

ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพของเนื้อไก่สด

นายธัชชนนท์ ชิตสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย



The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF HIGH PRESSURE PROCESSING ON QUALITY OF FRESH
CHICKEN MEAT

Mr. Thadchanon Chitsakun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพของเนื้อไก่สด
โดย	นายธัชชนนท์ ชิตสกุล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ทัดติยกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ทัดติยกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินจิต ประกิจชัยวัฒนา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ธัญญารัตน์ พงศ์ทรงกูร)

ธีชนนท์ ชิตสกุล : ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพของเนื้อไก่สด. (EFFECTS OF HIGH PRESSURE PROCESSING ON QUALITY OF FRESH CHICKEN MEAT) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์, อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ. ดร.จิรารัตน์ ทัดติยกุล, 75 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลาย S. Typhimurium คุณภาพการบริโภค และโครงสร้างของชิ้นเนื้ออกไก่สด งานวิจัยส่วนแรกคือหาภาวะที่เหมาะสมในการทำลาย S. Typhimurium 2-3 log cfu/g ภายในเวลา 10 นาที โดยเติม S. Typhimurium ลงบนชิ้นเนื้ออกไก่สดให้มีจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้น 10^7 cfu/g แล้วนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C เป็นเวลา 0.5-20 นาที จากผลการทดลองพบว่าที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ การลดลงของ S. Typhimurium ตามเวลาการแปรรูปเป็นไปตามสมการจลนพลศาสตร์อันดับที่ 1 เทียม เมื่อพิจารณาเวลาที่ทำให้จำนวน S. Typhimurium เริ่มต้นลดลง 1 log-cycle (D) พบว่าเมื่อเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิทำให้ค่า D ลดลง โดยที่ความดัน 400 MPa อุณหภูมิ 35 °C มีค่า D เพียง 0.25 นาที เมื่อพิจารณาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ของ S. Typhimurium ที่ความดันคงที่ (Z_T) พบว่าเมื่อเพิ่มความดันจาก 200 เป็น 400 MPa ให้ค่า Z_T เพิ่มขึ้นจาก 7.91 °C เป็น 84.75 °C หากพิจารณาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของ S. Typhimurium ที่อุณหภูมิกคงที่ (Z_p) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 เป็น 35 °C ค่า Z_p เพิ่มขึ้นจาก 93.46 MPa เป็น 200.00 MPa เลือภาวะการให้ความดันที่ 300 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 35 °C เป็นเวลา 1 นาที และ 400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 30 °C เป็นเวลา 1 นาที ซึ่งลดจำนวน S. Typhimurium บนผิวเนื้ออกไก่ได้ 2.34 log cfu/g และ 3.92 log cfu/g ตามลำดับ ในการศึกษาส่วนที่สองคือประเมินคุณภาพการบริโภคโดยวัดค่าสีในระบบ CIELAB ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity, WHC) ค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (cooking loss, CL) ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการเขี่ยชิ้นเนื้อ (shear force, SF) ซึ่งวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส และตรวจสอบโครงสร้างของเนื้อไก่ พบว่าหลังผ่านการให้ความดันในระดับที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่า L^* ของเนื้อไก่สด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ส่วนตัวอย่างเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการให้ความดันที่ระดับต่างๆ และต้มสุกแล้วมีค่า L^* a^* และ b^* ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากตัวอย่างเนื้อไก่สุกควบคุม ($p > 0.05$) ตัวอย่างเนื้อไก่สดที่ผ่านกระบวนการให้ความดันในระดับที่สูงขึ้นมีค่า WHC ลดลงและค่า CL เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างสดที่ผ่านกระบวนการมีค่า SF ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากตัวอย่างเนื้อไก่สดควบคุม ($p > 0.05$) แต่เมื่อผ่านการต้มสุกพบว่าตัวอย่างเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการที่ความดัน 300 และ 400 MPa มีค่า SF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเนื้อไก่สุกควบคุม จากการพิจารณาโครงสร้างของเนื้อไก่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าการแปรรูปที่ความดันสูงขึ้นทำให้โปรตีนบริเวณผิวของชิ้นเนื้อเสียหายและเกาะตัวกันมากขึ้น เกิดการหดตัวของมัดกล้ามเนื้อมากขึ้น และแยกตัวออกจากเยื่อเกี่ยวพันอย่างชัดเจน

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2554..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5172313823 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : High pressure / *Salmonella* Typhimurium / meat quality / chicken

THADCHANON CHITSAKUN : EFFECTS OF HIGH PRESSURE PROCESSING ON QUALITY OF FRESH CHICKEN MEAT. ADVISOR : KANITHA TANANUWONG, Ph.D., CO-ADVISOR : JIRARAT TATTIYAKUL, Ph.D., 75 pp.

This research aimed to study the effect of high pressure processing on destruction of *S. Typhimurium*, eating quality and structure of fresh chicken breast meat. The first part of the research was to determine optimum conditions to destroy 2-3 log cfu/g of *S. Typhimurium* within 10 minutes. Approximately 10^7 cfu/g of *S. Typhimurium* was inoculated onto the surface of the fresh meat samples. The samples were treated with high pressure at 200 - 400 MPa, 25 - 35 °C, for 0.5-20 min. The results showed that, at constant pressure and temperature, time-dependent inactivation of *S. Typhimurium* followed pseudo first-order kinetic. Increasing pressure and/or temperature led to decreasing decimal reduction time (D) values. D value of the treatment at 400 MPa, 35 °C was 0.25 min. The temperature resistance of *S. Typhimurium* at constant pressure was considered from Z_T value. When pressure increased from 200 MPa to 400 MPa, Z_T increased from 7.91 to 84.75 °C. The pressure resistance of *S. Typhimurium* at constant temperature was shown by Z_p value. When temperature increased from 25 to 35 °C, Z_p increased from 93.46 MPa to 200.00 MPa. The processing conditions of 300 MPa, 35 °C, 1 minute and 400 MPa, 30 °C, 1 minute, which led to 2.34 log cfu/g and 3.92 log cfu/g reduction of *S. Typhimurium*, respectively, were selected for further studies. The second part of the study was to evaluate the eating quality based on color in CIELAB system, water-holding capacity (WHC), cooking loss (CL), shear force (SF) using the Texture Analyzer. Structure of the meat samples was also determined. The results showed that the treatment at higher pressure resulted in significant increase in the L^* values of fresh chicken meat ($p \leq 0.05$) and increase in color difference (ΔE) compared to the control. But L^* , a^* and b^* values of the pressurised and cooked chicken meat was not significantly ($p > 0.05$) different from those of the cooked meat prepared from the control sample. The treatment at higher pressure resulted in significant decrease in the WHC and significant increase in the CL ($p \leq 0.05$). High pressure treatment did not cause significant change in SF of fresh chicken meat ($p > 0.05$). However, SF of the pressurised and cooked chicken meat increased significantly ($p \leq 0.05$) comparing to those of the cooked meat prepared from the control sample. Structural determination by scanning electron microscope showed that the treatment at higher pressure resulted in greater extent of protein denaturation/coagulation on surface of the chicken meat and the contraction of the muscle bundles, led to apparent separation of the muscle bundles from the connective tissues.

Department : Food Technology..... Student's Signature

Field of Study : Food Technology..... Advisor's Signature

Academic Year : 2011..... Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การปฏิบัติงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์เรื่อง ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพของเนื้อไก่สด (Effects of high pressure processing on quality of fresh chicken meat) ครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนาอนุวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ทัตติยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลือในทุกด้าน อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชื่นจิต ประกิจชัยวัฒนา และอาจารย์ ดร.ธัญญารัตน์ พงศ์ทรงกูร ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งกรุณาชี้แนะแนวทางตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ ภาควิชาสัตวแพทยศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ใช้เครื่อง high pressure processing ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และบุคลากร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย และขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติทุกคน ที่คอยเอาใจใส่ ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน และเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่ง รวมทั้งให้การสนับสนุนและส่งเสริมผู้วิจัยจนประสบผลสำเร็จในการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 เนื้อไก่สด.....	2
2.2 แบคทีเรียกลุ่ม <i>Salmonella</i>	12
2.3 กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง (high pressure processing, HPP).....	14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	19
3. การดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 ขอบเขตงานวิจัย.....	24
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	24
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	30
4.1 ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลาย <i>S. Typhimurium</i> DMST 28913.....	30
4.2 ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพการบริโภค.....	40
4.3 ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อโครงสร้างของเนื้อไก่สด.....	44
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
รายการอ้างอิง.....	50

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก การเตรียมหัวเชื้อ S. Typhimurium และการวิเคราะห์ทาง จุลินทรีย์.....	58
ภาคผนวก ข กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	62
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพการบริโภค.....	64
ภาคผนวก ง การตรวจสอบโครงสร้างของเซลล์.....	68
ภาคผนวก จ ข้อมูลการทดลองเพิ่มเติม.....	69
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ลักษณะเฉพาะของเส้นใยสีแดงและสีขาวในกล้ามเนื้อสัตว์ปีก.....	6
2.2	ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงและมีจำหน่ายทางการค้า....	18
4.1	ค่า D และค่า k ของการทำลาย <i>S. Typhimurium</i> DMST 28913 ภายใต้กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C.....	34
4.2	ค่า Z_T ของ <i>S. Typhimurium</i> DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่สดจากการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C.....	36
4.3	ค่า E_a สำหรับ <i>S. Typhimurium</i> DMST 28913 ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C.....	37
4.4	ค่า Z_p ของ <i>S. Typhimurium</i> DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่สดจากการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C.....	39
4.5	ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง-เขียว (a^*) ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) และความแตกต่างของสี (ΔE) ของผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	41
4.6	ความสามารถในการอุ้มน้ำและการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มของเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	42
4.7	ค่าที่บอกลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	44
๑.1	จำนวน <i>Salmonella</i> Typhimurium DMST 28913 หลังผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200 MPa.....	69
๑.2	จำนวน <i>Salmonella</i> Typhimurium DMST 28913 หลังผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 300 MPa.....	70
๑.3	จำนวน <i>Salmonella</i> Typhimurium DMST 28913 หลังผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 400 MPa.....	71
๑.3	จำนวน <i>Salmonella</i> Typhimurium DMST 28913 หลังผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 400 MPa (ต่อ)	72

ตารางที่		หน้า
ฉ.1	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง-เขียว (a^*) และค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ของผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	73
ฉ.2	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง-เขียว (a^*) และค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ของผิวเนื้อไก่สุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงก่อนปรุงสุก.....	73
ฉ.3	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและกาสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มของเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	73
ฉ.4	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	74
ฉ.5	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงก่อนปรุงสุก.....	74

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	กล้ามเนื้อโครงร่างของไก่.....	4
2.2	องค์ประกอบภายในโครงสร้างกล้ามเนื้อโครงร่าง.....	5
2.3	ลักษณะเซลล์ของกล้ามเนื้อโครงร่าง กล้ามเนื้อหัวใจ และกล้ามเนื้อเรียบ.....	7
2.4	การเปลี่ยนแปลงสถานะของไมโอโกลบินและฮีโมโกลบินในกล้ามเนื้อของสัตว์ปีก.....	9
2.5	ไบมีด Warner-Bratzler shear และ Kramer shear.....	11
2.6	ส่วนประกอบของระบบการแปรรูปด้วยความดันสูง.....	15
2.7	การเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิของสารตัวกลาง ระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง โดยให้ความดันที่ 300 MPa และอุณหภูมิเริ่มต้นของสารตัวกลางเท่ากับ 24.2 °C.....	16
4.1	จำนวน S. Typhimurium DMST 28913 ที่รอดชีวิตบนชิ้นเนื้อไก่ภายหลังการให้ความดันที่ 200 MPa อุณหภูมิ 25-35 °C เป็นเวลา 0-20 นาที.....	31
4.2	จำนวน S. Typhimurium DMST 28913 ที่รอดชีวิตบนชิ้นเนื้อไก่ภายหลังการให้ความดันที่ 300 MPa อุณหภูมิ 25-35 °C เป็นเวลา 0-12 นาที.....	32
4.3	จำนวน S. Typhimurium DMST 28913 ที่รอดชีวิตบนชิ้นเนื้อไก่ภายหลังการให้ความดันที่ 400 MPa อุณหภูมิ 25-35 °C เป็นเวลา 0-8 นาที.....	32
4.4	จลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่งแฝงของการทำลาย S. Typhimurium DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่เมื่อผ่านการให้ความดันที่ 300 MPa อุณหภูมิ 30 °C.....	33
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D ของการทำลาย S. Typhimurium DMST 28913 บนชิ้นเนื้อไก่ และอุณหภูมิ ภายใต้การแปรรูปด้วยความดันที่ 300-400 MPa....	36
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า k ของการทำลาย S. Typhimurium DMST 28913 และอุณหภูมิ ภายใต้การแปรรูปด้วยความดันที่ 300-400 MPa ซึ่งเป็นไปตามสมการ Arrhenius.....	37
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D ของการทำลาย S. Typhimurium DMST 28913 บนชิ้นเนื้อไก่ และความดัน ภายใต้การแปรรูปด้วยความดันที่ 300-400 MPa....	38
4.8	สีของเนื้อไก่สดที่ผ่านกระบวนการให้ความดันสูง (HPP) และไม่ผ่านกระบวนการ (ควบคุม).....	41

รูปที่	หน้า	
4.9	ภาพถ่ายของผิวเนื้อไก่สดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า.....	46
4.10	ภาพถ่ายภาคตัดขวางของเนื้อไก่สดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	47

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อไก่สดในรูปแบบเนื้อไก่สดแช่แข็งเป็นสินค้าส่งออกที่นำรายได้ให้แก่ประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ซึ่งพบว่าในปี 2544 มียอดการส่งออกคิดเป็นมูลค่า 24,592.18 ล้านบาท แต่ในปี 2552 ที่ผ่านมายอดการส่งออกรวมลดลงเหลือเพียง 1,283.55 ล้านบาท (กรมปศุสัตว์, 2553) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัญหาการระบาดของไข้หวัดนกในไก่ คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเนื้อไก่สดแช่แข็งจะขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในเนื้อไก่สด โดยทั่วไปจะมีจำนวนจุลินทรีย์ประมาณ 3-4 log cfu/g และไม่เกิน 5 log cfu/g (Vazgecer et al., 2004; Malpass et al., 2010) ซึ่งการควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมีฆ่าจุลินทรีย์ และควบคุมอุณหภูมิของซากให้ต่ำกว่า 4°C (สุภมณฑา วัฒนสินธุ์, 2549) กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงจัดเป็นหนึ่งในทางเลือกดังกล่าว กระบวนการนี้เป็นเทคนิคการถนอมอาหารโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูง ใช้กับตัวอย่างอาหารที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ โดยการจุ่มตัวอย่างอาหารลงในตัวกลางที่เป็นของเหลว ซึ่งความดันจะถูกส่งผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวอย่างฉับพลันและแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณของชิ้นอาหาร (Fellows, 2000) มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์เนื่องจากความดันจะทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียเกิดความเสียหาย และทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงของออร์แกนเนลล์ เช่น ไรโบโซมถูกทำลาย ส่งผลให้เซลล์ตาย (Murchie et al., 2005) อาหารที่สามารถแปรรูปด้วยความดันสูงนั้นจำเป็นต้องมีน้ำอิสระมากกว่า 40% หรือมีค่า a_w มากกว่า 0.95 เพื่อให้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อดีของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงมีหลายประการ เช่น รักษากลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร และไม่มีหลักฐานแสดงการเกิดสารพิษในอาหารเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง (Fellows, 2000; Balasubramaniam et al., 2008) งานวิจัยที่ศึกษาถึงคุณภาพทางจุลินทรีย์และคุณภาพการบริโภคของเนื้อไก่เต็มชิ้นที่ผ่านกระบวนการให้ความดันสูงยังมีอยู่จำกัด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลาย *Salmonella* Typhimurium คุณภาพการบริโภค และโครงสร้างของชิ้นเนื้อไก่สด และหาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการดังกล่าว เพื่อให้ได้เนื้อไก่สดที่มีคุณภาพด้านจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีคุณภาพการบริโภคที่ยอมรับได้ และสามารถนำผลงานที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรม

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 เนื้อไก่สด

เนื้อไก่เป็นอาหารที่เหมาะสมกับทุกช่วงอายุตั้งแต่เด็กแรกเกิดจนถึงผู้ใหญ่ รวมทั้งผู้ป่วยพักฟื้น และผู้ที่ควบคุมน้ำหนัก เพราะเนื้อไก่มีปริมาณกลูตามีนสูง ไชมันค่อนข้างต่ำ จึงมีปริมาณแคลอรีต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหมูและเนื้อวัว อีกทั้งเนื้อไก่ยังเป็นแหล่งโปรตีนซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นอย่างครบถ้วน เนื้อไก่สุกจะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มจึงเคี้ยวง่าย อีกทั้งยังย่อยง่าย และมีกลิ่นเฉพาะตัวที่ไม่แรงมากเมื่อนำไปผสมกับเครื่องปรุงหรืออาหารอื่น (Mountney, 1966)

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการ

2.1.1.1 ความชื้น

ความชื้นในเนื้อไก่จะมีค่าประมาณ 56-72% ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของซากไก่ โดยซากไก่ที่มีอายุน้อยจะมีความชื้นมากกว่าไก่ที่มีอายุมาก (Mountney, 1966; Volpato et al., 2008)

2.1.1.2 โปรตีน

เนื้อไก่เป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพสูง ซึ่งง่ายต่อการย่อยและมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ โดยเนื้อไก่ปรุงสุกมีปริมาณโปรตีนประมาณ 23-35% ซึ่งสูงกว่าเนื้อวัว เนื้อหมู และเนื้อแกะ (Mountney, 1966; Volpato et al., 2008)

2.1.1.3 ไชมัน

ปริมาณไชมันในซากสัตว์ปีกจะขึ้นอยู่กับอายุ เพศ และชนิดของสัตว์ปีก โดยไก่ตัวเมียจะมีปริมาณไชมันมากกว่าไก่ตัวผู้ ซึ่งจะพบปริมาณไชมันใต้ผิวหนังมากกว่าในเนื้อวัวหรือเนื้อหมู โดยเนื้ออกไก่ที่ผ่านการปรุงสุกจะพบไชมันประมาณ 1.3% และในเนื้อไก่จะมีสัดส่วนของไชมันที่ไม่อิ่มตัวสูงกว่าเนื้อวัว หรือเนื้อหมู แต่ต่ำกว่าไชมันหรือน้ำมันพืช (Mountney, 1966)

2.1.1.4 วิตามิน

สัตว์ปีกเป็นแหล่งของไนอะซิน (niacin) ไรโบฟลาวิน (riboflavin) ไทอะมิน (thiamin) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) โดยตับสดของไก่จะมีไนอะซิน 11.8 มล.

