomyosin และ Actin นอกจากนั้นพบ แถบเล็กๆอยู่อีก 12 แถบ ได้แก่ 88 kDa 70 kDa 51 kDa 44 kDa 34 kDa 26 kDa 24 kDa 22 kDa 21 kDa 16 kDa 13 kDa และ 9 kDa ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Xiong, (1994) ได้แสดงแถบของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ โดยพบว่าไมโอซินมีปริมาณถึงร้อยละ 43 แบ่งออกเป็น myosin heavy chains และ myosin light chains ซึ่ง myosin heavy chains มีขนาดโมเลกุลเท่ากับ 200 kDa และ myosin light chains มีขนาดโมเลกุลเท่ากับ 15 ถึง 27 kDa

นอกจากนี้มีแถบโปรตีนขนาดเล็กแตกต่างกันระหว่าง Reducing กับ Non-reducing ซึ่งพบว่า Reducing มีมากกว่า Non-reducing ทั้งสิ้น 3 แถบ ซึ่งขนาดประมาณ 88 kDa ประมาณ 70 kDa และประมาณ 34 kDa

### Reducing



### Non-Reducing



ภาพที่ 4.3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงโปรตีนของตัวอย่าง Exudate ในสภาวะ Reduce และ Non-reduce

จากการศึกษารูปแบบโปรตีนของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดัน โดยใช้เทคนิค SDS-PAGE ในส่วนของ exudate ของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการใช้ความดันร่วมกับเวลา โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น อกไก่ต้ม 100 องศาเซลเซียส 30 นาที และอกไก่ซูวิดที่เวลา 1.5 ชั่วโมง ความดันบรรยากาศ อกไก่ซูวิดที่เวลา 2.5 ชั่วโมง ความดันบรรยากาศ อกไก่ซูวิดที่เวลา 2.5 ชั่วโมง ความดัน 2 บาร์ อกไก่ซูวิดที่เวลา 4.5 ชั่วโมง ความดัน 2 บาร์ อกไก่ซูวิดที่เวลา 3.5 ชั่วโมง ความดัน 3 บาร์ และอกไก่ซูวิดที่เวลา 5 ชั่วโมง ความดัน 3 บาร์ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าทุกสภาวะมีลักษณะรูปแบบที่แตกต่างกันไปแต่ละสภาวะ โดยที่ Reducing มี แถบหลัก และ แถบขนาดเล็กต่างกันไปตามแต่ละสภาวะ ซึ่งอกไก่ซูวิดที่เวลา 1.5 ชั่วโมง และที่เวลา 2.5 ชั่วโมง ความดันบรรยากาศ มีแถบทั้งหมด 12 แถบเหมือนกัน โดยมี แถบหลัก ทั้งหมด 2 แถบ มีขนาดประมาณ 48 kDa และ 75 kDa นอกจากนั้นมีแถบเล็กๆอยู่อีก 10 แถบ คือ 128 kDa 105 kDa 99 kDa 65 kDa 41 kDa 36 kDa 27 kDa 23 kDa 20 kDa และ 10 kDa แต่ที่เวลา 2.5 ชั่วโมง แถบจะมีความเข้มข้นน้อยกว่าที่เวลา 1.5 ชั่วโมง (ภาคผนวก ก.3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vojdani (1996) พบว่าอัตราการละลายที่ลดลงของโปรตีนนั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลระหว่างโปรตีน-น้ำ และ โปรตีน-โปรตีน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamm และ Hofmann (1965) การให้ความร้อนแก่ระบบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพันธะไดซัลไฟด์ของหมู่ไทออล หรือหมู่ซัลไฮดิลของซิสเตอีน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อลักษณะทางกายภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เนื้อสัมผัส ในส่วนของเวลาที่ 2.5 ชั่วโมง ความดัน 2 บาร์ พบว่ามีแถบทั้งหมด 12 แถบเหมือนกันกับที่ซูวิด ปกติ มี แถบหลัก ทั้งหมด 3 แถบ มีขนาดประมาณ 99 kDa 75 kDa และ 48 kDa

เนื่องจากความดันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของโปรตีน ทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว และเสียสภาพ หรืออาจจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบขึ้นมาใหม่ อาจเกิด Coagulation Aggregation หรือ Gelation ได้ ความดันสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจน และพันธะ disulfide ได้ (Grossi และคณะ, 2016)