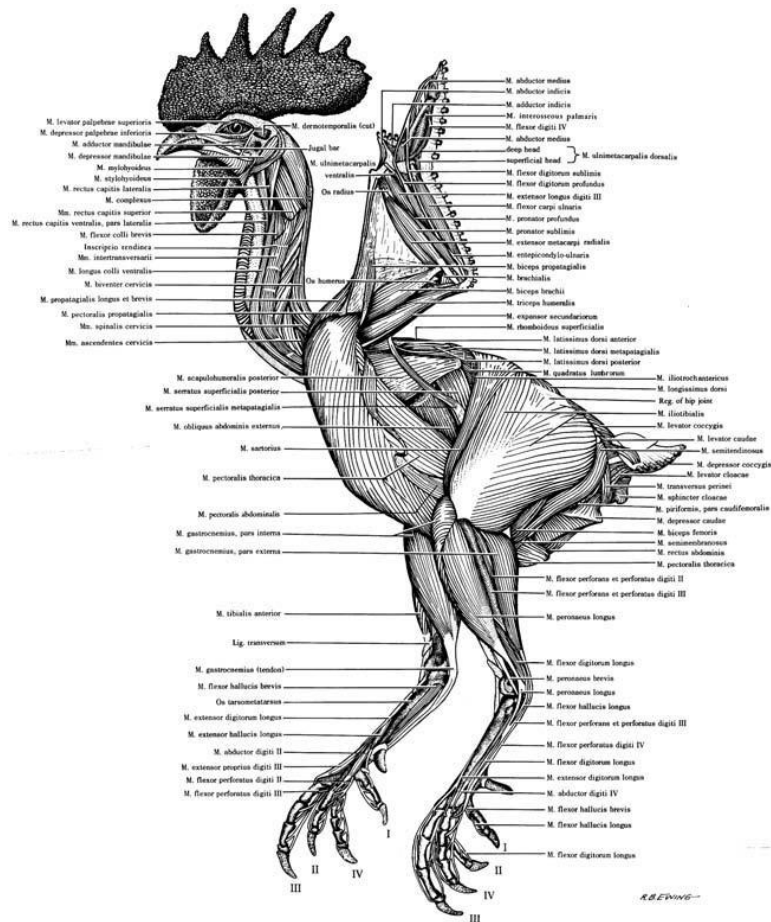
ไรโบฟลาวิน 2.46 มล. ไทอะมิน 0.2 มล. กรดแอสคอร์บิก 20 มล. และยังมีปริมาณวิตามินเอสูงถึง 32,500 I.U. (Mountney, 1966)

2.1.2 ลักษณะโครงสร้างกล้ามเนื้อของเนื้อไก่สด

สัตว์มีชีวิตมีกล้ามเนื้อที่ใช้สำหรับการทำงานต่างๆ โดยรูปร่างและโครงสร้างของกล้ามเนื้อแต่ละชนิดจะถูกออกแบบมาเพื่อทำงานที่เฉพาะเจาะจง เช่น กล้ามเนื้อที่ช่วยในการเคลื่อนที่ กล้ามเนื้อหัวใจช่วยในการไหลเวียนของเลือด และกล้ามเนื้อสำหรับใช้ล่าเหยื่ออาหารซึ่งเป็นกล้ามเนื้อชนิดที่ทำงานอยู่นอกเหนือการควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง โดยกล้ามเนื้อที่พบในร่างกายจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่ กล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle) และกล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) (Mountney, 1966; Barbut, 2002)

2.1.2.1 กล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle)

กล้ามเนื้อโครงร่างเป็นที่รู้จักอีกชื่อหนึ่งคือกล้ามเนื้อลาย ซึ่งลักษณะลายที่ปรากฏเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อและองค์ประกอบอื่น กล้ามเนื้อลายเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ภายใต้การควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง ภาพรวมของกล้ามเนื้อโครงร่างของไก่แสดงดังรูป 2.1 พบว่ากล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของไก่คือ กล้ามเนื้อบริเวณอก (*pectoralis major*) และกล้ามเนื้อที่เล็กที่สุดคือกล้ามเนื้อควบคุมการเคลื่อนไหวของลูกตา (Barbut, 2002)



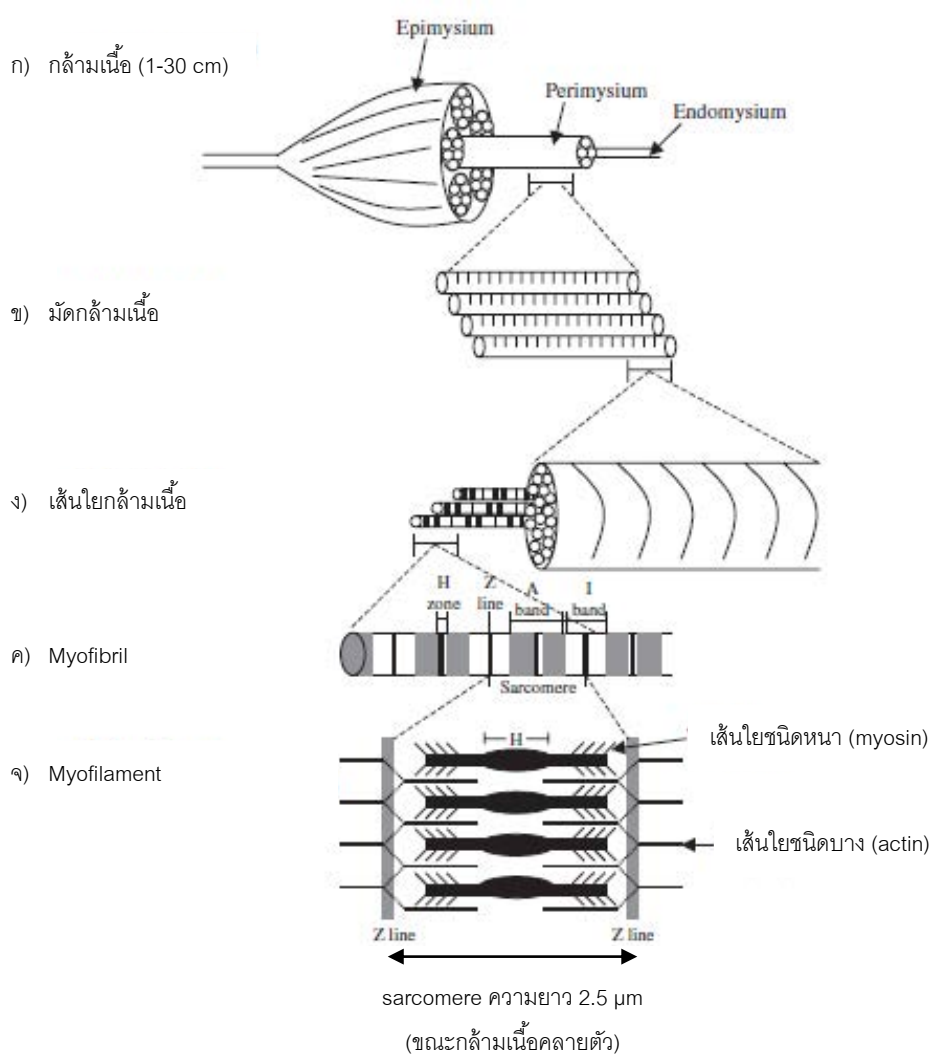
รูปที่ 2.1 กล้ามเนื้อโครงร่างของไก่

ที่มา: Barbut, 2002

ภายในกล้ามเนื้อขนาดใหญ่จะประกอบด้วยกลุ่มของมัดกล้ามเนื้อจำนวนมากที่เกาะกลุ่มและห่อหุ้มด้วย epimysium มัดกล้ามเนื้อแต่ละมัดจะถูกแยกออกจากกันโดยมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า perimysium ห่อหุ้มอยู่ (รูปที่ 2.2 ก) ซึ่งเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นสิ่งสำคัญที่นอกจากจะรวมเส้นใยกล้ามเนื้อให้เป็นรูปร่างแล้วยังใช้ส่งพลังงานจากหน่วยขนาดเล็กในกล้ามเนื้อที่เรียกว่า sarcomere ที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ภายในกล้ามเนื้อยังพบหลอดเลือดและกลุ่มของเส้นประสาทที่แทรกอยู่ภายในกล้ามเนื้อซึ่งควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Barbut, 2002)

ภายในมัดกล้ามเนื้อจะประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีการปกคลุมด้วยชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบางๆที่เรียกว่า endomysium (รูปที่ 2.2 ก และ ข) เส้นใยแต่ละอันประกอบด้วย myofibrils จำนวนมากที่มี myofilaments ภายใน ลักษณะลายตามขวางของกล้ามเนื้อลายจะเกิดจากการเรียงตัวของ myofilaments 2 ชนิด ชนิดแรกคือ actin ซึ่งเป็น

myofilament ชนิดบางเป็นแถบติดสีจาง และชนิดที่สองคือ myosin เป็น myofilament ชนิดหนา บริเวณที่มี actin สองแถบติดกันเรียกว่า I-band ระหว่างตรงกลางของ I-band จะมีเส้นบางๆ ที่มีสีค่อนข้างเข้มเรียกว่า Z-line ซึ่งส่วนของ myofilament ที่อยู่ระหว่าง Z-line ทั้งสองเส้น เรียกว่า sarcomere ซึ่งถือว่าเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดในการหดตัวของกล้ามเนื้อ บริเวณที่มีสีเข้มบนกล้ามเนื้อ เกิดจากการที่เส้นใยบางและหนาซ้อนทับกันเรียกว่า A-band นอกจากนี้ภายใน A-band จะพบบริเวณพื้นที่ที่ไม่มี myofilament ชนิดบาง เรียกว่า H-zone ในระหว่างการหดตัวของกล้ามเนื้อ myofilament ชนิดหนาจากเคลื่อนที่เข้าหากันจนไม่พบ H-zone ทำให้ระยะโดยรวมของ sarcomere สั้นลงทำให้เกิดการเคลื่อนไหว (รูปที่ 2.2 ค-จ) (Barbut, 2002)



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบภายในโครงสร้างกล้ามเนื้อโครงร่าง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Barbut, 2002

ในการค้าเนื้อสัตว์ปีก กล้ามเนื้อโครงร่างเป็นส่วนสำคัญที่นำมาแปรรูป โดยส่วนที่นิยมบริโภคจะแบ่งลักษณะสีของกล้ามเนื้อออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ เนื้อสีขาว (white meat) และ เนื้อสีเข้ม (dark meat) โดยเนื้อสีขาวจะหมายถึงกล้ามเนื้อบริเวณอก ส่วนเนื้อสีเข้มหมายถึงเนื้อจากบริเวณขา การจำแนกประเภทนี้ขึ้นอยู่กับสีโดยรวม ซึ่งเป็นผลมาจากสัดส่วนของเส้นใยสีแดง (red fiber) และเส้นใยสีขาว (white fiber) ภายในของกล้ามเนื้อ โดยกล้ามเนื้อส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของเส้นใยสีแดงและสีขาว มีเพียงส่วนน้อยที่มีองค์ประกอบของเส้นใยสีขาวหรือสีแดงเพียงอย่างเดียวทั้งหมด ส่วนเนื้อสีเข้มจะมีสัดส่วนของเส้นใยสีแดงสูงเมื่อเทียบกับเนื้อสีขาว สัดส่วนดังกล่าวมีผลต่อความแตกต่างของการเผาผลาญและการทำงานที่สำคัญระหว่างเนื้อสีเข้มและเนื้อสีขาว ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (Barbut, 2002)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะของเส้นใยสีแดงและสีขาวในกล้ามเนื้อสัตว์ปีก

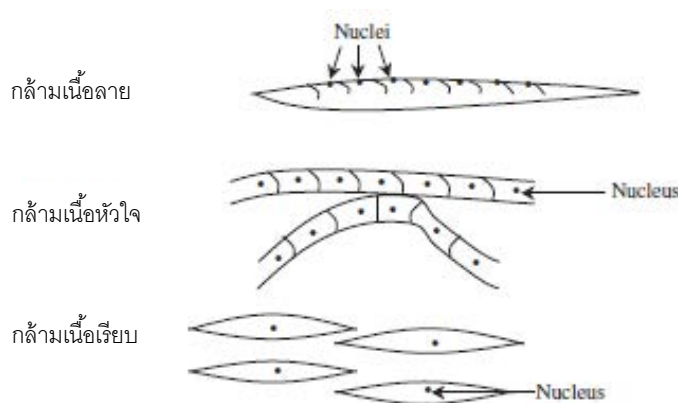
	เส้นใยสีแดง	เส้นใยสีขาว
ความเข้มข้นของไมโอโกลบิน (myoglobin concentration)	สูง	ต่ำ
สี (color)	แดง	ขาว
ความเร็วของการหดตัว (contraction speed)	ช้า	เร็ว
จำนวนของไมโทคอนเดรีย (mitochondria number)	มาก	น้อย
ขนาดของไมโทคอนเดรีย (mitochondria size)	ใหญ่	เล็ก
ระดับไกลโคเจน (glycogen content)	ต่ำ	สูง
glycolytic activity	ต่ำ	สูง
ระดับไขมัน (lipid content)	สูง	ต่ำ
oxidative metabolism	สูง	ต่ำ
เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (fiber diameter)	เล็ก	ใหญ่

ที่มา: ดัดแปลงจาก Barbut, 2002

2.1.2.2 กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)

เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีลักษณะเช่นเดียวกับกล้ามเนื้อโครงร่าง แต่ภายในเซลล์จะมีเพียงหนึ่งหรือบางครั้งสองนิวเคลียสต่อเซลล์ ในขณะที่เซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างมีนิวเคลียสจำนวนมากภายในหนึ่งเซลล์ ดังรูปที่ 2.3 การหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจจะเริ่มต้นตั้งแต่ระยะตัวอ่อนและมีจังหวะการหดตัวไม่คงที่ตามสิ่งกระตุ้น นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างกล้ามเนื้อ

หัวใจจะมีเส้นใยคล้ายตาข่ายและมีกึ่งก้าน ทั้งนี้เพื่อให้หัวใจแต่ละห้องต่อเชื่อมกัน อีกทั้งยังลดปริมาตรของหัวใจและใช้สูบฉีดเลือดไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบโครงสร้างที่เรียกว่า intercalated disks หนาแน่นตามแนวยาวของเส้นใย ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะช่วยยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยของกล้ามเนื้อหัวใจและช่วยส่งผ่านแรงจากการหดตัวไปยังเส้นใยอื่น กล้ามเนื้อหัวใจถูกควบคุมโดยระบบประสาท sympathetic และ parasympathetic ซึ่งอยู่นอกเหนือการควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง จึงทำให้กล้ามเนื้อหัวใจทำงานอยู่ตลอดเวลาและยังมีปริมาณเลือดสะสมอยู่มากส่งผลให้หัวใจมีสีแดงเข้ม (Barbut, 2002)



รูปที่ 2.3 ลักษณะเซลล์ของกล้ามเนื้อโครงร่าง กล้ามเนื้อหัวใจ และกล้ามเนื้อเรียบ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Barbut, 2002

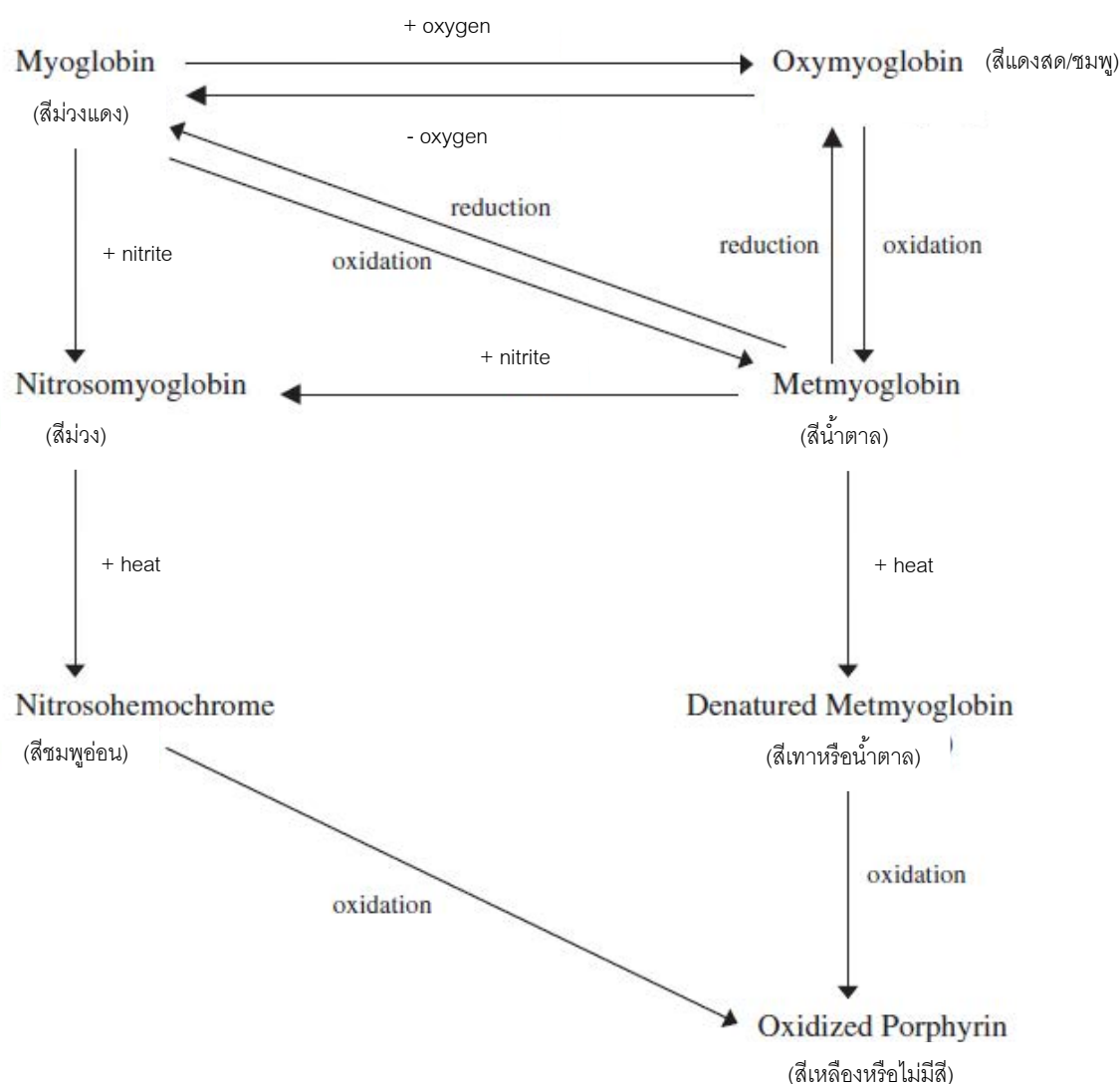
2.1.2.3 กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle)

กล้ามเนื้อเรียบมีลักษณะเซลล์ที่ค่อนข้างยาวและแคบ เส้นใยจะมีนิวเคลียสเดียวที่มักจะอยู่กึ่งกลางของเซลล์ ดังรูปที่ 2.3 กล้ามเนื้อเรียบมีความเกี่ยวข้องกับระบบอัตโนมัติในร่างกาย เช่นระบบย่อยอาหาร ผนังของหลอดเลือดแดง และบางส่วนของระบบสืบพันธุ์ สาเหตุที่กล้ามเนื้อเรียบไม่มีลักษณะลายกล้ามเนื้อเป็นเพราะโครงสร้างของ sarcomere ไม่จัดเรียงตัวเป็นแถบดังเช่นในกล้ามเนื้อโครงร่างและกล้ามเนื้อหัวใจ กล้ามเนื้อเรียบบางตำแหน่งของร่างกาย เช่นในระบบย่อยอาหาร จะพบชั้นของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะมีบางส่วนจัดเรียงตัวในลักษณะตั้งฉากขณะที่บางส่วนจะจัดเรียงตัวขนานกับพื้นผิวหน้า เนื่องจากการทำงานของระบบย่อยอาหารจะอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอาหารไปยังส่วนอื่นของร่างกาย (Barbut, 2002)

2.1.3 คุณภาพการบริโภคของเนื้อไก่สด

2.1.3.1 สี (color)

สีของเนื้อสัตว์เป็นสิ่งที่ผู้บริโภคสามารถรับรู้ได้ด้วยตาเปล่าและเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค โดยรงควัตถุ (pigments) ที่สำคัญที่พบในสัตว์ ได้แก่ ฮีโมโกลบิน (hemoglobin) เป็นรงควัตถุที่พบในเซลล์เม็ดเลือดแดงและไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกว่าและพบในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สีของเนื้อจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อายุ เพศ วิธีการฆ่า และชิ้นส่วนต่างๆของซาก เช่น เนื้อโคมีปริมาณไมโอโกลบินมากกว่าเนื้อไก่ จึงทำให้เนื้อโคมีสีเข้มมากกว่าเนื้อไก่ เนื้อจากสัตว์ตัวผู้จะมีไมโอโกลบินมากกว่าตัวเมีย นอกจากนี้กล้ามเนื้อของสัตว์บริเวณที่ต้องถูกใช้งาน เช่น เนื้อบริเวณน่องของไก่จะมีไมโอโกลบินมากกว่าเนื้อบริเวณอกทำให้เนื้อที่ได้มีสีเข้มกว่า ในโมเลกุลไมโอโกลบินประกอบด้วยสองส่วนหลักๆ คือส่วนของโปรตีนเรียกว่าโกลบิน (globin) และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนเรียกว่าฮีม (heme) โดยจะพบโมเลกุลของเหล็กเป็นองค์ประกอบในกลางโมเลกุลของฮีม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของโปรตีนที่ติดกับฮีมมีผลต่อสถานะของโมเลกุลเหล็ก (เช่น อยู่ในรูปรีดิวซ์หรือออกซิไดซ์) ทำให้ไมโอโกลบินเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี เช่นเดียวกับเลือดเมื่อได้รับออกซิเจนจากปอดจะทำให้เลือดมีสีแดง เมื่อเลือดส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อทำให้ไมโอโกลบินเปลี่ยนเป็นอยู่ในรูปออกซิไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) ทำให้เนื้อมีสีแดงสด ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสีแดงสดจะพบได้ในเนื้อส่วนขาของไก่ ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Mountney, 1966; Barbut, 2002; Lawrie and Ledward, 2006)



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงสถานะของไมโอโกลบินและสีในกล้ามเนื้อของสัตว์ปีก

ที่มา: ดัดแปลงจาก Barbut, 2002

2.1.3.2 ความสามารถในการกักน้ำ (water holding capacity)

ความสามารถในการกักน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อที่มีการบดหรือสับ เช่น ไส้กรอก เนื่องจากโครงสร้างของกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อถูกทำลายทำให้ของเหลวไหลออกจากโปรตีนได้ง่าย โดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ปีกจะมีความชื้นประมาณ 60-80% โดยน้ำจะจับกับโปรตีน และมีโปรตีนประมาณ 10-20% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบที่สำคัญอื่นๆ ได้แก่ ไขมัน (5-35%) ซึ่งปริมาณไขมันไม่ได้มีผลทำให้ความสามารถในการกักน้ำดีขึ้น เนื่องจากความสามารถในการกักน้ำของเนื้อสัตว์เกิดจากโปรตีน ความสามารถในการ

การอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์จะขึ้นอยู่กับชนิดของกล้ามเนื้อ ภาวะก่อนและหลังการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ และกระบวนการแปรรูป ซึ่งค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจะมีค่าลดลงเมื่อโปรตีนมีการเสียสภาพเพิ่มมากขึ้น (Barbut, 2002; Lawrie and Ledward, 2006)

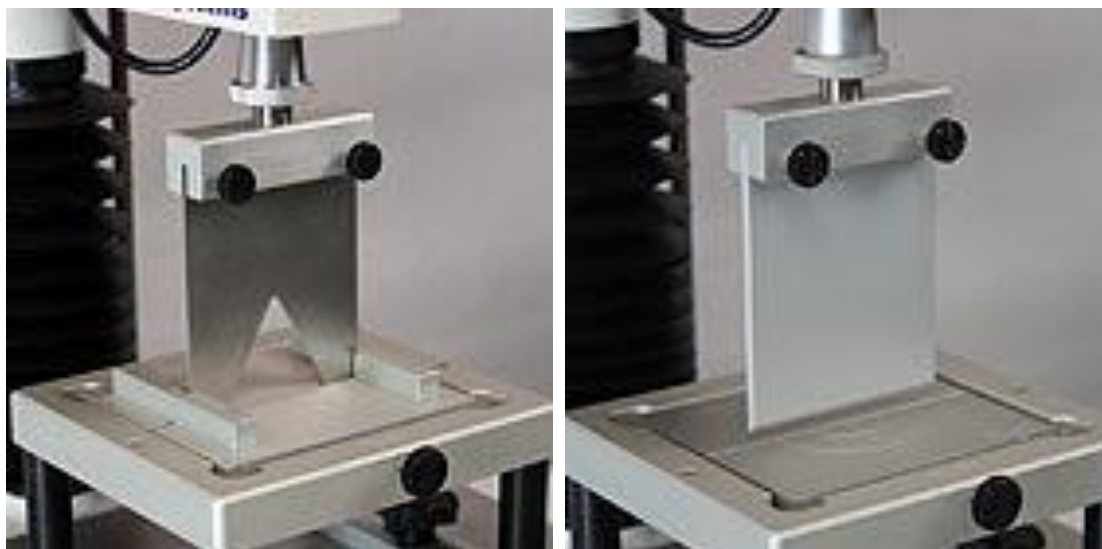
2.1.3.3 การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (cooking loss)

การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม นั้นเกิดจากการหดตัวของอาหารระหว่างการหุงต้ม โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักได้แก่ภาวะหลังการเกร็งตัว อายุของสัตว์ เพศ วิธีการปรุง เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการหุงต้ม ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มเนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีน ผนังเซลล์ถูกทำลาย เกิดการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อทั้งตามขวางและตามยาว เกิดการเสียสภาพและรวมตัวของซาร์โคพลาสมิกโปรตีน และเกิดการหดตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันทำให้ของเหลวภายในไหลออกมานอกกล้ามเนื้อ โดยมีส่วนของของเหลวที่ไม่ใช้น้ำไหลปนออกมา ทั้งนี้เพราะการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ไขมันภายในกล้ามเนื้อละลายและไหลปนออกมากับน้ำ ซึ่งเนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพดีนั้นจะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มน้อยกว่าเนื้อสัตว์ที่ด้อยคุณภาพ (Mountney, 1966; Lawrie and Ledward, 2006)

2.1.3.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture)

เนื้อสัมผัสเป็นคุณสมบัติสำคัญของเนื้อไก่ที่บ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของวัตถุดิบและประสิทธิภาพในการแปรรูป และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคต่อตัวผลิตภัณฑ์ (Barbut, 2002; Lawrie and Ledward, 2006) ถ้าเนื้อไก่มีความเหนียวหรือนิ่มมากเกินไปจะไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นการวัดค่าเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่หลังผ่านการแปรรูปจึงเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ต้องการ ซึ่งวัดได้หลายวิธีได้แก่การเฉือน การเจาะ การกด การดึง และการบิด การวัดค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อไก่ในทางการค้าจะนิยมใช้วิธีการเฉือนด้วยใบมีด 2 แบบ คือ Warner-Bratzler shear และ Kramer shear จะเป็นใบมีดเดียวใช้ในการตัดกึ่งกลางของเนื้อตัวอย่าง (รูปที่ 2.5 ก และ ค) ซึ่งจะได้ค่าแรงที่ใช้ในการเฉือนบ่งบอกถึงความแน่นเนื้อหรือความแข็งของเนื้อสัตว์ (Mountney, 1966; Barbut, 2002) ซึ่งค่าความแน่นเนื้อจะเกี่ยวข้องกับโปรตีนสามกลุ่มในกล้ามเนื้อได้แก่ เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (collagen elastin และ reticulin) myofibril (actin myosin และ tropomyosin) และ sarcoplasm (sarcoplasmic protein และ sarcoplasmic reticulum) โดยค่าความแข็งของเนื้อที่วัดได้จะเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนที่เกิดจากการหดตัวของ myofibril ชนิดของกล้ามเนื้อ และ

คุณหมุมิในการปรุงสุก ที่ส่งผลต่อการเสียสภาพของโปรตีน (Barbut, 2002; Lawrie and Ledward, 2006



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.5 ใม่มีด Warner-Bratzler shear (ก) และ Kramer shear (ข)

ที่มา: Texture Technologies Corp., 2011

2.1.4 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเนื้อไก่สด

การส่งออกเนื้อไก่สดในรูปแบบเนื้อไก่สดแช่แข็งเป็นสินค้าที่นำรายได้ให้แก่ประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ซึ่งพบว่าในปี 2544 มียอดการส่งออกรวมสูงถึง 296,425.35 ตัน คิดเป็นมูลค่า 24,592.18 ล้านบาท โดยประเทศที่มียอดการส่งออกสูงสุดคือประเทศญี่ปุ่น และประเทศเยอรมัน แต่ในปี 2552 ที่ผ่านมายอดการส่งออกรวมลดลงเหลือเพียง 16,115.45 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,283.55 ล้านบาท (กรมปศุสัตว์, 2553) ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เนื้อไก่สดแช่แข็งคือการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรค โดยจุลินทรีย์ที่พบในสัตว์ปีกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย (spoilage microorganism) ได้แก่ *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Moraxella* และ *Enterococcus* spp. และจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อโรค (pathogen) ได้แก่ *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica* และ *Bacillus cereus* (Bremner, 1996; Waldroup, 1996;

สุมนทนา วัฒนสินธุ์, 2549) ตามปกติเนื้อจากไก่ที่มีสุขภาพดีและไม่เป็นโรค จะปลอดจากจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ที่พบในเนื้อไก่มักปนเปื้อนในระหว่างฆ่า ซ้ำแหละ ล้าง เลาะกระดูก เคลื่อนย้าย และ/หรือเก็บรักษา แหล่งของจุลินทรีย์ที่สำคัญคือขนและร่างกายของสัตว์ เช่นได้ปีก ขาพับ ทางเดินอาหารและท่อน้ำเหลือง ผู้ที่ไม่มีความชำนาญเพียงพอในการฆ่าแหละเนื้อ จะทำให้จุลินทรีย์มีโอกาสปนเปื้อนและแพร่กระจายสูง (สุมนทนา วัฒนสินธุ์, 2549) Malpass และคณะ (2010) ศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของปีกไก่โดยเปรียบเทียบการฆ่าแหละภายในฟาร์มและโรงงาน พบว่าปีกไก่ที่ผ่านการฆ่าแหละทั้งสองแบบมีจำนวนจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยมีจำนวนจุลินทรีย์ประมาณ $3.80 \log \text{ cfu/g}$

การแปรรูปเนื้อไก่สดโดยทั่วไปในขั้นตอนการล้างภายในและภายนอกซาก จะมีการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite, NaOCl) เพื่อทำลายจุลินทรีย์บางส่วนในซากไก่และลดอุณหภูมิซากให้ต่ำกว่า 4°C เพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ (Barbut, 2002) อย่างไรก็ตาม จำนวนจุลินทรีย์อาจเพิ่มได้ภายหลังขั้นตอนนี้ หากไม่มีการจัดการด้านสุขลักษณะของกระบวนการผลิตให้เหมาะสมหรือเกิดการปนเปื้อนข้าม (cross contamination) ซึ่งอาจเกิดจากอุปกรณ์และมือผู้ฆ่าแหละหรือการปนเปื้อนข้ามระหว่างการเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ (สุมนทนา วัฒนสินธุ์, 2549)

2.2 แบคทีเรียกลุ่ม *Salmonella*

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของ *Salmonella* spp.

Salmonella spp. เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษที่มีความรุนแรง เป็นสาเหตุให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษที่มีประวัติการระบาดสูงเป็นอันดับต้นๆในสหรัฐอเมริกา อังกฤษ และอีกหลายประเทศ และยังทำให้ประชากรเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก แบคทีเรียนี้อยู่ในตระกูล Enterobacteriaceae เช่นเดียวกับแบคทีเรียจำพวก coliform และ *E. coli* มีรูปร่างเป็นท่อน ย้อมติดสีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ มี flagella จึงสามารถเคลื่อนที่ได้ เจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีอากาศ สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ $8-45^{\circ}\text{C}$ pH 4.5-9.5 และ a_w ไม่ต่ำกว่า 0.93 แต่ภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ (optimum growth condition) ได้แก่อุณหภูมิในช่วง $30-45^{\circ}\text{C}$ และ pH ระหว่าง 6.5-7.5 (ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ, 2549; สุมนทนา วัฒนสินธุ์, 2549; Jay, 1970)

2.2.2 การแพร่กระจาย

แหล่งที่อยู่อาศัยอันดับแรกของ *Salmonella* spp. คือ ลำไส้ของสัตว์ เช่น สัตว์ปีก สัตว์เลี้ยงคชาน สัตว์เลี้ยง มนุษย์ รวมทั้งแมลง แต่บางที่อาจพบ *Salmonella* spp. อยู่ตามร่างกายของมนุษย์และสัตว์ก็เป็นได้ *Salmonella* spp. เคลื่อนที่จากลำไส้ออกมาทางอุจจาระแพร่กระจายไปสู่สิ่งแวดล้อม ในดิน น้ำ ปุ๋ย และซากสัตว์ที่เน่าเปื่อย (สุมนททา วัฒนสินธุ์, 2549; Jay, 1970)

2.2.3 โรคที่เกิดจาก *Salmonella* spp.