จากผลการทดลองของ Non-Reduce พบว่าเมื่อให้ความดันแก่ออกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดที่ความดัน ทั้ง 2 บาร์ และ 3 บาร์ มีแค่ในสภาวะการซูวิดปกติเท่านั้น ทำให้ไม่พบโปรตีนขนาด 58 kDa นอกจากนั้นที่เวลา 3.5 ชั่วโมง ความดัน 3 บาร์ พบโปรตีนขนาด 99 kDa ส่วนที่นั้นพบความดัน 3 บาร์ ทั้ง 2 ช่วงเวลายังพบโปรตีนขนาด 13 kDa ได้อีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้นที่สภาวะ 1.5 ชั่วโมง ความดันบรรยากาศ ที่ 2.5 ชั่วโมง ความดัน 2 บาร์ และที่ 3.5 ชั่วโมง ความดัน 3 บาร์ พบโปรตีนขนาด 20 kDa ซึ่งทั้ง 3 สภาวะคือสภาวะที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการทำให้เนื้อนุ่ม โดย Galazka และ Ledward (1998) ได้อธิบายว่าการที่สมดุลของโครงสร้างดิสซัลฟิด และ จูโรนัมถูกทำลายด้วยความ

ร้อนและความดันส่งผลต่อตัวโปรตีนของเนื้อสัตว์โดยตรง ซึ่งความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำ จะส่งผลกระทบต่อสายโปรตีน ทำให้โปรตีนเกิดการคลายตัว หลังจากนั้นโปรตีนเกิดการ form ตัวใหม่โดยอาจทำให้เกิดพันธะ disulfide เกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อโปรตีน และเนื้อสัมผัสของเนื้อสัตว์ได้ เมื่อให้ความร้อนเป็นระยะเวลาานาน (Hamm และ Hofmann., 1965) นอกจากนั้นภายใต้สภาวะการให้ความดันอาจจะทำให้เกิดการแยกตัวของ actomyosin กลายเป็น actin และ myosin ซึ่งส่งผลต่อการละลายตัวของโปรตีน myofibrillar ได้อีกด้วย (Macfarlane, 1974)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

ระดับความดันและเวลาส่งผลต่อ ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิด ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง ค่าความแข็ง ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำของอกไก่อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ในช่วงแรกเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพ โดยค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังกระบวนการซูวิดและค่าความสว่าง เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าความแข็ง ในช่วงแรกมีการเพิ่มขึ้นของความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ยิ่งไปกว่านั้นค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อนซ้ำ มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นพบว่า คุณลักษณะทางกายภาพต่างๆ เปลี่ยนแปลงไม่ต่างกันมากนัก ขึ้นอยู่กับระดับของความดันและความดันที่ใช้ในการซูวิด นอกจากนี้พบว่าที่ระดับความดัน 2 บาร์ สามารถลดค่าความแข็งของเนื้ออกไก่ได้ต่ำกว่ากรณีที่ใช้ความดันบรรยากาศและระดับความดัน 3 บาร์ จากนี้ผลการทดลองพบว่าความดันส่งผลต่อรูปแบบโปรตีนของอกไก่และน้ำที่สูญเสียออกจากเนื้ออกไก่หลังจากศึกษาภายใต้สภาวะ reducing และ non-reducing โดยรูปแบบของโปรตีนของน้ำที่สูญเสียออกมาระหว่างกระบวนการนั้น พบโปรตีนที่มีมวลโมเลกุล ขนาด 58 kDa ในสภาวะความดันบรรยากาศที่เวลา 1.5 และ 2.5 ชั่วโมง ดังนั้นความดันและเวลาของอกไก่ที่ผ่านกระบวนการซูวิดร่วมกับความดันส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและการตรวจสอบรูปแบบของโปรตีน

#### ข้อเสนอแนะ

เทคนิค SDS-PAGE ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเชิงคุณภาพ อาจมีการทำแบบเชิงปริมาณเพื่อเปรียบเทียบความเข้มของรูปแบบของโปรตีนได้แม่นยำมากขึ้น

### บรรณานุกรม

- ชัยณรงค์ คันทพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.
- เชษฐชดา เชื้อสุวรรณ. ,มปป.ธุรกิจไก่เนื้อ. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.lhbank.co.th/Files/economic> (วันที่สืบค้น 10 สิงหาคม 2562)
- พาขวัญ ขงยศยิ่ง. 2562. รูปแบบการเลี้ยงไก่เนื้อในระบบอุตสาหกรรม. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- ตัณชัย จตุรติทธา. 2551. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. เชียงใหม่: มิ่งเมือง.
- Aaslyng, M. D., Bejerholm, C., Ertbjerg, P., Bertram, H. C. and Andersen, H. J. 2003. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. 14: 277-288.
- Aberle. E. D., Forrest. J. C., Gerrard. D. E., Mills. E. W., Hedrick. H. B., Judge. M. D. and Merkel. R. A. 2001. Principles of meat science. 4<sup>th</sup> ed. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Aguilera, J. M. 2018 Relating food engineering to cooking and gastronomy. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 17: 1-19.
- Aymerich, T., Picouet, P. A. and Monfort, J. M. 2008. Decontamination technologies for meat products. Meat Science. 78: 114-129.
- Ayub, H. and Ahmad, A. 2019. Physiochemical changes in sous-vide and conventionally cooked meat. International Journal of Gastronomy and Food Science. 17: 100-145.
- Bailey, A. J. and Light, N. D., 1989. Connective tissue in meat and meat products. Elsevier Applied Science, London.
- Barbut, S. 2015. Principles of meat processing. In: The Science of Poultry and Meat Processing. Available from: [http:// www.poultryandmeatprocessing.com](http://www.poultryandmeatprocessing.com) (accessed 10.01.18)
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L. and Stryer, L. 2002. W. H. Biochemistry. 5<sup>th</sup> ed. New York. Freeman and company.

- Bethany, A., Showell, J. R., Williams, M. D., Juliette C., Howe, K. Y., Patterson, J. M. and Roseland, J. M. H. 2012. USDA table of cooking yields for meat and poultry. Nutrient Data Laboratory. Beltsville Human Nutrition Research Center. Maryland. USA. P. 3.
- Botinestean, C., Keenan, F. D., Kerry, P. J. and Hamill, M. R. 2016. The effect of thermal treatments including sous-vide, blast freezing and their combinations on beef tenderness of *M. semitendinosus* steaks targeted at elderly consumer. *LWT-food science and technology*. 74: 154-159.
- Chatpong, U. and Apichartsrangkoon, A. 2009. Dynamic viscoelastic characterisation of ostrich-meat yor following pressure, temperature and holding time regimes. *Meat Science*. 81: 426-432. (Thai sausage)
- Cheftel, J. C. and Culioli, J. 1997. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Science*. 46: 211-236.
- Choi, T. -H. 2015. Glocalisation of English Language Education: Comparison of Three Contexts in East Asia. *Sociological and Philosophical Perspectives on Education in the Asia-Pacific Region*. 147-164.
- Choi, M. J., Park, H. K., Yun, G. S., Lee, W., Luhmann, N. C., Lee, K. D., Ko1, W.H., Park, Y.S., Park, B. H. and In, Y. 2016. 2D/3D electron temperature fluctuations near explosive MHD instabilities accompanied by minor and major disruptions. *Nuclear Fusion*. 56(6): 066013.
- Colmenero, F. J. 2002. Muscle protein gelation by combined use of high pressure/ temperature. *Trends in Food Science and Technology*. 13: 22-30.
- Forrest, J. C., Aberle, E. D., Hedrick, H. B., Judge, M. D. and Merkel, R. A. 1975. *Principles of meat science*. W.H. Freeman and Co. San Francisco. 417 pp.
- Galazka, V. B. and Ledward, D. A. 1998. High pressure effects on biopolymer. In: Hill SE, Ledward DA, Mitchell JR. editors. *Functional properties of food macromolecules*. Gaithersburg, Md: Aspen Publishers Inc. 278-301.

- García-Segovia, P., Andrés-Bello, A. and Martí-nez-Monzo', J. 2007. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (*M. pectoralis*). *Journal of Food Engineering*. 80: 813–821.
- Gross, M., and Jaenicke, R. 1994. Proteins under pressure. The influence of high hydrostatic pressure on structure, function and assembly of proteins and protein complexes. *European Journal of Biochemistry*. 221: 617–630.
- Grossi, A., Olsen, K., Bolumar, T., Rinnan, Å., Øgendal, L. H. and Orlien, V. 2016. The effect of high pressure on the functional properties of pork myofibrillar proteins. *Food Chemistry*. 196: 1005-1015.
- Haibo, Z., Guoyuan, X., Minyi, H., Shaolin, D., Xinglian, X. and Guanghong, Z. 2015. High pressure/thermal combinations on texture and water holding capacity of chicken batters. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 30: 8-14.
- Hamm, R. and Hofmann, K. 1965. Changes in the sulphhydryl and disulphide groups in beef muscle proteins during heating. *Nature*. 207: 1296-1271.
- Heymann, H., Hedrick, H. B., Karrasch, M. A., Eggeman, M. K. and Eilersieck, M. R. 1990. Sensory and chemical characteristics of fresh pork roasts cooked to different centre temperatures. *Journal of Food Science*. 55: 613-617.
- Hong, G., Park, S., Kim, J. and Min, S. 2006. The effects of high pressure and various binders on the physico-chemical properties of restructured pork meat. *Asian Aust. J. Animal Science*. 19: 1484.
- Hygreeva, D., Pandey, M. C. and Chauhan, O. P. 2016. Effect of high-pressure processing on quality characteristics of precooked chicken patties containing wheat germ oil wheat bran and grape seed extract. *Journal of Food Processing and Preservation*. 00: 1-13.
- Ishiwatari, N., Fukuoka, M., and Sakai, N. 2013. Effect of protein denaturation degree on texture and water state of cooked meat. *Journal of Food Engineering*. 117: 361-369.
- Kato, K., Suzuki, K., Bannai, M. and Moore, D. R. 2016. Protein requirements are elevated in endurance athletes after exercise as determined by the indicator amino acid oxidation method. *PLOS ONE*. 11: 1-15.