Salmonella spp. เป็นแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปทั้งในมนุษย์และสัตว์ ซึ่งในหลายประเทศ *Salmonella* spp. เป็นสาเหตุของการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษสูงเป็นอันดับที่ 1 และมีอัตราการเสียชีวิตสูงสุด โดยเมื่อบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนของเชื้อจะแสดงอาการผิดปกติภายใน 12-24 ชั่วโมง โดย *Salmonella* Enteritidis และ *Salmonella* Typhimurium เป็นชนิดที่มีการระบาดในมนุษย์ถึง 80% ทั่วโลก อาการเบื้องต้นจะประกอบด้วย คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ปวดหัว หนาวสั่น ท้องเสีย และมีไข้ ซึ่งจากการทดลองในหนูพบว่า *Salmonella* Typhimurium ทำให้หนูป่วยมีอาการคล้ายไข้ไทฟอยด์ (ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ และคณะ, 2548; Jay, 1970; Tortora et al., 1992; Löfström et al., 2010) การป้องกันเบื้องต้นทำได้โดยประกอบอาหารให้ถูกต้องตามสุขลักษณะ เก็บอาหารที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อ หรือปรุงสุกโดยให้อุณหภูมิแกนกลางอาหารมีค่าเท่ากับ 68 °C (Tortora et al., 1992) นอกจากนี้ *Salmonella* บางสายพันธุ์มีพิษรุนแรงกว่าสายพันธุ์อื่น โดยสายพันธุ์ที่มีพิษรุนแรงที่สุดคือ *Salmonella* Typhi ซึ่งเป็นสาเหตุของไข้ไทฟอยด์ หลังจากได้รับเชื้อประมาณ 2 สัปดาห์ผู้ป่วยจะมีไข้สูงประมาณ 40 °C มีอาการปวดหัวอย่างต่อเนื่อง และมีอาการท้องร่วงติดต่อกันเป็นเวลา 1-3 สัปดาห์ การรักษา มักให้ยาในปฏิชีวนะในการฆ่าหรือชะลอการเจริญของแบคทีเรีย (Jay, 1970; Tortora et al., 1992)

2.2.4 การปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. ในเนื้อไก่สดแช่แข็ง

Salmonella spp. สามารถพบได้ทั่วโลก และก่อให้เกิดโรคดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดย serovars ที่มักปนเปื้อนมากับเนื้อไก่สดแช่แข็ง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกที่สำคัญของไทย ได้แก่ *S. Enteritidis* และ *S. Typhimurium* (สุมนททา วัฒนสินธุ์ และคณะ, 2546) งานวิจัยที่ผ่านมา รายงานถึงการตรวจพบ *Salmonella* spp. ได้ในทุกขั้นตอนของการแปรรูปเนื้อไก่สดแช่แข็ง (ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ และคณะ, 2548) ประเวทย์ ดุ้ยเต็มวงศ์ และคณะ (2546) รายงานการ

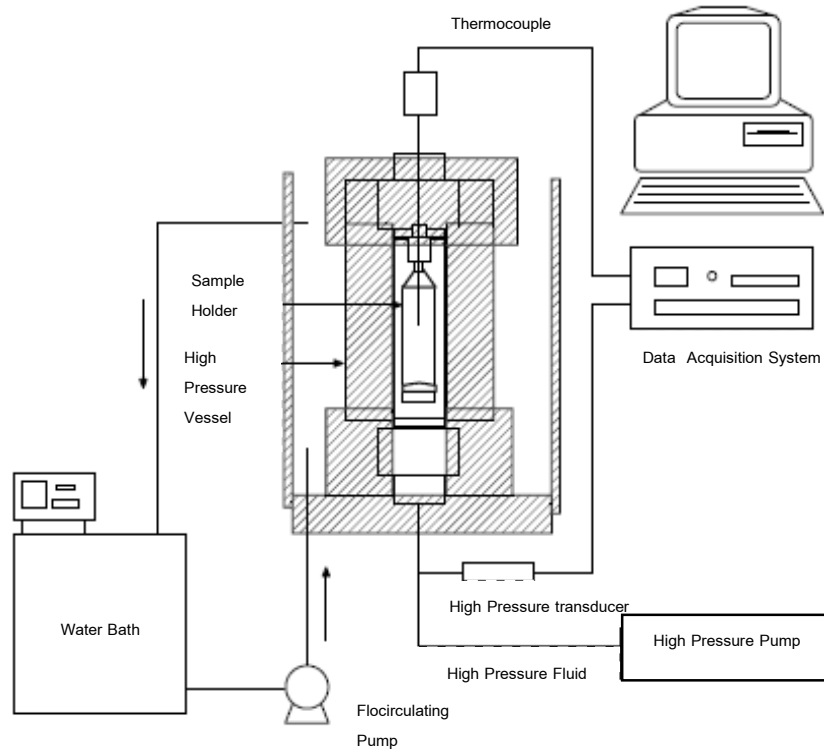
ปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. ในช่วง 13-17 cfu/g ในเนื้อไก่สดแช่แข็งที่ผลิตในประเทศไทย สุ่มณฑา วัฒนสินธุ์ และคณะ (2546) ศึกษาการเฝ้าระวังจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมเพื่อลด *Salmonella* spp. ในการผลิตเนื้อไก่กระพงแช่เยือกแข็งเพื่อการส่งออก สุ่มตรวจตัวอย่างจำนวน 244 ตัวอย่างจาก 9 โรงงาน พบการปนเปื้อน *Salmonella* spp. จำนวน 60 ตัวอย่าง (24.59%) และเมื่อจำแนก serovars ของ *Salmonella* spp. ที่ปนเปื้อนในตัวอย่างเนื้อไก่กระพงแช่เยือกแข็ง พบว่าตัวอย่างที่ปนเปื้อน *S. Typhimurium* คิดเป็น 1.67% ของตัวอย่างทั้งหมดที่ปนเปื้อน *Salmonella* spp. ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ และคณะ (2548) พบว่าความเข้มข้นของ *Salmonella* spp. ที่ปนเปื้อนในตัวอย่างเนื้อไก่ในแต่ละขั้นตอนของการผลิตเนื้อไก่สดแช่แข็งภายในฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือดมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.585-6.107 MPN/g และ 0.397-4.511 MPN/g ตามลำดับ

2.3 กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง (high pressure processing, HPP)

2.3.1 หลักการและเครื่องมือ

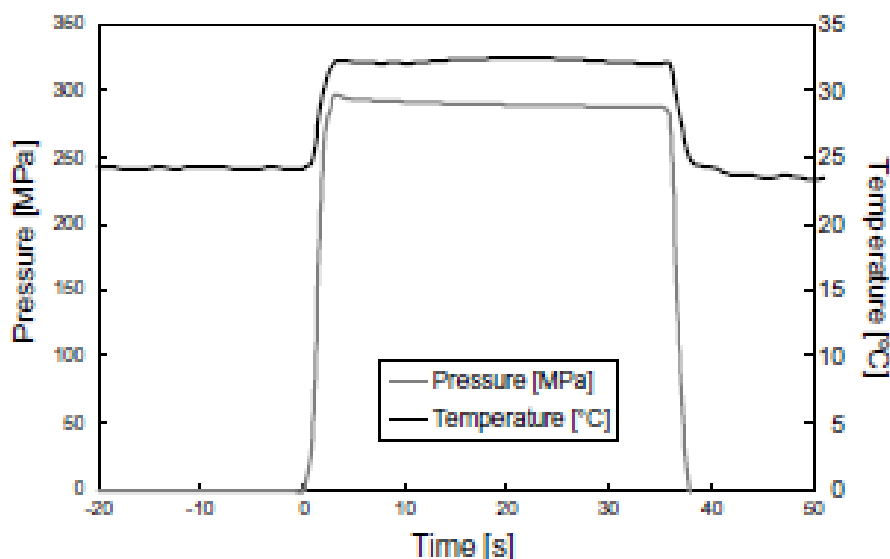
กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง คือ เทคนิคการถนอมอาหารโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูง (Erkmen, 2009) โดยในทางการค้ามักจะใช้กระบวนการนี้ในการทำลายจุลินทรีย์ในระดับพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งอุณหภูมิของอาหารในกระบวนการมักไม่เกิน 45 °C (Indrawati et al., 2003; Balasubramaniam et al., 2008) และมีระดับการให้ความดันกับผลิตภัณฑ์ในช่วงไม่เกิน 600 MPa กระบวนการนี้ใช้กับอาหารที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ด้วยการจุ่มตัวอย่างอาหารลงในตัวกลางที่เป็นของเหลว ซึ่งความดันจะถูกส่งผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวอย่างฉับพลันและแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอทุกบริเวณของชิ้นอาหาร (Fellows, 2000; Patterson et al., 2007)

ในระบบการแปรรูปด้วยความดันสูงอาศัยเครื่องมือที่มีส่วนประกอบหลักคือ high pressure vessel ซึ่งจะทำจากโลหะผสมที่สามารถทนความดันได้สูง high pressure pump ทำหน้าที่ส่งสารตัวกลาง และ ความดันเข้าสู่ระบบ temperature control เป็นส่วนควบคุมอุณหภูมิของระบบ ระหว่างการแปรรูปด้วยความดันสูง sample holder คือช่องสำหรับบรรจุตัวอย่างที่ต้องการจะแปรรูปด้วยความดันสูงและ data acquisition system เป็นส่วนวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในระบบโดยวัดการเปลี่ยนแปลงของความดัน และ อุณหภูมิ (รูปที่ 2.6) (Patazca et al., 2007)



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของระบบการแปรรูปด้วยความดันสูง
ที่มา: ดัดแปลงจาก Patazca และคณะ, 2007

ภายใต้การแปรรูปด้วยความดันสูง เมื่อความดันของระบบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 2.7) โดยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิภายใต้ภาวะความดันสูงจะมีค่าเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวกลาง เช่นความดันมีผลทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อการเพิ่มความดันทุกๆ 100 MPa (Rasanayagam et al., 2003; Patazca et al., 2007; Balasubramaniam et al., 2008)



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิของสารตัวกลาง ระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง โดยให้ความดันที่ 300 MPa และอุณหภูมิเริ่มต้นของสารตัวกลางเท่ากับ 24.2 °C

ที่มา: Patazca และคณะ, 2007

ประสิทธิภาพการทำลายจุลินทรีย์ของกระบวนการให้ความดันสูงนอกจากจะขึ้นอยู่กับภาวะการแปรรูป คือ ความดัน อุณหภูมิ และเวลาแล้วยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการ เช่น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ได้แก่ โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต อาหารที่มีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตสูงจะส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถทนต่อความดันได้สูงขึ้น ชนิดและลักษณะทางกายภาพของจุลินทรีย์กล่าวคือความดันมีผลต่อจุลินทรีย์แกรมลบมากกว่าจุลินทรีย์แกรมบวก (Indrawati et al., 2003)

ข้อดีของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงมีหลายประการ เช่น สามารถรักษาสี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในการยืดอายุการเก็บ และไม่มีหลักฐานแสดงการเกิดสารพิษในอาหารเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง ส่วนข้อจำกัดของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่สำคัญได้แก่ อาหารที่สามารถแปรรูปด้วยความดันสูงนั้นจำเป็นต้องมีน้ำอิสระมากกว่า 40% หรือ มีค่า a_w มากกว่า 0.95 เพื่อให้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเครื่องมือมีราคาแพง (Fellows, 2000; Balasubramaniam et al., 2008)

2.3.2 ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพอาหาร

2.3.2.1 คุณภาพทางกายภาพ

ระดับความดันที่ 800 MPa หรือสูงกว่าจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะด้านที่เกี่ยวข้องกับการเสถียรภาพของโปรตีน เนื่องจากภายใต้ความดันสูงหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) บนโมเลกุลของโปรตีน และหมู่ฟังก์ชันของ polysaccharide ในโมเลกุลของ glycoprotein จะแตกตัวให้ประจุ ทำให้ pH ของระบบลดลง และเพิ่มบริเวณที่มีประจุบนโปรตีน เมื่อลดความดันจึงทำให้ระดับการเกิดประจุลดลงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ protein-protein และ protein-polysaccharide interactions นอกจากนี้ยังทำให้โครงสร้างภายในโมเลกุลของโปรตีน ได้แก่ แอลฟาเฮลิกซ์ (α -helix) และ บีตาชีต (β -sheet) เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ในรูปของพอลิเมอร์เสมือนเกลียวที่ไม่เป็นระเบียบแบบแผน (random coil) ทำให้โครงสร้างโปรตีนเสถียรภาพไม่เหมาะสมต่อการทำงาน เช่น เกิดการเกาะตัวของ sarcoplasmic protein ทำให้สมบัติการละลายลดลงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสี และความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น (Galazka et al., 1996; Hayakawa et al., 1996; Marcos et al., 2010)

2.3.2.2 คุณภาพทางเคมี

กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงจะทำให้เกิดพลังงานภายในระบบซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพันธะไฮโดรเจน ทำลายพันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ได้ชั่วคราวทำให้โมเลกุลโปรตีนไม่เสถียร ทั้งนี้โมเลกุลโปรตีนจะมีความเสถียรเมื่อสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำโดยรอบ (Hayakawa et al., 1996) อีกทั้งการแปรรูปด้วยความดันสูงมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์เช่น ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) โดย Katsaros และคณะ (2010) ศึกษาผลของการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าวในน้ำผลไม้ พบว่าเมื่อเพิ่มความดันในช่วง 100-500 MPa และ/หรือเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 20-40 °C มีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ PME ลดลง

2.3.2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ความดันมีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ เนื่องจากความดันจะทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียเกิดความเสียหาย และยังสร้างความเสียหายให้กับเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย จึงมีผลต่อกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมสารอาหารและการกำจัดของเสียจากเซลล์ นอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงของออร์แกเนลล์ เช่น ไรโบโซมถูกทำลาย ส่งผลให้เซลล์ตาย และยังสามารถทำลายดีเอ็นเอของแบคทีเรียได้ โดยการทำงานของเอนไซม์ endonuclease เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเซลล์ของแบคทีเรียภายใต้ความดันสูง อาจทำให้

เอนไซม์สามารถย่อยดีเอ็นเอได้ (Dogan and Erkmen, 2004; Murchie et al., 2005; Torres and Velazquez., 2005)

2.3.3 การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงในการแปรรูปอาหารที่มีจำหน่ายทางการค้าเป็นจำนวนมาก ความดันที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อระดับพาสเจอร์ไรส์แบ่งเป็น 2 ช่วงคือ 200 ถึง 400 MPa ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตต่ำ มักใช้กับอาหารประเภทน้ำผลไม้ แยม เนื้อสัตว์ อาหารทะเล และ 400 ถึง 600 MPa ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตสูง มักใช้กับอาหารประเภทธัญพืชปรุงสำเร็จเช่น ข้าวสุก ขนมโมจิ และเนื้อสัตว์ปรุงสำเร็จเช่น แฮมรมควัน (Indrawati et al., 2003; Torres and Velazquez., 2005) ในทางการค้าความดันสูงสุดที่ใช้ในการแปรรูปด้วยความดันสูงในระดับระดับพาสเจอร์ไรส์จะไม่เกิน 690 MPa เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องความทนทานของวัสดุที่ใช้ทำ high pressure vessel (Torres and Velazquez., 2005) และนอกจากนี้ยังมีการใช้การแปรรูปด้วยความดันสูงในระดับสเตอริไรส์ซึ่งจะใช้ความดันในช่วง 690-900 MPa และที่อุณหภูมิ 50-70 °C โดยภาวะดังกล่าวได้มาจากการใช้การแปรรูปด้วยความดันสูงในการทำลายสปอร์ของ *Clostridium botulinum* (Barbosa-Cánovas and Juliano., 2008)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การแปรรูปด้วยความดันสูงในการฆ่าเชื้อระดับพาสเจอร์ไรส์กับผลิตภัณฑ์อาหารทางการค้าดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงและมีจำหน่ายทางการค้า

ตัวอย่างอาหาร	ประเทศ	บริษัท	ความดัน/อุณหภูมิ/ เวลา	จุดประสงค์
แฮมดิบ	ญี่ปุ่น	Fuji chiku mutterham	250 MPa, 3 hour, 20 °C	-เร่งเวลาในการบ่ม -ยืดอายุการเก็บรักษา
แฮมหมักสำเร็จรูป	สเปน	Espuna	400-500 MPa, few min, 20 °C	
ลูกชิ้นปลา	ญี่ปุ่น	Yaizu fisheries	400 MPa	-ทำให้เกิดเจล -ลดจำนวนจุลินทรีย์

ตารางที่ 2.2 ผลกระทบต่ออาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความดันสูงและมีจำหน่ายทางการค้า (ต่อ)

ตัวอย่างอาหาร	ประเทศ	บริษัท	ความดัน/อุณหภูมิ/ เวลา	จุดประสงค์
หอยนางรม	สหรัฐฯ	Motivatit,	300-400 MPa,	-ยับยั้งจุลินทรีย์
ดิบ	อเมริกา	Nisbet Oyster Co, Joey Oyster	10 min, 25 °C	-รักษากลิ่นรส -ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ รูปร่างและขนาด
น้ำผลไม้ (ส้ม เกรปฟรุิต ผลไม้รวม)	ฝรั่งเศส	Pampryl	400 MPa, room temperature	-ยับยั้งจุลินทรีย์ -ยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ pectin methylsterase
แยมเจลลี่ ผลไม้กวน โยเกิร์ต	ญี่ปุ่น	Meidi-ya	400 MPa, 10-30 min, 20 °C	-พาสเจอร์ไรส์ -ช่วยให้เกิดเจลได้ดีขึ้น -เร่งการแพร่ของน้ำตาลใน เนื้ออาหาร -ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ pectin methylsterase คงเหลือน้อยลง
ขนมโมจิ ข้าวสอยหุง สำเร็จรูป	ญี่ปุ่น	Echigo seika	400-600 MPa, 10 min, 40 หรือ 70°C	-ลดจำนวนจุลินทรีย์ -ทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้นใน อาหาร

ที่มา: ดัดแปลงจาก Indrawati et al., 2003

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

Amanatidou และคณะ (2000) ศึกษาผลการแปรรูปด้วยความดันสูงในการยืดอายุการเก็บรักษาปลาแซลมอนดิบขนาด 20 กรัมที่บรรจุในสภาวะสุญญากาศ โดยเบื้องต้นได้คัดเลือก

ภาวะที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าสี เนื้อสัมผัส และจำนวนจุลินทรีย์ของเนื้อปลาหลังผ่านกระบวนการแปรความดันในช่วง 0, 100, 150 และ 200 MPa และแปรเวลาที่ให้ความดัน 0, 10, 30 และ 60 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 1-5 °C พบว่าการเพิ่มความดันและเวลา มีผลทำให้เนื้อปลามีค่า L^* เพิ่มขึ้น ค่า a^* ลดลง (แสดงว่าเนื้อปลามีสีซีดลง) ค่าแรงในการตัดเนื้อปลา (cutting strength) เพิ่มขึ้น (แสดงว่าเนื้อปลามีความแน่นเนื้อมากขึ้น) จำนวน จุลินทรีย์ที่พบในเนื้อปลาได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด *Shewanella putrefaciens* และ *Pseudomonas* มีค่าลดลง อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยเลือกภาวะการให้ความดันที่ 150 MPa เป็นเวลา 10 นาทีเป็นภาวะที่เหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสี และความแน่นเนื้อที่ยอมรับได้ แม้ว่าจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นจะลดลงเพียง 1-2 log cfu/g (ยกเว้น *Shewanella putrefaciens* ที่ลดลง 4 log cfu/g) ดังนั้นจึงใช้ภาวะดังกล่าวศึกษาในขั้นต่อไป คือการยับยั้ง *Listeria monocytogenes* และ *Salmonella Typhimurium* และหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เมื่อทดลองเดิม *Listeria monocytogenes* และ *Salmonella Typhimurium* ในผลิตภัณฑ์เนื้อปลาแชลมอน โดยมีจำนวนเชื้อเริ่มต้น 8 log cfu/g และนำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงตามภาวะที่คัดเลือกได้พบว่าสามารถลด *Listeria monocytogenes* ได้ประมาณ 1.5 log cfu/g และลด *Salmonella Typhimurium* ได้ประมาณ 1-2 log cfu/g เมื่อนำตัวอย่างที่แปรรูปที่ภาวะดังกล่าวไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาได้เพิ่มขึ้น 2 วัน โดยพิจารณาจากจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ต้องมีค่าไม่เกิน 7.5 log cfu/g