- Kelly, R. P., Foley, M. M., Fisher, W. S., Feely, R. A., Halpern, B. S., Waldbusser, G. G. and Caldwell, M. R. 2011. Mitigating Local Causes of Ocean Acidification with Existing Laws. *Science*. 332(6033): 1036-1037.
- Khan, M. A, Ali, S., Abid, M., Cao, J., Jabbar, S., Tume, R. K. and Zhou, G. 2014. Improved duck meat quality by application of high pressure and heat: A study of water mobility and compartmentalization, protein denaturation and texture properties. *Food Research International*. 62: 926-933.
- Kim, C.J. and Lee, E.S. 2003. Effect of quality grade on the chemical, physical and sensory characteristic of Hanwoo (Korean native cattle) beef. *Meat Science*. 63(3): 397-405.
- Kim, H., Do, H. W., and Chung, H. 2017. A Comparison of the essential amino acid content and the Retention Rate by Chicken Part according to Different Cooking Methods. 37(5): 626-634.
- Kruk, Z.A., Yun, H., Rutlet, D.L., Lee, E.J., Kim, Y.J. and Jo, C. 2011. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control*. 22: 6–12.
- Laemmli, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during assembly of head of bacteriophage T4. *Nature*. 227: 680–685.
- Laakkonen, E., Wellintong, G. H. and Sherbon, J. W. 1972. Low temperature, long-time heating of bovine muscle: 1. Changes in tenderness, water-binding capacity, pH and amount of water-soluble components. *Journal of Food Science*. 35:175–177.
- Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B. and Bugeon, J. 2016. How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. *the scientific world journal*. 2016:14
- Macfarlan, J. J. 1974. Pressure induced solubilization of meat proteins in saline solution. *Journal of Food Science*. 39: 542-547.
- Marcos, B., Kerry, J. P., and Mullen, A. M. 2010. High pressure induced changes on sarcoplasmic protein fraction and quality indicators. *Meat Science*. 85: 115-112.

- Martens, H., Stabursvik, E. and Martens, M. 1982. Texture and color changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins. *Journal of Texture Studies*. 13: 291-309.
- McArdle, R., Marcos, B., Kerry, J. P. and Mullen, A. M. 2010. Monitoring the effect of high pressure processing and temperature on selected beef quality attributes. *Meat science*. 86(3): 629-634.
- Mountney, G. J. 1966. *Poultry products technology*. Westport, Connecticut, USA. AVI Publishing Co Inc.
- Oz, F. and Seyyar, E. 2016. Formation of heterocyclic aromatic amines and migration level of bisphenol-a in sous-vide cooked trout fillets at different cooking temperatures and cooking level. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 64(15): 3070-3082.
- Palka, K. and Daun, H. 1999. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine m. semitendinosus during heating. *Meat Science*. 51: 237-243.
- Penchalaraju, M. and Shireesha, B. 2013. Preservation of foods by high-pressure processing-A review. *Indian Journal of Science and Technology*. 1(3): 30-38.
- Pulgar, S.J., Gazquez, A. and Ruiz-Carrascal, J. 2012. Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time. *Meat science*. 90: 828-835.
- Robinson, H. W. and Hodgen, C. G. 1940. The biuret reaction in the determination of serum protein I. A study of the condition necessary for the production of the stable color which bears a quantitative relationship to the protein concentration. *Journal of Biological Chemistry*. 135: 707-725.
- Schellekens, M. 1996. New research sous-vide issues in cooking. *Trends in Food Science and Technology*. 7: 256-262.
- Serra, X., Grèebol, N., Guàrdia, M.D., Guerrero, L., Gou, P., Masoliver, P., Gassiot, M., Sáarraga, C., Monfort, J.M. and Arnau, J. 2007. High pressure applied to frozen ham at different process stages. Effect on the sensory attributes and on the colour characteristics of dry-cured ham. *Meat Science*. 75: 21-28.

- Shangger, H. and Jagow, V. G. 1987. Tricine-sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis for the separation of proteins in the range from 1 to 100 kDa. *Analytical Biochemistry*. 166(2): 368-379.
- Sheehan, D. 2000. *Physical Biochemistry Principles and Applications*. 1<sup>st</sup> ed. West Sussex.
- Supaphon, P., Kaewsaard, S., Peuchkamut, Y., Teerachaichayut, S., Srialong, P. and Kerdpi boon, S. 2013. Correlation determination between morphology, chemical compositions and physical properties of sirloin beef steak. The 52th of Kasetsart University Annual Conference, Bangkok, Thailand, pp. 201-208.
- Supaphon, P., Kerdpi boon, S., Puechkamut, Y., Teerachaichayut, S., Srialong, P. and Nonthanum, P. 2014. Surface images and physical properties correlation of sirloin steak by Pearson's correlation and multiple linear regression analysis. International Research Conference on Engineering and Technology, Bali, Indonesia.
- Tintchev, F., Bindrich, U., Toepfl, S., Strijowski, U., Heinz, V., and Knorr, D. 2013. High hydrostatic pressure/temperature modeling of frankfurter batters. *Meat Science*. 94: 376-387.
- Tornberg, E. 2005. Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*. 70: 493-508.
- Vaudagna, S. R., Sa'nchez, G., Neira, M. S., Insani, E. M., Picallo, A. B. and Gallinger, M. M., 2002. Sous vide cooked beef muscles: effects of low temperature-long time (LT-LT) treatments on their quality characteristics and storage stability. *International Journal of Food Science and Technology*. 37: 425-441.
- Vojdani, F. 1996 Solubility. In *methods of testing protein functionality*. London: Blackie Academic & Professional, Cap.1, p. 11-60.
- Xing, C., Cong-gui, C., Yan-zi, Z., Pei-jun, L., Fei, M., Tadayuki, N. and Atsushi, S. 2014. Effects of high pressure processing on the thermal gelling properties of chicken breast myosin containing k-carrageenan. *Food Hydrocolloids*. 40: 262-272.

- Xiong, Y. L. and Blanchard, S. P. 1994. Myofibrillar protein gelation: viscoelastic changes related to heating procedures. *Journal of Food Science*. 59(4): 734-738.
- Xiong, Y. L., Noel, D. C. and Moody, W. G. 1999. Textural and sensory properties of low-fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt. *Journal of Food Science*. 64(3): 550-554.
- Young, O. A. and West, J. 2001. Meat color. In Y. H. Hui, Wai-Kit Nip, R. W. Rogers, & O. A. Young (Eds.), *Meat science and applications* (pp. 39-69). New York: Marcel Dekker Inc.
- Zamri, A. I., Ledward, D. A. and Frazier, R. A. 2006. Effect of Combined Heat and High-Pressure Treatments on the Texture of Chicken Breast Muscle (*Pectoralis Fundus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(8): 2992-2996.
- Zheng, M., Huang, Y.W., Nelson, S.O., Bartly, P.G. and Gates, K.W. 1998. Dielectric properties and thermal conductivity of marinated shrimp and channel catfish. *International Journal of Food Science*. 63: 668-672.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Biuret method

(ดัดแปลงวิธีการจาก Robinson and Hodgen, 1940)

#### สารเคมี

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. Copper Sulfate ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )       | (Merck, Germany) |
| 2. Sodium Hydroxide (NaOH)  | (Sigma, USA)     |
| 3. Sodium Potassium Tartarate ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ) | (Merck, Germany) |
| 4. Bovine Serum Albumin (BSA)   | (Merck, Germany) |

#### วิธีการเตรียมสาร Biuret reagent

1. ละลาย  $\text{CuSO}_4$  0.75 กรัม ในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร
2. เติม  $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$  3 กรัม ละลายให้เข้ากัน
3. เติมน้ำละลาย 10 % NaOH 150 มิลลิลิตร
4. เก็บสารใส่ขวดสีชา

#### วิธีการวิเคราะห์

##### 1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

- 1.1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน BSA 1%
- 1.2. นำสารข้อ 1. ทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นต่างๆดังนี้
- 1.3. นำสารละลายที่มีโปรตีนละลายอยู่ (supernatant) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายไบยูเรตปริมาตร 2 มิลลิลิตร
- 1.4. นำไปผสมสารละลายด้วยเครื่อง vortex ตั้งทิ้งไว้เวลานาน 30-45 นาที

สารละลาย (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น (มิลลิลิตร)					
	1	2	3	4	5	6
BSA	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
H <sub>2</sub> O	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0

## 2. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

2.1. นำสารละลายที่มีโปรตีนตัวอย่างละลายอยู่ (supernatant) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายไบยูเรตปริมาตร 2 มิลลิลิตร

2.2. นำไปผสมสารละลายด้วยเครื่อง vortex ตั้งทิ้งไว้ 30-45 นาที

## 3. ขั้นตอนการตรวจวัด

3.1. นำตัวอย่างจากข้อ 1.4 และ 2.2 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน bovine serum albumin (BSA) เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน และใช้น้ำกลั่น 0.5 ml ผสมกับสารละลายไบยูเรตปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เป็นแบล็ก