Dogan และ Erkmen (2004) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อจลนพลศาสตร์การยับยั้ง *Listeria monocytogenes* ในตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว นม น้ำพีช และน้ำส้ม โดยหาเวลาที่ทำให้จุลินทรีย์เริ่มต้นหรือปริมาณสารเริ่มต้นลดลงไป 1 log-cycle (Decimal reduction time, D) ค่าคงที่อัตราการยับยั้งจุลินทรีย์ (k) และค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันที่มีผลทำให้ค่า D เปลี่ยนแปลงไปร้อยละ 90 (Z-value) โดยแปรความดัน 200-700 MPa อุณหภูมิ 25 °C พบว่าการเพิ่มความดัน ทำให้ค่า D ลดลง และค่า k เพิ่มขึ้น ในทุกๆตัวอย่างทดลอง เมื่อนำค่า D ที่ได้ไปใช้หาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันพบว่าการเพิ่มความดันจาก 200 เป็น 700 MPa ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของ *Listeria monocytogenes* ในตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว นม น้ำพีช และน้ำส้มที่อุณหภูมิคงที่ (Z_p) มีค่าเท่ากับ 578, 480, 506 และ 576 MPa ตามลำดับ ซึ่งค่า Z_p ของ *Listeria monocytogenes* ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวและตัวอย่างอาหารมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)

Garriga และคณะ (2004) ศึกษาการลดจำนวนจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ 3 ชนิด ได้แก่ แฮมปรุงสำเร็จ แฮมรมควัน และเนื้อสันนอกหมัก โดยการให้ความดัน 600 MPa ที่ อุณหภูมิ 31 °C เป็นเวลา 6 นาที โดยหั่นผลิตภัณฑ์เป็นชิ้นหนา 1.2 มิลลิเมตร บรรจุแบบ สูญญากาศ จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงมีผลทำให้จำนวน จุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงโดยเมื่อตรวจสอบด้วยวิธี aerobic plate count พบว่าผลิตภัณฑ์แฮมทั้ง 2 ชนิด เมื่อผ่านกระบวนการแล้วสามารถลดจุลินทรีย์ได้ประมาณ 1-2 log cfu/g ส่วนเนื้อสันนอก หมักสามารถลดจุลินทรีย์ได้ประมาณ 4 log cfu/g ภายหลังจากผ่านกระบวนการ

Linton และคณะ (2004) ศึกษาการทำลาย *Escherichia coli* O157:H7 ในผลิตภัณฑ์ เนื้อไก่สับ โดยให้ความดันที่ 500 MPa อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 15 นาที ตัวกลางที่ใช้ในการ ส่งผ่านความดันคืออิมัลชันที่ประกอบด้วยน้ำมันพืช 10% ในน้ำ พบว่ากระบวนการดังกล่าว สามารถลดจำนวน *Escherichia coli* O157:H7 ได้ประมาณ 5 log cfu/g และสามารถลดจำนวน จุลินทรีย์ทั้งหมดได้ประมาณ 1 log cfu/g

Zamri และคณะ (2006) ศึกษาผลของความร้อนร่วมกับกระบวนการแปรรูปความดันสูง ต่อเนื้อสัมผัสของเนื้ออกไก่ โดยให้ความร้อนที่ 20-70 °C และความดันที่ 200-800 MPa เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส ใช้หวักดทรงกระบอก พบว่าการให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ ≥ 50 °C ที่ความดันบรรยากาศมีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อของเนื้ออกไก่เพิ่มขึ้นอย่าง ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้ออกไก่ที่อุณหภูมิ 20 และ 40 °C และการให้ความดันที่อุณหภูมิ 20- 50 °C มีผลทำให้ความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากโดยเฉพาะที่ความดัน 200 และ 400 MPa ในขณะที่การให้ความดันที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C ค่าความแน่นเนื้อของเนื้ออกไก่จะเพิ่มขึ้น เล็กน้อยที่ความดัน 200 MPa จากนั้นค่าความแน่นเนื้อจะลดลงเมื่อให้ความดันที่ 400-800 MPa

Erkmen (2009) ศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงในการยับยั้ง *Salmonella* Typhimurium ในระบบอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (broth) โดย แปรรูปความดัน 200-350 MPa อุณหภูมิ 15-45 °C และเวลา 5-50 นาที กำหนดอัตราการเพิ่มความดันและปลดปล่อยความดันที่ 25 MPa/s พบว่า สามารถทำนายผลของความดันต่อการยับยั้ง จุลินทรีย์ได้โดยใช้สมการ modified Gompertz equation (microbial growth modeling) โดยเมื่อ ความดันคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้อัตราการยับยั้งจุลินทรีย์ (inactivation rate, min^{-1}) เพิ่มขึ้น และการเพิ่มความดันที่อุณหภูมิคงที่ ทำให้อัตราการยับยั้งจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเช่นกันและผลของ อุณหภูมิต่ออัตราการยับยั้งจุลินทรีย์อธิบายได้โดยใช้ Arrhenius model และสามารถคำนวณค่า พลังงานกระตุ้น (activation energy, E_a (kJ/mol)) ได้ โดยเมื่อความดันเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ E_a ลดลง

Zhu และคณะ (2008) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลายสปอร์ *Clostridium sporogenes* ในตัวอย่างเนื้อวัวบด หาค่า D และ Z แล้วนำค่า D ที่ได้ใช้หาเวลาในการทำลายสปอร์ของ *Clostridium sporogenes* ในระดับ 5D process โดยแปรรูปด้วยความดัน 700-900 MPa อุณหภูมิ 80-100 °C พบว่าการเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิ ทำให้ค่า D ลดลง โดยที่ความดัน 900 MPa ที่อุณหภูมิ 100 °C ได้ค่า D ต่ำที่สุดคือ 0.68 นาที เมื่อนำค่า D ที่ได้ไปใช้หาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Z_T) หรือความดัน (Z_p) พบว่าการเพิ่มความดันจากความดันบรรยากาศเป็น 700 MPa มีผลทำให้ค่า Z_T มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 12.4 เป็น 19.9 °C ซึ่งแสดงว่าสปอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงภายใต้ความดันสูง และการเพิ่มความดันจาก 700 MPa เป็น 900 MPa มีผลทำให้ค่า Z_T เปลี่ยนแปลงจาก 19.9 เป็น 19.8 °C ซึ่งแสดงว่าภายใต้ความดันสูงในช่วง 700-900 MPa สปอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และการเพิ่มอุณหภูมิจาก 80 °C เป็น 100 °C มีผลทำให้ค่าความ Z_p ของสปอร์ *Clostridium sporogenes* ในเนื้อวัวบด มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าที่อุณหภูมิสูงสปอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อระดับ 5D process พบว่าที่อุณหภูมิ 100 °C ความดัน 700, 800 และ 900 MPa เวลาที่ใช้คือ 7.73, 5.06 และ 3.16 นาที ตามลำดับ

Del Olmo และคณะ (2010) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีและเนื้อสัมผัสของชิ้นเนื้ออกไก่ ภายหลังจากแปรรูปด้วยความดันสูง โดยให้ความดันคงที่ที่ 400 MPa อุณหภูมิของสารตัวกลาง เริ่มต้น 5 °C และมีค่าไม่เกิน 16 °C ระหว่างการให้ความดัน ให้ความดันสูงเป็นเวลา 1-20 นาทีต่อรอบ ให้ความดันซ้ำ 1-4 รอบต่อตัวอย่าง แล้วจึงนำตัวอย่างไปวัดค่าสีในระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง Minolta Colorimeter CR-300 วัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Instron compression tester model 4301 ใช้ใบมีดแบบ Kramer cell และ Warner-Bratzler cell ใช้ตัวอย่างเนื้อไก่สดขนาด 50x15x10 mm³ พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงหรือเพิ่มเวลาในการให้ความดัน มีผลทำให้ค่า L* a* และ b* ของเนื้ออกไก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเนื้อไก่ที่ผ่านการให้ความดันและจะมีสีคล้ายเนื้อไก่สุกมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มเวลาหรือจำนวนรอบ นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ความดันอย่างน้อย 1 รอบ ที่เวลา 10 และ 15 นาที ส่งผลให้ค่าแรงที่ใช้ในการฉีกเนื้อไก่ (shear force, N/g) มีค่าสูงสุด จากการวัดโดยใบมีดแบบ Kramer cell และ Warner-Bratzler cell ตามลำดับ และค่าดังกล่าวมีค่าลดลงในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดันเป็นเวลานานขึ้น ส่วนการให้ความดันซ้ำมากกว่า 1 รอบ ที่เวลา 1 นาทีมีผลทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการฉีกเนื้ออกไก่จากใบมีดทั้งสองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Ramaswamy และคณะ (2010) ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลายสปอร์ *Clostridium sporogenes* ATCC 11437 ในน้ำนม โดยแปรรูปความดัน 700-900 MPa อุณหภูมิ 80-100 °C เปรียบเทียบกับการทำลายสปอร์โดยใช้อุณหภูมิ 80-100 °C ที่ความดัน 0.1 MPa พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 80 เป็น 100 °C ที่ความดัน 0.1 MPa ทำให้ค่า D ลดลงจาก 833 เหลือเพียง 6.0 นาที ในขณะที่การเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิทำให้ค่า D ลดลงเช่นกัน โดยที่ความดัน 900 MPa การเพิ่มอุณหภูมิจาก 80 เป็น 100 °C ทำให้ค่า D ลดลงจาก 9.1 เป็น 0.73 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มความดันจากความดันบรรยากาศเป็น 700 MPa มีผลทำให้ Z_T มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 9.6 เป็น 17.2 °C และการเพิ่มความดันจาก 700 MPa เป็น 900 MPa มีผลทำให้ค่า Z_T เปลี่ยนแปลงจาก 17.2 เป็น 19.6 °C ซึ่งแสดงว่าสปอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงภายใต้ความดันสูง และการเพิ่มอุณหภูมิจาก 80 °C เป็น 100 °C มีผลทำให้ Z_p มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 714 เป็น 1,259 MPa ซึ่งแสดงว่าสปอร์มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันลดลงที่อุณหภูมิสูง

McArdle และคณะ (2011) ศึกษาการอิทธิพลของสภาวะการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพของเนื้อวัวและความคงตัวของเนื้อเยื่อ โดยให้ความดันคงที่ 400 และ 600 MPa อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 °C เป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำตัวอย่างไปวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Instron universal testing machine model 5543 ใช้ใบมีดแบบ Warner-Bratzler cell วัดค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม และวัดค่าสีในระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง dual beam xenon flash spectrophotometer พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดันทุกภาวะมีค่าแรงที่ใช้ในการฉีกเนื้อวัว (shear force, N) ไม่แตกต่างจากค่าของตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.01$) เมื่อนำเนื้อวัวไปผ่านการปรุงสุก พบว่าที่ความดัน 400 MPa ในทุกอุณหภูมิการทดลองส่งผลให้ตัวอย่างมีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.01$) ในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านความดัน 600 MPa ที่ทุกอุณหภูมิ มีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม สูงกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) และผลจากการวัดค่าสี พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดันทุกภาวะมีค่า L^* และ a^* มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ในขณะที่ค่า b^* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.001$) และเมื่อเก็บตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดันทุกภาวะไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 30 วัน พบว่าค่า L^* a^* และ b^* ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากตัวอย่างเริ่มต้น ($p>0.001$)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

3.1.1 การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพด้านจุลินทรีย์

งานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลายจุลินทรีย์ โดยเลือก *S. Typhimurium* เป็นตัวแทนของจุลินทรีย์ก่อโรคในเนื้อไก่ สร้างสมการจลนพลศาสตร์ของการทำลายจุลินทรีย์ดังกล่าว เลือกภาวะที่เหมาะสมต่อการแปรรูปโดยพิจารณาจากภาวะที่สามารถลดจำนวน *S. Typhimurium* ได้ 2-3 log cfu/g โดยใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของเนื้อไก่สดหลังผ่านความดันสูงต่อไป

3.1.2 การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพการบริโภค

งานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงจากภาวะที่เลือกได้ในข้อ 3.1.1 ต่อคุณภาพการบริโภค ได้แก่ ค่าสีในระบบ CIELAB ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity) ค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (cooking loss) เนื้อสัมผัส และตรวจสอบโครงสร้างของเนื้อไก่

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของเนื้อไก่สด

3.2.1.1 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

เตรียม S. Typhimurium DMST 28913 (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, ประเทศไทย) ให้มีจำนวนเซลล์เริ่มต้น 10^8 cfu/ml ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ก.1 นำหัวเชื้อที่ได้ไปเติมบนผิวของเนื้อไก่สดในขั้นตอนต่อไป

3.2.1.2 การเตรียมตัวอย่างเนื้อไก่สด

เนื้อไก่สดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นชิ้นเนื้ออกไก่ตัดแต่งบรรจุสภาพพอลิไธรีน น้ำหนักประมาณ 400 g ต่อถาด ซึ่งวางจำหน่ายที่อุณหภูมิแช่เย็นไม่เกิน 2 วันหลังการตัดแต่ง เตรียมตัวอย่างเนื้ออกไก่สดตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Gonçalves และคณะ (2005) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2) มีขั้นตอนโดยย่อคือลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นบนผิวเนื้อไก่ โดยจุ่มตัวอย่างลงในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ แล้วจึงเติม S. Typhimurium จากข้อ 3.2.1.1 ลงบนเนื้อไก่ น้ำหนัก 25 g ให้มีจำนวนเซลล์เริ่มต้น $7 \log$ cfu/g บรรจุเนื้อไก่ในถุงพลาสติกปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.2.1.3 การแปรรูปเนื้อไก่สดด้วยกระบวนการให้ความดันสูง

นำตัวอย่างเนื้อไก่จากข้อ 3.2.1.2 ไปให้ความดันด้วยเครื่อง high pressure processing (HPP) (Kobelco Dr. Chef, Kobe Steel, Ltd., Japan) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) ใช้สารผสมกลีเซอรินและน้ำ (50:50) เป็นสารตัวกลางในการส่งผ่านความดัน แปรความดันระหว่าง 200-400 MPa ที่อุณหภูมิตัวกลาง $25-35^{\circ}\text{C}$ และเวลา (pressure holding time) 0.5-20 นาที หลังจากผ่านความดันสูงแล้วจึงเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ต่อไป (ทดลอง 2 ซ้ำ)

3.2.1.4 การวิเคราะห์จำนวน S. Typhimurium บนผิวเนื้อไก่สด

ตรวจนับจำนวน S. Typhimurium DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านความดันสูงโดยใช้วิธี total plate count บน nutrient agar (NA, Merck) ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ก.3

3.2.1.5 การสร้างสมการจลนพลศาสตร์ของการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความดันสูง

หาเวลาที่ทำให้จุลินทรีย์เริ่มต้นลดลงไป 1 log-cycle (Decimal reduction time, D) โดยใช้สมการที่ 3.1 ทั้งนี้มีสมมติฐานว่าการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ตามเวลาที่ความดันคงที่สามารถอธิบายได้โดยสมการจลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่ง (Karel and Lund, 2003)

$$\text{Log}(N/N_0) = -t/D \quad (3.1)$$

เมื่อ	N	คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตที่เวลาใดๆ (cfu/g)
	N_0	คือ จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น (cfu/g)
	t	คือ เวลาที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ (min)
	D	คือ เวลาที่ทำให้จุลินทรีย์เริ่มต้นหรือปริมาณสารเริ่มต้นลดลงไป 1 log-cycle (min)

หาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน (Z_p) ของจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิคงที่โดยใช้สมการที่ 3.2 (Karel and Lund, 2003)

$$Z_p = (P_2 - P_1) / \log(D_1/D_2) = -1/\text{slope} \quad (3.2)$$

เมื่อ	P_1	คือ ความดันค่าที่ 1 (MPa)
	P_2	คือ ความดันค่าที่ 2 (MPa)
	D_1	คือ ค่า D (min) ที่ความดันค่าที่ 1
	D_2	คือ ค่า D (min) ที่ความดันค่าที่ 2

หาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Z_T) ของจุลินทรีย์ที่ความดันคงที่ โดยใช้สมการที่ 3.3 (Karel and Lund, 2003)

$$Z_T = (T_2 - T_1) / \log(D_1/D_2) = -1/\text{slope} \quad (3.3)$$

เมื่อ	T_1	คือ อุณหภูมิค่าที่ 1
	T_2	คือ อุณหภูมิค่าที่ 2
	D_1	คือ ค่า D (min) ที่อุณหภูมิค่าที่ 1
	D_2	คือ ค่า D (min) ที่อุณหภูมิค่าที่ 2

หาค่าคงที่อัตราการยับยั้งจุลินทรีย์ (k) โดยใช้สมการ 3.4 (Karel and Lund, 2003)

$$k = 2.303/D \quad (3.4)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่อัตราการยับยั้งจุลินทรีย์ (min^{-1})
 D คือ เวลาที่ทำให้จุลินทรีย์เริ่มต้นหรือปริมาณสารเริ่มต้นลดลงไป 1 log-cycle (min)
 นำค่า k จากสมการที่ 3.4 มาหาค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy, E_a (kJ/mol)) โดยใช้ Arrhenius model (Karel and Lund, 2003) ดังแสดงในสมการที่ 3.5

$$k = A \exp (-E_a/RT) \quad (3.5)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ แสดงถึงอัตราการยับยั้งของจุลินทรีย์ (min^{-1})
 A คือ pre-exponential factor (min^{-1})
 E_a คือ พลังงานกระตุ้น (J/mol)
 R คือ gas constant (8.31 J/K mol)
 T คือ อุณหภูมิ (K)

เลือกภาวะการแปรรูปที่สามารถลดจำนวน *S. Typhimurium* ได้ 2-3 log cfu/g โดยใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที เพื่อนำไปทดลองในขั้นต่อนต่อไป

3.2.2 การศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพการบริโภคของเนื้อไก่สด