3.2. กำหนดความเข้มข้นโปรตีนของสารละลายตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน

3.3. นำสารละลายตัวอย่างไปปรับความเข้มข้นด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้มีความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หากยังไม่วิเคราะห์ทันที สามารถเก็บตัวอย่างในขั้นตอนนี้โดยการแช่แข็ง ไม่เกิน 1 สัปดาห์

## ภาคผนวก ข

### การเตรียม Acrylamide gels

#### วิธีการ

1. ทำความสะอาดกระจก ที่วาง กรอบวาง ให้สะอาดและแห้ง ด้วยแอลกอฮอล์ 70% แล้วเช็ดด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ไปในทิศทางเดียวกัน
2. ประกอบคู่กระจกทั้ง 2 แผ่นเข้าด้วยกัน โดยใส่ปะเก็นกันรั่วระหว่างกระจกทั้ง 2 แผ่น จากนั้นยึดกระจกทั้ง 2 แผ่น ด้วยตัวหนีบกระจก โดยให้ปลายกระจกเสมอกัน และตั้งไว้บนพื้นที่เรียบ
3. กำหนดระยะ running gel โดยหลังจากใส่หัวรอง วัดระยะลงมาให้ห่างจากหัวรองประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร และทำสัญลักษณ์ไว้ที่กระจก
4. เตรียมสารละลาย running gel เข้มข้น 10 % โดยการปิเปตสารดังต่อไปนี้ตามลำดับ
  - 4.1 Distilled water ปริมาตร 5.95 มิลลิลิตร
  - 4.2 Tris-HCl ความเข้มข้น 1.5 M pH 8.8 ปริมาตร 3.75 มิลลิลิตร
  - 4.3 Acrylamide-bis ความเข้มข้น 30 % ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร
  - 4.4 SDS ความเข้มข้น 10 % ปริมาตร 150 ไมโครลิตร (หลังจากใส่ให้เขย่าเบาๆ 30 วินาที)
  - 4.5 APS ความเข้มข้น 10 % ปริมาตร 75 ไมโครลิตร
  - 4.6 TEMED ปริมาตร 7.5 ไมโครลิตร
5. เขย่าสารละลายเบาๆ แล้วปิเปตใส่ในช่องว่างระหว่างแผ่นกระจกจนถึงระดับที่ทำสัญลักษณ์ไว้ ระวังอย่าให้มีฟองอากาศปนอยู่
6. เติมน้ำกลั่นเบาๆ ลงบนหน้าเจล เพื่อให้ผิวเจลเรียบ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 45-60 นาที เพื่อให้เจลเซตตัว
7. เทน้ำกลั่นที่ปิดผิวหน้าเจลออก สังเกตผิวหน้าของเจลควรจะเรียบ

8. เตรียมสารละลาย stacking gel เข้มข้น 4 % โดยการปิเปตสารดังต่อไปนี้ตามลำดับ

8.1 Distilled water ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร

8.2 Tris-HCl ความเข้มข้น 1.5 M pH 8.8 ปริมาตร 1.875 มิลลิลิตร

8.3 Acrylamide-bis ความเข้มข้น 30 % ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร

8.4 SDS ความเข้มข้น 10 % ปริมาตร 75 ไมโครลิตร (หลังจากใส่ให้เขย่าเบาๆ 30 วินาที)

8.5 APS ความเข้มข้น 10 % ปริมาตร 37.5 ไมโครลิตร

8.6 TEMED ความเข้มข้น ปริมาตร 4.5 ไมโครลิตร

9. เขย่าสารละลายเบาๆ แล้วปิเปตใส่ในช่องว่างระหว่างแผ่นกระจกจนถึงระดับของขอบกระจก  
ระวังอย่าให้มีฟองอากาศปนอยู่

10. ใส่หัวรีองเข้ากับชุดกระจกที่ใส่สารละลายไว้ ตั้งทิ้งประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้เจลเซตตัว

11. เมื่อเจลเซตตัว ให้เอาหัวรีองออก พร้อมสำหรับประกอบเข้าชุดเพื่อทำการดำเนินการต่อไป

## ภาคผนวก ก.

### ขั้นตอนการ Run

#### 1. การ Run gel

นำเจลที่เซตตัวแล้วประกอบลงในเครื่อง จากนั้นเติมสารละลาย electrode buffer ลงใน chamber จนท่วมเส้นลวดเงิน ระวังอย่าให้มีฟองอากาศปนอยู่ ปิดประตูสารละลายตัวที่เตรียมจากข้อ 3.4.3.1) ปริมาตร 5 ไมโครลิตร ลงในช่องตัวอย่างของเจล ที่มีสารละลาย electrode buffer ท่วมอยู่ จนครบทุกตัวอย่าง จากนั้นต่อขั้วไฟของเครื่อง เข้ากับเครื่อง power supply กำหนดความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าคงที่ 120 มิลลิแอมป์ เมื่อ Run เครื่อง สังกะสี tracking dye เริ่มเคลื่อนที่เป็นแถบสีน้ำเงินจากขั้วลบลงสู่ขั้วบวก (จากด้านบนลงสู่ด้านล่างของเจล) สิ้นสุดกระบวนการ run เมื่อ แถบ ของ tracking dye เคลื่อนที่ห่างจากปลายล่างสุดของเจลประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร

#### 2. การแกะเจล

แกะเจลออกจากกระจก โดยใช้ spatula ในการนำแผ่นเจลออก อาจใช้น้ำรินเบาๆ เพื่อให้เจลร่อนออกจากกระจกอย่างง่าย

#### 3. การย้อมสีเจล

นำเจลที่แกะออกใส่กล่อง เติมสารละลาย fixing ให้ท่วมแผ่นเจล แช่ไว้โดยใช้เครื่องเขย่า rocker นาน 30 นาที นำสารละลาย fixing ออกจากนั้นเติมสารละลาย staining แช่ไว้โดยใช้เครื่องเขย่า rocker นาน 30-60 นาที เมื่อครบเวลาดำย้อมด้วยสารละลาย destaining ดำย้อมจนกระทั่งเห็นแบนด์ของโปรตีนชัดเจน และพื้นเจลไม่ติดสีย้อม

#### 4. การทำแห้งเจล

นำกระดาษแก้วที่ตรึงไว้บนแผ่นกระดาษเรียบ ฉีดด้วยกลีเซอรินเข้มข้น 20 % นำแผ่นเจลบนวางกระดาษแก้วที่ตรึงไว้ หลังจากนั้นปิดด้วยกระดาษแก้วอีก 1 แผ่น ริดให้เรียบ และไม่มีฟองอากาศ ฉีดด้วยกลีเซอรินเข้มข้น 20 % เพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นเจลแห้ง และแตกออก ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง ไม่ควรไว้ในที่ร้อนมาก และเมื่อแห้งให้ตัดกระดาษแก้วส่วนที่เกินออก จากนั้นนำไปทำให้เรียบโดยการใช้น้ำสีกอทับเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นเจลมีลักษณะงอหรือย่น

## 5. การวิเคราะห์ผล

นำแผ่นเจลที่แห้งแล้วไปสแกน เพื่อคำนวณ และวิเคราะห์ผล โดยสังเกตแบนด์ของโปรตีนที่แยกออกจากกันตามความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล วัฏระยะทางการเคลื่อนที่ของแต่ละแถบ ใช้ไม้บรรทัด เพื่อไปคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่าง เปรียบเทียบกับ โปรตีนมาตรฐาน

## ภาคผนวก ง.

## มวลโมเลกุลและร้อยละความเข้มของโปรตีน

ตารางที่ ง.1 มวลโมเลกุลและร้อยละความเข้มของแถบของตัวอย่างเนื้ออกไก่ Reduce

มวล โมเลกุล	ร้อยละ ความเข้มของแถบ (band)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
164	22.07	21.30	18.13	17.00	15.35	21.00	17.40	17.97
88	6.85	6.60	5.78	6.20	5.26	5.45	4.75	7.16
70	4.87	6.57	5.46	6.64	6.65	7.48	7.09	6.35
51	7.87	7.54	7.70	6.37	7.27	6.90	5.38	6.56
44	7.60	7.42	8.03	8.14	7.52	6.16	6.70	7.26
37	14.97	13.58	14.44	12.83	12.02	12.15	12.56	11.59
34	5.30	5.05	5.28	5.13	4.70	3.81	4.35	4.55
31	13.80	11.67	11.87	11.25	10.89	11.19	11.74	11.35
26	3.47	3.69	4.08	5.22	4.66	3.97	5.84	2.99
24	2.37	3.14	3.68	4.25	4.89	4.07	4.03	3.66
22	2.33	3.34	3.43	3.34	3.82	3.55	3.40	4.05
21	1.99	1.94	2.48	2.55	2.98	2.77	3.08	2.77
16	3.88	4.57	5.24	5.30	6.37	5.90	6.79	6.47
13	1.88	2.60	3.12	3.29	5.10	3.83	4.80	5.31
9	0.78	0.99	1.29	2.49	2.52	1.77	2.10	1.95