เตรียมเนื้อไก่สดน้ำหนัก 25 g ขนาดประมาณ $10 \times 30 \times 15 \text{ mm}^3$ สำหรับการทดลองข้อ 3.2.2.1, 3.2.2.3 และ 3.2.2.4 และตัดเนื้อไก่สดน้ำหนัก 10 g ขนาดประมาณ $20 \times 20 \times 10 \text{ mm}^3$ สำหรับการทดลองข้อ 3.2.2.2 บรรจุเนื้อไก่แบบสุญญากาศ นำไปแปรรูปด้วยความดันสูงด้วยเครื่อง HPP จากภาวะที่คัดเลือกได้ในข้อ 3.2.1 เตรียมตัวอย่างเนื้อไก่ต้มสุกโดยนำตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง ต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 4.5 นาที จนอุณหภูมิแกนกลางเท่ากับ 75°C นำตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการในรูปของเนื้อไก่สด และ/หรือต้มสุกมาตรวจวัดคุณภาพการบริโภค โดยตัวอย่างเนื้อไก่สดต้องนำมาวัดคุณภาพการบริโภคภายใน 2 ชั่วโมง ภายหลังจากให้ความดัน

3.2.2.1 ค่าสี

วัดสีเนื้อไก่สดและเนื้อไก่ต้มสุกด้วยเครื่องวัดสี (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta Sensing, INC., Japan) ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ค.1 (ทดลอง 3 ซ้ำ โดยแต่ละซ้ำของการทดลองคือเนื้อไก่ 1 ชิ้น จะวัดค่าสี 6 ตำแหน่ง) คำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการตามสมการที่ 3.6 (Marcos et al., 2010)

$$\Delta E = [(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2]^{1/2} \quad (3.6)$$

เมื่อ	L^*	คือค่าความสว่างของตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูง
	L^*_0	คือค่าความสว่างของตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการให้ความร้อน)
	a^*	คือค่าแสดงความเป็นสีแดง-เขียวของตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูง
	a^*_0	คือค่าแสดงความเป็นสีแดง-เขียวของตัวอย่างควบคุม
	b^*	คือค่าแสดงความเป็นสีเหลือง-น้ำเงินของตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูง
	b^*_0	คือค่าแสดงความเป็นสีเหลือง-น้ำเงินของตัวอย่างควบคุม

3.2.2.2 ความสามารถในการกักน้ำ

หาค่าความสามารถในการกักน้ำ (water-holding capacity) ของเนื้อไก่สดโดยการปั่นเหวี่ยงตามวิธีของ Zhang และคณะ (1994) และ Perez และคณะ (1997) ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ค.2 (ทดลอง 3 ซ้ำ)

3.2.2.3 การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม

หาค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (cooking loss) ของเนื้อไก่สดโดยดัดแปลงวิธีจาก Honikel (1998) และ Iwasaki และคณะ (2006) ดังรายละเอียดที่แสดงในภาคผนวก ค.3 (ทดลอง 3 ซ้ำ)

3.2.2.4 เนื้อสัมผัส

วัดเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สดและเนื้อไก่ต้มสุกด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Micro Systems, England) และใช้ Warner-Bratzler blade ดัดแปลงจากวิธีของ Barbanti และ Pasquini (2005) และ Honikel (1998) วัดค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการฉีกเนื้อและพื้นที่ใต้กราฟ รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.4 (ทดลอง 4 ซ้ำ โดยแต่ละซ้ำของการทดลองคือเนื้อไก่ 1 ชิ้น จะวัดค่า 3 ตำแหน่ง)

3.2.3 ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อโครงสร้างของเนื้อไก่สด

นำเนื้อไก่สดควบคุม (ไม่ผ่านกระบวนการ) และเนื้อไก่สดที่ผ่านการให้ความดันที่ 300 และ 400 MPa ตามภาวะที่เลือกจากข้อ 3.2.1 บันทึกภาพแสดงลักษณะทางโครงสร้างของตัวอย่างเนื้อไก่สด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) (JEOL รุ่น JSM-5410LV, Tokyo, Japan) ตามรายละเอียดที่ได้แสดงดังภาคผนวก ง

3.2.4 การวางแผนการทดลองทางสถิติ

สำหรับข้อมูลในส่วน 3.2.1 จะนำมาศึกษาจลนพลศาสตร์ของการทำลาย S. Typhimurium DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่สด และหาค่า D, k, Z และ E_a เท่านั้น จึงไม่มีการวางแผนการทดลองทางสถิติ

สำหรับข้อมูลในส่วน 3.2.2 วางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยพิจารณาผลของความดันจากภาวะที่เลือกได้ในข้อ 3.2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Fisher's Least - Significant Different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

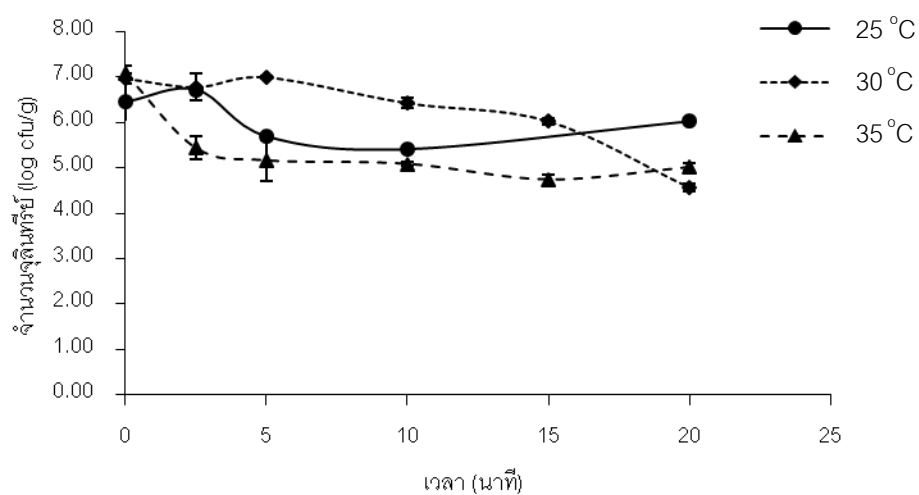
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลาย *S. Typhimurium* DMST 28913

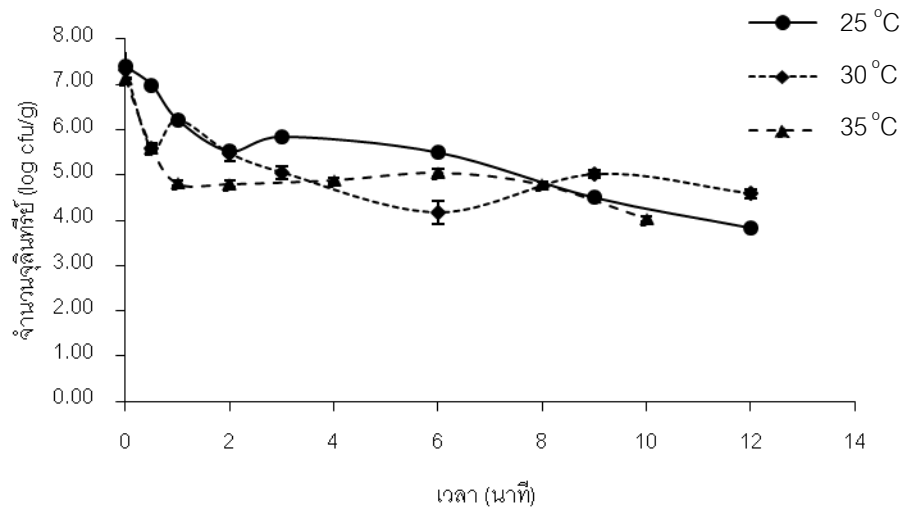
ผลการทำลาย *S. Typhimurium* บนผิวของเนื้อไก่สด โดยกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงแสดงดังรูปที่ 4.1-4.3 ซึ่งพบว่าการให้ความดันสูง (200-400 MPa) ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง (25-35 °C) ก็สามารถลด *S. Typhimurium* ได้ถึง 2-4 log cfu/g การที่กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงสามารถลดจุลินทรีย์ลงที่อุณหภูมิตัวกลางใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องได้นั้น เนื่องจากความดันจะสร้างความเสียหายให้กับเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย จึงมีผลต่อกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมสารอาหารและการกำจัดของเสียจากเซลล์ (Dogan and Erkmen, 2004; Torres and Velazquez., 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าจลนพลศาสตร์ของการทำลาย *S. Typhimurium* สามารถอธิบายได้โดยใช้สมการจลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่ง หรือสมการจลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่งแฝง ซึ่งขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ในการแปรรูป โดยสมการจลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่งแฝง (pseudo first-order kinetics equation) จะแบ่งการเปลี่ยนแปลงออกเป็นสองช่วง (รูปที่ 4.4) คือ ช่วงแรกที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์สอดคล้องกับจลนพลศาสตร์อันดับที่ 1 (ช่วงที่ 1 ในรูป 4.4) และช่วงที่สองที่จำนวนจุลินทรีย์เกือบคงที่ไม่ขึ้นกับเวลาในการแปรรูป (ช่วงที่ 2 ในรูปที่ 4.4) แต่ในการหาเวลาที่ทำให้ *S. Typhimurium* เริ่มต้นลดลงไป 1 log-cycle (D) และค่าคงที่อัตรา (k) จะนำข้อมูลในช่วงที่ 1 เท่านั้นมาใช้ในการคำนวณ โดยค่า D และ k เป็นค่าที่แสดงถึงความต้านทานต่อการทำลายด้วยความร้อน หรือความดันของจุลินทรีย์ ค่าของค่า k จากค่า D ตามสมการที่ 3.4 ดังที่แสดงในบทที่ 3

อนึ่ง เมื่อพิจารณาข้อมูลในรูปที่ 4.1-4.3 พบว่าการให้ความดันสูงเป็นเวลานาน เช่น ที่ความดัน 200 MPa อุณหภูมิสารตัวกลาง 25 °C เป็นเวลา 20 นาที ทำให้จำนวน *S. Typhimurium* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากปัญหาการควบคุมอุณหภูมิสารตัวกลางระหว่างกระบวนการ กล่าวคือการเพิ่มความดันทุกๆ 100 MPa มีผลทำให้อุณหภูมิของสารตัวกลางเพิ่มขึ้น

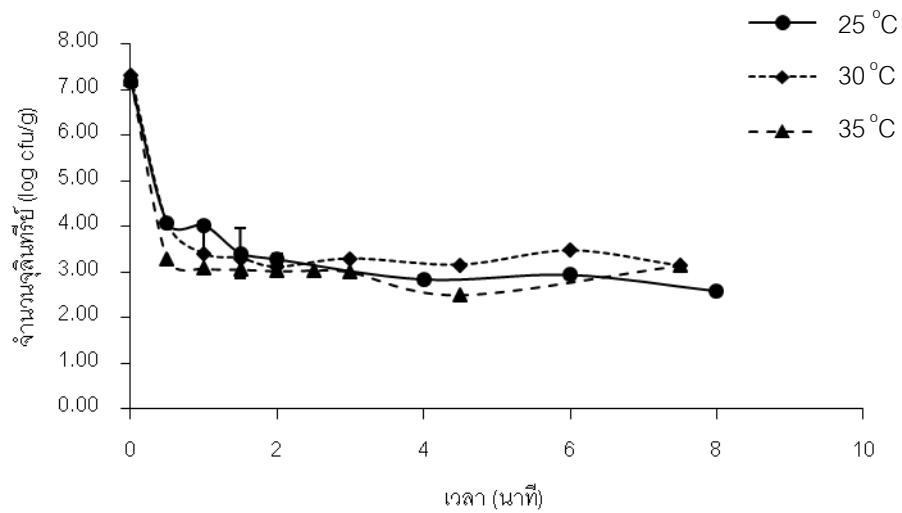
ประมาณ 5 °C จึงต้องตั้งอุณหภูมิของสารหล่อเย็นให้ต่ำกว่าอุณหภูมิของสารตัวกลางในการทดลองจริง 10, 15 และ 20 °C สำหรับการให้ความดันที่ 200, 300 และ 400 MPa ตามลำดับ แต่ผลการเพิ่มอุณหภูมิเนื่องจากการเพิ่มของความดันนี้จะคงอยู่ในช่วงสั้นๆ เท่านั้น เมื่อการทดลองดำเนินไปอุณหภูมิสารตัวกลางจะค่อยๆ ลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสารหล่อเย็น ดังนั้นการลดลงของอุณหภูมิตัวกลางระหว่างการคงความดันสูงเป็นเวลานานนี้ อาจลดประสิทธิภาพการทำลาย *S. Typhimurium* ในระหว่างกระบวนการได้



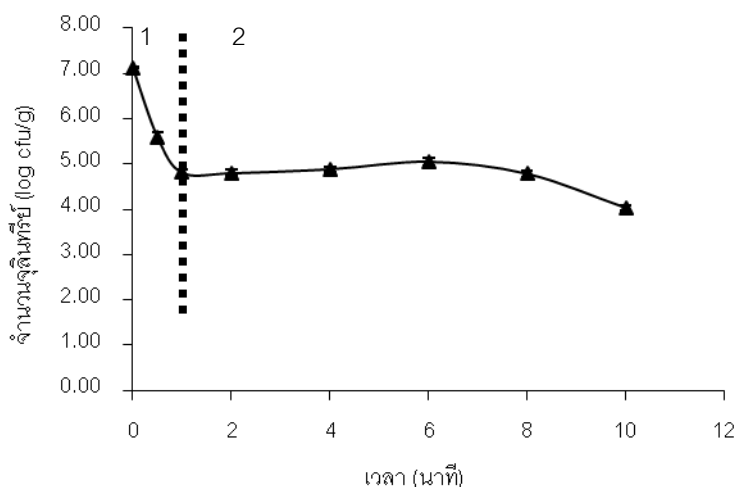
รูปที่ 4.1 จำนวน *S. Typhimurium* DMST 28913 ที่รอดชีวิตบนชิ้นเนื้อไก่ภายหลังการให้ความดันที่ 200 MPa อุณหภูมิ 25-35 °C เป็นเวลา 0-20 นาที



รูปที่ 4.2 จำนวน *S. Typhimurium* DMST 28913 ที่รอดชีวิตบนชิ้นเนื้อไก่ภายหลังจากการให้ความดันที่ 300 MPa อุณหภูมิ 25-35 °C เป็นเวลา 0-12 นาที



รูปที่ 4.3 จำนวน *S. Typhimurium* DMST 28913 ที่รอดชีวิตบนชิ้นเนื้อไก่ภายหลังจากการให้ความดันที่ 400 MPa อุณหภูมิ 25-35 °C เป็นเวลา 0-8 นาที



รูปที่ 4.4 จลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่งแฝงของการทำลาย *S. Typhimurium* DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่เมื่อผ่านการให้ความดันที่ 300 MPa อุณหภูมิ 35 °C

ค่า D และค่า k ของการยับยั้ง *S. Typhimurium* ที่ความดัน 200-400 MPa อุณหภูมิ ต่ำกว่า 25-35 °C แสดงดังตารางที่ 4.1 ทั้งนี้การเลือกช่วงข้อมูลการเปลี่ยนแปลง *S. Typhimurium* ตามช่วงเวลาที่ได้รับระบุในตารางที่ 4.1 เพื่อใช้ในการคำนวณค่า D และค่า k นั้น จะพิจารณาจาก ข้อมูลที่ให้ค่า R^2 สูงที่สุด จากข้อมูลพบว่าเมื่อเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิมีผลทำให้ค่า D ลดลง หรือค่า k เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของ Zhu และคณะ (2008) ที่ศึกษาผลของ กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลายสปอร์ *Clostridium sporogenes* ในตัวอย่าง เนื้อวัวบด โดยแปรความดัน 700-900 MPa อุณหภูมิ 80-100 °C พบว่าเมื่อเพิ่มความดัน และ/หรือ อุณหภูมิมีผลทำให้ค่า D ลดลง และสอดคล้องงานวิจัยของ Ramaswamy และคณะ (2010) ที่ ศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อการทำลายสปอร์ *Clostridium sporogenes* ATCC 11437 ในนม โดยแปรความดัน 700-900 MPa อุณหภูมิ 80-100 °C พบว่าเมื่อเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิมีผลทำให้ค่า D ลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาผลของกระบวนการแปรรูป ด้วยความดันสูงต่อการทำลายเซลล์มีชีวิตของแบคทีเรีย ดังรายงานวิจัยของ Erkmén และ Dogan (2004) ที่ศึกษาผลของอัตราการยับยั้ง *Escherichia coli* ด้วยกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง ในตัวอย่างอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว นม น้ำพีช และน้ำส้ม โดยให้ความดันที่ 300-700 MPa อุณหภูมิ 25 °C เวลา 0-24 นาที พบว่าการเพิ่มความดันจาก 300 เป็น 700 MPa มีผลทำให้ค่า D ลดลง

หรือค่า k เพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่างที่ศึกษา และงานวิจัยของ Erkmen (2009) ที่ศึกษาจลนพลศาสตร์ของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงในการยับยั้ง *Salmonella* Typhimurium ในระบบอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (broth) โดยแปรความดัน 200-350 MPa อุณหภูมิ 15-45 °C และเวลา 5-50 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิ ก็มีผลทำให้ค่า k เพิ่มขึ้นเช่นกัน แม้ว่าจะใช้สมการ modified Gompertz equation (microbial growth modeling) แทนการใช้สมการจลนพลศาสตร์อันดับที่ 1 ในการหาค่า k

ตารางที่ 4.1 ค่า D และค่า k ของการทำลาย *S. Typhimurium* DMST 28913 ภายใต้กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C

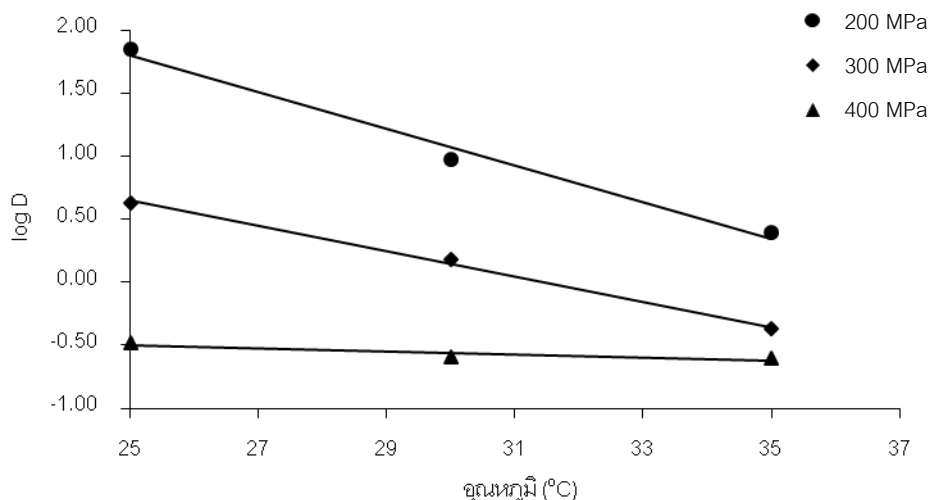
ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	D (min)	k (min ⁻¹)	R^2
200	25	0-20	45.25	0.05	0.3154
200	30	0-20	9.34	0.25	0.8607
200	35	0-5	2.46	0.94	0.9496
300	25	0-12	4.26	0.54	0.7422
300	30	0-3	1.50	1.54	0.7217
300	35	0-1	0.42	5.48	0.9498
400	25	0-1	0.33	6.98	0.7637
400	30	0-1	0.25	9.21	0.8727
400	35	0-1	0.25	9.21	0.7874

เวลาที่ระบุในตาราง หมายถึง เวลาที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ตามสมการจลนพลศาสตร์อันดับที่หนึ่ง (First-order kinetics equation)

งานวิจัยที่ผ่านมารายงานค่า D ของการทำลาย *Salmonella* spp. ด้วยความร้อนโดย Mazzotta (2000) หาค่า D ของการทำลายเชื้อผสมของ *Salmonella* spp. ซึ่งประกอบด้วย *S. Typhimurium* *S. Enteritidis* *S. Montevideo* *S. Mbandaka* *S. Heidelberg* และ *S. Thompson* ในเนื้ออกไก่บด ให้ความร้อนด้วยการจุ่มตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จนตัวอย่างมีอุณหภูมิแกนกลางเท่ากับ 56-63 °C พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 56 เป็น 63 °C ทำให้ค่า D ลดลงจาก 3.2 เป็น 0.18 นาที Murphy และคณะ (2000) ศึกษาจลนพลศาสตร์การยับยั้งเชื้อผสมของ *Salmonella* spp. ซึ่งประกอบด้วย *S. Senftenberg* *S. Typhimurium* *S. Heidelberg* *S. Mission*

S. Montevideo และ S. California ในเนื้ออกไก่บด ให้ความร้อนด้วยการจุ่มตัวอย่างในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จนตัวอย่างมีอุณหภูมิแกนกลางเท่ากับ 55-70 °C พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 55 เป็น 70 °C ทำให้ค่า D ลดลงจาก 30.1 เป็น 0.238 นาที ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการทำลาย *Salmonella* spp. ด้วยความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ (ให้ค่า D ต่ำๆ) ต้องใช้อุณหภูมิสูงเช่น ประมาณ 70 °C ซึ่ง sarcoplasmic protein และ myofibrillar protein ในเนื้อจะเริ่มเกิดการรวมตัวที่อุณหภูมิ 40-60 °C และจะเสียสภาพโดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 65-75 °C (Xiong, 2004) ดังนั้นการทำลาย *Salmonella* spp. ที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้เนื้อไก่สุก ในขณะที่กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงจะสามารถทำลาย S. Typhimurium ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิสารตัวกลางใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง โดยที่ตัวอย่างยังไม่สุก เช่น การให้ความดันที่ 400 MPa อุณหภูมิสารตัวกลาง 25-35 °C เป็นเวลา 1 นาที จะให้ค่า D น้อยกว่า 1 นาที

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า log D และอุณหภูมิ (°C) ดังรูปที่ 4.5 สามารถนำมาหาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Z_T) ของการทำลาย S. Typhimurium ที่ความดันคงที่ แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันมีผลทำให้ค่า Z_T ของการทำลาย S. Typhimurium บนผิวเนื้อไก่สดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่า S. Typhimurium มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงเมื่ออยู่ภายใต้ความดันสูง เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า Z_T ที่ความดันต่างๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังมีความขัดแย้งกัน Ramaswamy และคณะ (2010) พบว่าการเพิ่มความดันจาก 700 เป็น 900 MPa ทำให้ค่า Z_T ของการทำลายสปอร์ *Clostridium sporogenes* เพิ่มจาก 17.2 เป็น 19.6 °C ในขณะที่ Zhu และคณะ (2008) พบว่าการเพิ่มความดันจาก 700 เป็น 900 MPa ทำให้ค่า Z_T ของการทำลายสปอร์ *Clostridium sporogenes* มีค่าใกล้เคียงกันคือ 19.1-19.7 °C ซึ่งความไม่สอดคล้องดังกล่าวอาจเกิดมาจากลักษณะทางกายภาพและเคมีของอาหารที่ต่างกัน เช่น ของแข็งหรือของเหลว และองค์ประกอบของอาหาร โดย Ramaswamy และคณะ (2010) ศึกษาในตัวอย่างนม ในขณะที่ Zhu และคณะ (2008) ศึกษาในตัวอย่างเนื้อวัวบด



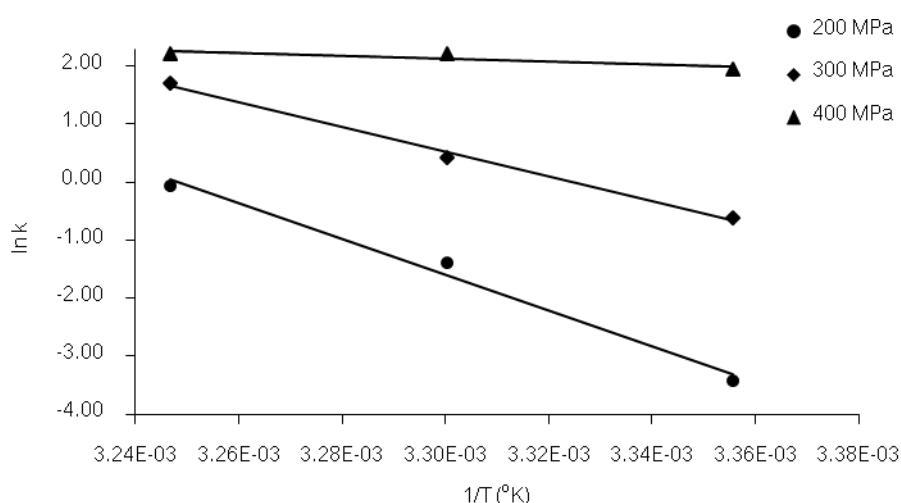
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D ของการทำลาย *S. Typhimurium* DMST 28913 บนชิ้นเนื้อไก่ และอุณหภูมิ ภายใต้การแปรรูปด้วยความดันที่ 300-400 MPa

ตารางที่ 4.2 ค่า Z_T ของ *S. Typhimurium* DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่สดจากการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C

ความดัน (MPa)	Z_T (°C)	R^2
200	7.91	0.9976
300	9.97	0.9969
400	84.75	0.7949

งานวิจัยที่ผ่านมารายงานค่า Z ของการทำลาย *Salmonella* spp. ด้วยความร้อนโดย Mazzotta (2000) หาค่า Z ของการทำลายเชื้อผสมของ *Salmonella* spp. ซึ่งประกอบด้วย *S. Typhimurium* *S. Enteritidis* *S. Montevideo* *S. Mbandaka* *S. Heidelberg* และ *S. Thompson* เมื่อทำให้อุณหภูมิแกนกลางของตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็น 56-63 °C พบว่าค่า Z มีค่าเท่ากับ 5.7 °C Murphy และคณะ (2000) ศึกษาजनพลศาสตร์การยับยั้งเชื้อผสมของ *Salmonella* spp. ซึ่งประกอบด้วย *S. Senftenberg* *S. Typhimurium* *S. Heidelberg* *S. Mission* *S. Montevideo* และ *S. California* ในเนื้ออกไก่อบค เมื่อทำให้อุณหภูมิแกนกลางของตัวอย่างมีค่า 55-70 °C พบว่าค่า Z มีค่าเท่ากับ 6.53 °C ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่า Z ของการทำลาย *Salmonella* spp. ด้วยความร้อน จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า Z_T ของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ความดัน 200 MPa ในช่วงอุณหภูมิสารตัวกลาง 25-35 °C (ตารางที่ 4.2)

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า k และอุณหภูมิ (K) ดังรูปที่ 4.6 สามารถหาค่าพลังงานกระตุ้น (E_a) สำหรับการทำลาย *S. Typhimurium* บนผิวเนื้อไก่สดด้วยความดันสูงซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันมีผลทำให้ค่า E_a ลดลง โดยการให้ความดันที่ 400 MPa ส่งผลให้ E_a มีค่าต่ำที่สุด แสดงว่าที่ความดัน 400 MPa การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจาก 25 เป็น 35 °C ก็ไม่ส่งผลทำให้ค่า k เปลี่ยนแปลงมากนัก ผลที่ได้จากงานวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Erkmen (2009) พบว่าเมื่อเพิ่มความดันจาก 200 เป็น 350 MPa มีผลทำให้ค่า E_a ลดลงจาก 42.88 เป็น 1.94 kJ/mol ซึ่งค่า E_a สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ *S. Typhimurium* ที่ความดันคงที่ มีความหมายทำนองเดียวกับค่า Z_T โดยค่า E_a ที่มีค่าต่ำลงมีความหมายในทำนองเดียวกับการที่ Z_T ที่มีค่าสูงขึ้นนั่นคือ *S. Typhimurium* มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงภายใต้ความดันสูง

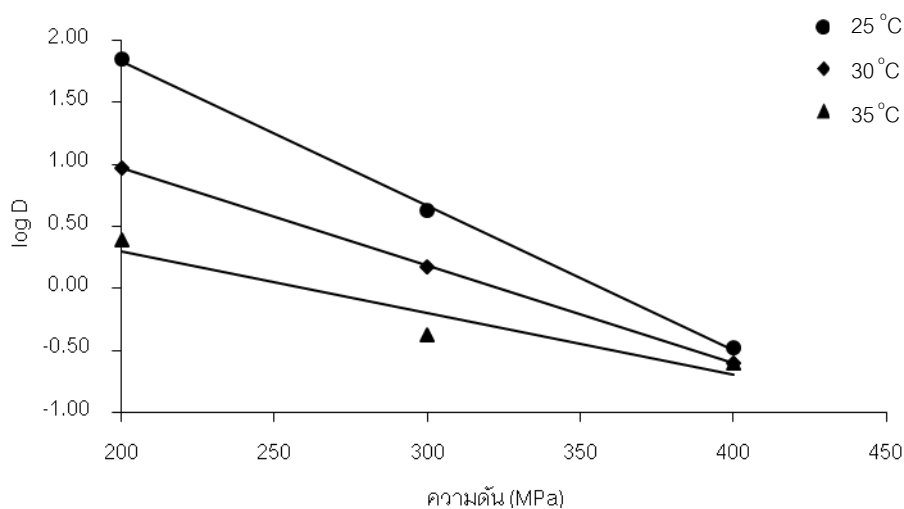


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า k ของการทำลาย *S. Typhimurium* DMST 28913 และอุณหภูมิ ภายใต้การแปรรูปด้วยความดันที่ 300-400 MPa ซึ่งเป็นไปตามสมการ Arrhenius

ตารางที่ 4.3 ค่า E_a สำหรับ *S. Typhimurium* DMST 28913 ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C

ความดัน(MPa)	A(min ⁻¹)	E_a (kJ/mol)	R^2
200	4.78×10^{37}	222.30	0.9985
300	3.76×10^{30}	176.05	0.9958
400	3.20×10^4	20.77	0.8026

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log D$ และความดัน (MPa) ดังรูปที่ 4.7 สามารถนำมาหาค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน (Z_p) ของการทำลาย *S. Typhimurium* แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสารตัวกลางมีผลทำให้ค่า Z_p ของ *S. Typhimurium* บนผิวเนื้อไก่สดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่า *S. Typhimurium* มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันน้อยลงเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิสูง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า Z_p ที่ความดันต่างๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ก็ยังคงพบแนวโน้มที่ไม่สอดคล้องกันโดย Ramaswamy และคณะ (2010) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 80 เป็น 100 °C มีผลทำให้ค่า Z_p ของการทำลายสปอร์ *Clostridium sporogenes* เพิ่มจาก 714 เป็น 1250 MPa แต่ Zhu และคณะ (2008) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจาก 80 เป็น 90 และ 100 °C ส่งผลให้ค่า Z_p ของการทำลายสปอร์ *Clostridium sporogenes* มีค่าใกล้เคียงกันคือ 563, 520 และ 522 MPa ตามลำดับ ซึ่งความไม่สอดคล้องดังกล่าวอาจเกิดมาจากลักษณะทางกายภาพและเคมีของอาหาร ดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D ของการทำลาย *S. Typhimurium* DMST 28913 บนชิ้นเนื้อไก่ และความดัน ภายใต้การแปรรูปด้วยความดันที่ 300-400 MPa

ตารางที่ 4.4 ค่า Z_p ของ *S. Typhimurium* DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่สดจากการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 200-400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 25-35 °C

อุณหภูมิ (°C)	Z_p (MPa)	R^2
25	93.46	0.9995
30	128.21	0.9999
35	200.00	0.9111

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น จึงพิจารณาเลือกการให้ความดันที่ 300 MPa 35 °C 1 นาที และ 400 MPa 30 °C 1 นาที ซึ่งลดจำนวน *S. Typhimurium* บนผิวเนื้อไก่ได้ 2.34 และ 3.92 log cfu/g เป็นภาวะที่เหมาะสมตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือลดจำนวน *S. Typhimurium* ได้ 2-3 log cfu/g โดยใช้เวลาไม่เกิน 10 นาที หนึ่งจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ตรวจในเนื้อไก่มีค่าประมาณ 3-4 log cfu/g ซึ่งประกอบด้วย จุลินทรีย์กลุ่ม Coliforms, Enterobacteriaceae, *Pseudomonas* spp., *S. aureus* และ *Salmonella* spp. (Malpass et al., 2010) ซึ่ง *S. Typhimurium* มักพบได้น้อยเมื่อเทียบกับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยประเวทย์ ดุ้ยเต็มวงศ์ และคณะ (2546) รายงานการปนเปื้อนของ *Salmonella* spp. ในช่วง 13-17 cfu/g ในเนื้อไก่แช่แข็งที่ผลิตในประเทศไทย ดังนั้นภาวะการให้ความดันที่สามารถทำลาย *S. Typhimurium* ได้ 2-3 log cfu/g เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม จะทำให้โอกาสในการตรวจพบ *S. Typhimurium* มีน้อยมากหรือไม่พบเลย และเป็นตามประกาศคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ซึ่งต้องไม่พบ *Salmonella* spp. ในตัวอย่างอาหาร 25 g จากการตรวจสอบด้วยวิธีมาตรฐาน (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548) จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคภายหลังจากแปรรูปด้วยความดันสูงในภาวะที่เลือกนี้ต่อไป

4.2 ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพการบริโภค

ค่าสีบริเวณผิวของเนื้อไก่สดของตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงที่ 300 MPa อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 1 นาที และ 400 MPa 30 °C 1 นาที แสดงดังตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาตัวอย่างสด พบว่าเมื่อเพิ่มความดัน มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ค่าแสดงความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) และค่าแสดงความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน เมื่อคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) พบว่าการเพิ่ม

ความดันมีผลทำให้ค่า ΔE เพิ่มขึ้น โดยค่า ΔE ที่มากกว่า 10 หน่วยในตัวอย่างเนื้อสัตว์แสดงว่าตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจน และสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงด้วยตาเปล่าได้ (Jung et al., 2003) ซึ่งพบว่าที่ความดัน 300 MPa มีค่า ΔE น้อยกว่า 10 หน่วย เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะพบว่ามีสีเขียวเล็กน้อย แต่ที่ความดัน 400 MPa มีค่า ΔE มากกว่า 10 หน่วย สอดคล้องกับการที่ผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านความดันที่ 400 MPa มีสีเขียวอย่างมาก ดังรูปที่ 4.8 งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อไก่หลังผ่านการให้ความดันสูงโดย Del Olmo และคณะ (2010) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของชิ้นเนื้ออกไก่ภายหลังการแปรรูปด้วยความดันสูง โดยให้ความดันคงที่ที่ 400 MPa อุณหภูมิของสารตัวกลางเริ่มต้น 5°C และมีค่าไม่เกิน 16°C ระหว่างการให้ความดัน ให้ความดันสูงเป็นเวลา 1-20 นาทีต่อรอบ ให้ความดันซ้ำ 1-4 รอบต่อตัวอย่าง พบว่าค่า L^* a^* และ b^* ของเนื้ออกไก่สดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนรอบของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงหรือเพิ่มเวลาในการให้ความดัน โดยเนื้อไก่ที่ผ่านการให้ความดันจะมีสีคล้ายเนื้อไก่สุกมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มเวลาและจำนวนรอบ Kruk และคณะ (2011) ศึกษาผลของความดันสูงต่อจำนวนจุลินทรีย์และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นอกไก่ โดยให้ความดันคงที่ 300-600 MPa อุณหภูมิภายในภาชนะ 15°C เป็นเวลา 5 นาทีพบว่าเมื่อเพิ่มความดัน ค่า L^* a^* และ b^* ของเนื้ออกไก่สดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีบริเวณผิวของเนื้อไก่สดอาจเกิดจากการเสียสภาพของโปรตีนในไมโอโกลบิน และ/หรือการเปลี่ยนแปลงสถานะ (transition state) ของโมเลกุลเหล็กในฮีม (Wackerbarth et al., 2009; Souza et al., 2011) นอกจากนี้ความดันยังมีผลต่อสมบัติการละลายของ sarcoplasmic protein ทำให้เกิดการรวมตัวของโปรตีน (protein coagulation) บริเวณผิวของตัวอย่าง ทำให้อัตราส่วนแสงที่ถูกดูดซับและแสงสะท้อนเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความสว่างของตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น (Del Olmo et al., 2010; Marcos et al., 2010; Kruk et al., 2011)