ตารางที่ ง.2 มวลโมเลกุลและร้อยละความเข้มของแถบของตัวอย่างเนื้ออกไก่ Non-Reduce

มวล โมเลกุล	ร้อยละความเข้มของแถบ (band)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
164	39.61	35.95	32.36	30.65	29.16	27.17	25.56	24.47
51	8.20	8.70	8.13	7.96	8.01	7.21	6.87	6.35
44	7.92	8.25	7.83	7.87	7.79	7.03	7.06	6.69
37	12.20	14.51	11.72	11.04	11.06	10.54	9.43	8.86
31	16.10	13.03	14.79	13.77	13.43	13.00	14.69	12.50
26	4.33	3.17	5.28	4.73	4.57	4.32	6.14	6.30
24	2.46	3.19	3.85	4.36	3.79	4.26	3.94	4.69
22	2.23	3.18	3.31	3.81	4.74	4.35	3.83	4.91
21	1.85	2.24	2.68	2.95	3.54	4.05	3.57	3.84
16	3.01	4.45	5.34	7.20	8.09	9.00	9.73	11.11
13	1.20	2.13	2.55	2.77	2.86	5.62	4.59	6.79
9	0.89	1.22	2.16	2.89	2.95	3.46	4.62	3.49

ตารางที่ 3.3 มวลโมเลกุลและร้อยละความเข้มของแถบของตัวอย่าง Exudate Reduce

มวล โมเลกุล	ร้อยละความเข้มของแถบ (band)						
	1	2	3	4	5	6	7
128	5.53	5.85	4.59	4.73	4.40	3.05	18.46
105	6.16	6.62	6.04	5.23	8.74	6.74	ns
99	3.64	2.70	13.10	10.20	10.48	7.36	ns
75	13.53	9.58	11.51	8.20	11.29	10.10	ns
65	5.29	4.71	4.38	5.57	4.85	6.28	ns
58	ns	ns	ns	6.53	ns	ns	ns
48	35.49	37.95	32.39	27.79	27.24	35.49	56.99
41	6.05	6.82	4.37	6.01	6.08	7.14	ns
36	4.66	5.59	3.28	4.75	4.88	5.02	ns
27	9.80	9.34	8.19	7.51	7.99	8.44	15.36
23	3.75	4.58	4.27	6.04	6.94	ns	ns
20	3.67	3.77	4.89	4.15	4.81	ns	ns
13	ns	ns	ns	ns	ns	7.31	ns
10	2.43	2.48	2.99	3.28	2.31	3.08	9.20

ตารางที่ 3.4 มวลโมเลกุลและร้อยละความเข้มของแถบของตัวอย่าง Exudate Non-Reduce

มวล โมเลกุล	ร้อยละความเข้มของแถบ (band)						
	1	2	3	4	5	6	7
142	8.77	9.39	6.65	11.06	ns	ns	ns
128	10.57	14.05	9.21	12.88	13.53	11.13	27.78
99	ns	ns	ns	ns	3.36	ns	ns
75	8.62	9.15	15.88	12.20	12.51	11.67	ns
65	14.16	8.12	11.62	9.38	11.60	6.52	ns
58	3.58	4.31	ns	ns	ns	ns	ns
48	35.91	38.06	29.60	32.59	18.54	28.79	46.68
41	2.37	3.48	4.28	3.56	4.63	5.49	ns
36	3.00	4.17	4.03	4.99	4.90	6.52	ns
27	5.56	6.07	6.51	4.19	5.45	7.21	ns
23	2.32	ns	4.48	4.15	5.45	5.16	ns
20	2.62	ns	4.82	ns	7.99	ns	ns
13	ns	ns	ns	ns	8.54	12.26	ns
10	2.50	3.20	2.92	4.99	3.51	5.25	25.54

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวเบญญาภา รัตนโรจน์ตระกูล
วันเดือนปีเกิด	3 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2538
เพศ	หญิง
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลสระบุรี จังหวัดสระบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 38/202 หมู่บ้านพรพิมาน กรีนวิว ถ. รังสิต- นครนายก หมู่ 1 ตำบลรังสิต อ.ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110
สัญชาติ	ไทย
E-mail	noodang_3238@hotmail.com
<b>ประวัติการศึกษา</b>	
2560-ปัจจุบัน	ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556-2560	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556-2551	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสารสาสน์วิเทศน์รังสิต
<b>ประสบการณ์ และผลงานวิจัย</b>	
มี.ค.-มี.ย. 2557	ทำงานเป็นผู้ช่วยนักวิทยาศาสตร์ที่บริษัท ซีพีเอฟ อาหารและเครื่องดื่ม จำกัด (หนอกจอก)
มี.ย.-ก.ค. 2558	นักศึกษาฝึกงานเป็นผู้ช่วยฝ่ายผลิตที่บริษัท โอสดสภา จำกัด (มหาชน)