เมื่อพิจารณาค่าสีของตัวอย่างสุก (ตารางที่ 4.6) พบว่า L^* a^* และ b^* ของผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านความดันในแต่ละภาวะการทดลองไม่แตกต่างกับตัวอย่างเนื้อไก่สดในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และมีค่า ΔE น้อยกว่า 10 หน่วย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความร้อนทำให้โปรตีนในไมโอโกลบินเกิดการเสียสภาพโดยสมบูรณ์และยังทำให้โปรตีนในส่วนอื่น เช่น โครงสร้างของกล้ามเนื้อเสียสภาพทั้งในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน และตัวอย่างควบคุม จึงทำให้เนื้อไก่ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการมีสีไม่แตกต่างกันภายหลังการต้มสุก

ตารางที่ 4.5 ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง-เขียว (a^*) ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) และความแตกต่างของสี (ΔE) ของผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

ตัวอย่าง	ค่าที่วัด	ภาวะการทดลอง		
		ควบคุม	300 MPa	400 MPa
เนื้อไก่สด	L^*	49.61 ^c ± 0.80	54.12 ^b ± 0.44	74.13 ^a ± 0.53
	a^*	1.01 ^b ± 0.84	3.75 ^a ± 0.26	1.68 ^b ± 0.32
	b^*	6.23 ^b ± 1.86	3.61 ^c ± 0.14	10.30 ^a ± 0.26
	ΔE	-	5.89	24.86
เนื้อไก่ต้มสุก	L^{*ns}	80.57 ± 0.44	80.41 ± 0.57	82.58 ± 2.45
	a^{*ns}	1.71 ± 0.51	1.83 ± 0.37	1.11 ± 0.08
	b^{*ns}	12.46 ± 1.01	11.89 ± 0.21	12.04 ± 0.33
	ΔE	-	0.60	2.14

ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตัวอย่างควบคุม หมายถึง ตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

ตัวอย่าง 300 MPa หมายถึง ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการที่ 300 MPa อุณหภูมิ 35 °C 1 นาที

ตัวอย่าง 400 MPa หมายถึง ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการที่ 400 MPa อุณหภูมิ 30 °C 1 นาที



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 สีของเนื้อไก่สดที่ผ่านกระบวนการให้ความดันสูง (HPP) และไม่ผ่านกระบวนการ (ควบคุม): (ก) ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน 300 MPa 35 °C 1 นาที และ (ข) ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน 400 MPa 30 °C 1 นาที

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มของเนื้อไก่สดทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มหลังผ่านการให้ความดันโดย McArdle และคณะ (2011) ศึกษาอิทธิพลของการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อคุณภาพของเนื้อวัวและความคงตัวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิแช่เย็น โดยให้ความดัน 400 และ 600 MPa อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 °C เป็นเวลา 20 นาที พบว่าการเพิ่มความดัน มีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มเพิ่มขึ้น Kruk และคณะ (2011) พบว่าเมื่อเพิ่มความดันจาก 300 เป็น 600 MPa อุณหภูมิภายในภาชนะ 15 °C เป็นเวลา 5 นาที การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการให้ความดันสูง ส่งผลให้ myofibrillar protein และ sarcoplasmic protein เสื่อมสภาพ และเกิด protein-protein interaction ภายในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้น้ำถูกขับออกจากโครงสร้างได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มเพิ่มขึ้น (Galazka et al., 1996; Marcos et al., 2010; Kruk et al., 2011)

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการอุ้มน้ำและการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มของเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

ตัวอย่าง	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (%)	การสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (%)
ควบคุม	10.17 ^a ± 0.08	6.20 ^c ± 0.64
300 MPa	9.17 ^b ± 0.29	12.58 ^b ± 1.39
400 MPa	4.48 ^c ± 0.31	15.57 ^a ± 3.23

ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอย่างควบคุม หมายถึง ตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

ตัวอย่าง 300 MPa หมายถึง ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการที่ 300 MPa อุณหภูมิ 35 °C 1 นาที

ตัวอย่าง 400 MPa หมายถึง ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการที่ 400 MPa อุณหภูมิ 30 °C 1 นาที

ค่าที่บอกลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สดของตัวอย่างทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง วัดโดยใช้ใบมีด Warner-Bratzler แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าตัวอย่างเนื้อไก่สดเมื่อผ่านการให้ความดันในแต่ละภาวะ ให้ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการฉีกและค่าพื้นที่ได้กราฟ

ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของตัวอย่างขึ้นอยู่กับระดับความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการแปรรูป McArdle และคณะ (2011) พบว่าการให้ความดันกับเนื้อวัวที่ 400 และ 600 MPa อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 °C เป็นเวลา 20 นาที เมื่อเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิ ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการเคี้ยวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) Del Olmo และคณะ (2010) พบว่าการให้ความดันที่ 400 MPa อุณหภูมิเนื้อไก่ 4 °C เป็นเวลา 1-10 นาทีส่งผลให้ค่าแรงเคี้ยว (shear force (N)) และค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (total energy (J)) ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ Zamri และคณะ (2006) ศึกษาผลของการให้ความร้อนและความดันต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่ โดยให้ความดันในช่วง 200-400 MPa อุณหภูมิ 20-50 °C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเมื่อเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิมีผลทำให้ค่าความแน่นเนื้อสูงขึ้น ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการแปรรูปที่ความดันสูง อุณหภูมิสูง และเวลานาน จะทำให้ค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการเสียดสีของโปรตีน ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ พบว่าระดับการเสียดสีของโปรตีนในแต่ละภาวะของการแปรรูปส่งผลต่อความสามารถในการคู้มน้ำ แต่ไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สด

เมื่อพิจารณาเนื้อสัมผัสของตัวอย่างต้มสุก (ตารางที่ 4.7) พบว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการในแต่ละภาวะมีค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการเคี้ยวขึ้นเนื้อและพื้นที่ได้กราฟเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ซึ่งความดันมีผลทำให้โปรตีนเสียดสีพาดังที่กล่าวไปแล้ว เมื่อต้มเนื้อไก่ทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อเนื่องจากการเสียดสีของโปรตีนระหว่างการให้ความร้อน การเปลี่ยนแปลงนี้อาจส่งเสริมผลของการแปรรูปด้วยความดันสูงทำให้เกิด protein-protein interaction มากขึ้น และทำให้เนื้อไก่สุกที่เตรียมจากตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการมีความแน่นเนื้อมากกว่าเนื้อไก่สุกที่เตรียมจากตัวอย่างควบคุม ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นหลังผ่านกระบวนการ ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างกล้ามเนื้อที่แห้ง และกระด้างมากขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่าที่บอกลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

ตัวอย่าง	ค่าที่วัด	ภาวะการทดลอง		
		ควบคุม	300 MPa	400 MPa
เนื้อไก่สด	แรงสูงสุดที่ใช้ในการเข็นขึ้นเนื้อ ^{ns} (N)	33.33±2.27	31.80±4.72	33.55±6.78
	พื้นที่ได้กราฟ ^{ns} (Nm)	0.56±0.07	0.52±0.07	0.56±0.07
เนื้อไก่ต้มสุก	แรงสูงสุดที่ใช้ในการเข็นขึ้นเนื้อ (N)	26.21 ^b ±3.79	32.53 ^a ±1.22	33.69 ^a ±5.80
	พื้นที่ได้กราฟ (Nm)	0.43 ^b ±0.07	0.56 ^a ±0.04	0.62 ^a ±0.11

ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 4 ซ้ำ

ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวเดียวกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตัวอย่างควบคุม หมายถึง ตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

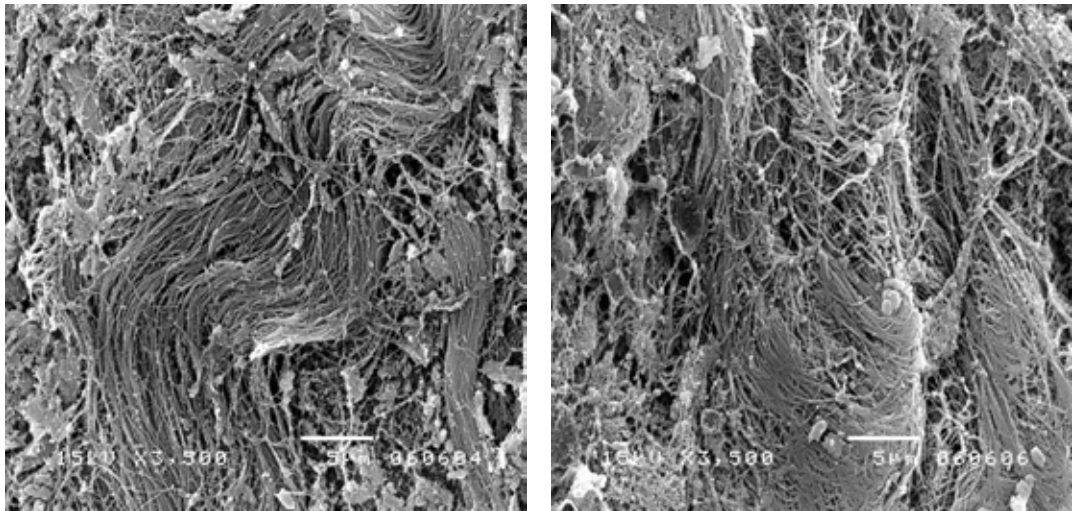
ตัวอย่าง 300 MPa หมายถึง ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการที่ 300 MPa อุณหภูมิ 35 °C 1 นาที

ตัวอย่าง 400 MPa หมายถึง ตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการที่ 400 MPa อุณหภูมิ 30 °C 1 นาที

4.3 ผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อโครงสร้างของเนื้อไก่สด

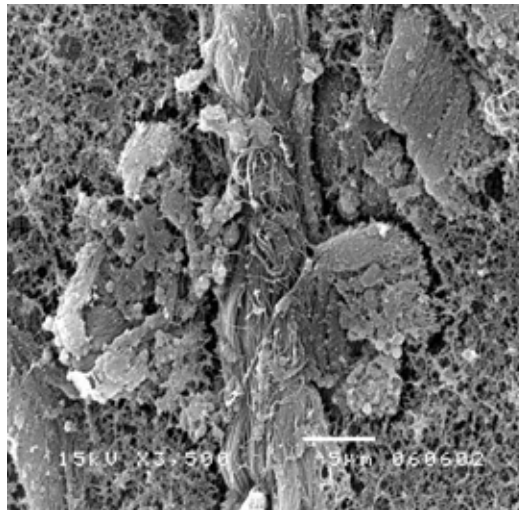
จากภาพถ่ายของผิวตัวอย่างเนื้อไก่สดหลังผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ดังรูปที่ 4.9 พบการรวมตัวของโปรตีนเพิ่มมากขึ้นภายหลังจากผ่านกระบวนการที่ความดันสูงขึ้น โดยที่ความดัน 400 MPa จะพบว่าโปรตีนจะมีการรวมตัวเป็นกลุ่มขนาดใหญ่เห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความดันที่ใช้ในการแปรรูปทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนบริเวณผิวหน้าของเนื้อไก่ และสนับสนุนสมมติฐานที่ทำให้สีของเนื้อไก่ซีดลงภายหลังจากการให้ความดันสูง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในข้อ 4.2 นอกจากนี้การให้ความดันที่ 300 และ 400 MPa ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกล้ามเนื้อภายในชิ้นเนื้อไก่ ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งพบการหดตัวของมัดกล้ามเนื้อและเกิดการแยกตัวออกจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน โดยที่ผลดังกล่าวจะเกิดมากขึ้นที่ความดันสูงขึ้น และสนับสนุนสมมติฐานการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคอย่างที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2 อนึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกิดขึ้นนี้ใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลง

เนื่องจากความร้อน โดย Wattanachant และคณะ (2005) ศึกษาผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้ามเนื้อไก่พื้นเมืองของไทย โดยให้ความร้อนด้วยวิธีการต้มจนอุณหภูมิแกนกลางเท่ากับ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 °C พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น มีผลทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว และแยกออกจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากขึ้น เกิดการเสียสภาพของ myofibrils และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 มีสาเหตุหลักมาจากการเสียสภาพของโปรตีนภายใต้กระบวนการให้ความร้อนสูง



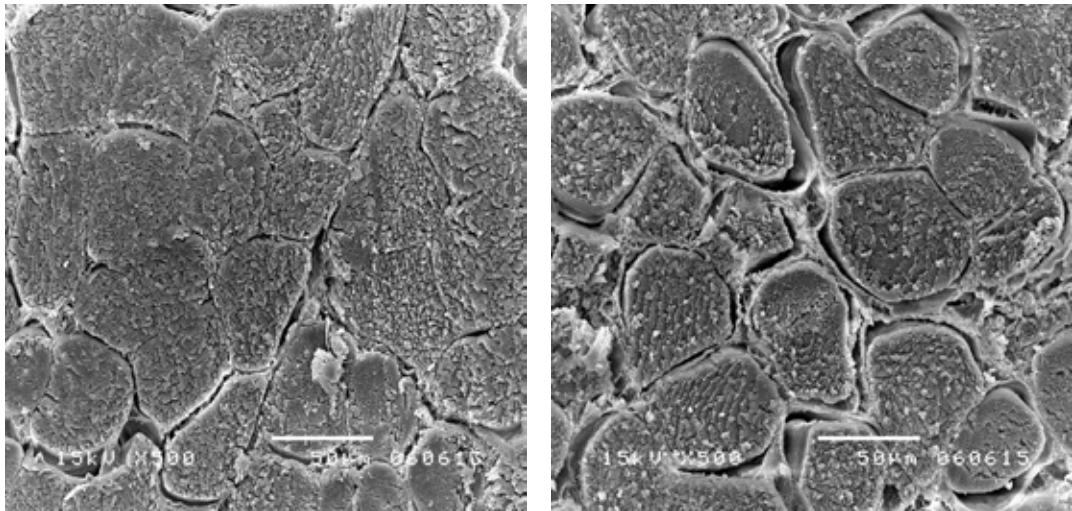
(ก)

(ข)



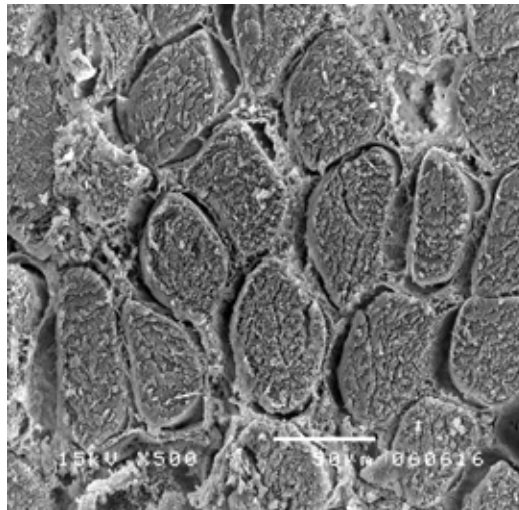
(ค)

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายของผิวเนื้อไก่อัดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า: (ก) ตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการให้ความดัน) (ข) ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน 300 MPa 35 °C 1 นาที และ (ค) ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน 400 MPa 30 °C 1 นาที



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายภาคตัดขวางของเนื้อไก่สดโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า: (ก) ตัวอย่างควบคุม (ไม่ผ่านการให้ความดัน) (ข) ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน 300 MPa 35 °C 1 นาที และ (ค) ตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน 400 MPa 30 °C 1 นาที

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงมีผลต่อการอยู่รอดของ *Salmonella* Typhimurium อย่างมาก โดยพบว่า การเพิ่มความดัน และ/หรืออุณหภูมิมีผลทำให้จุลินทรีย์มีความต้านทานต่อการถูกทำลายด้วยความร้อน หรือความดันลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากค่า D ที่ลดลง หรือค่า k ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ความดัน 400 MPa อุณหภูมิตัวกลาง 35 °C ค่า D มีค่าเพียง 0.25 นาที และมีค่า k เท่ากับ 9.2007 min⁻¹ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความดันจาก 200 MPa เป็น 400 MPa ค่า Z_T เพิ่มขึ้นจาก 7.91 °C เป็น 84.75 °C และมีค่า E_a ลดลงจาก 222.30 kJ/mol เป็น 20.77 kJ/mol แสดงว่า *S. Typhimurium* มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมिन้อยลงเมื่ออยู่ภายใต้ความดันสูง และ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 25 °C เป็น 35 °C ค่า Z_p เพิ่มขึ้นจาก 93.46 MPa เป็น 200.00 MPa แสดงว่า *S. Typhimurium* มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันน้อยลงเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิสูง เลือกรูปการให้ความดัน 2 ภาวะคือ 300 MPa 35 °C 1 นาที และความดันที่ 400 MPa 30 °C 1 นาที ซึ่งลดจำนวน *S. Typhimurium* บนผิวเนื้ออกไก่ได้ 2.34 และ 3.92 log cfu/g ตามลำดับ เพื่อใช้ในการศึกษาคุณภาพการบริโภคของเนื้อไก่เมื่อผ่านการให้ความดัน ซึ่งพบว่าการให้ความดันในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ L^* ของเนื้อไก่สดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่า ΔE เพิ่มขึ้น โดยที่ความดัน 300 MPa มีค่า ΔE น้อยกว่า 10 หน่วย แต่ที่ความดัน 400 MPa มีค่า ΔE มากกว่า 10 หน่วย ซึ่งสอดคล้องกับการที่ผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านกระบวนการมีสีซีดลงอย่างมากเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ส่วนตัวอย่างเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการให้ความดันในแต่ละภาวะและต้มสุกแล้วมีค่า L^* a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากตัวอย่างเนื้อไก่สุกควบคุม ($p > 0.05$) และมีค่า ΔE น้อยกว่า 10 หน่วย ตัวอย่างเนื้อไก่สดที่ผ่านกระบวนการให้ความดันในภาวะที่รุนแรงขึ้นมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าตัวอย่างสดที่ผ่านกระบวนการมีค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการเคี้ยวและค่าพื้นที่ใต้กราฟไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากตัวอย่างเนื้อไก่สดควบคุม ($p > 0.05$) แสดงว่ากระบวนการให้ความดันสูงทั้ง 2 ภาวะที่เลือกได้นี้ไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อของตัวอย่างสด แต่เมื่อผ่านการต้มสุกพบว่าตัวอย่างเนื้อไก่ที่ผ่านกระบวนการทั้ง 2 ภาวะมีค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการเคี้ยว และค่าพื้นที่ใต้กราฟเพิ่มขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเนื้อไก่สุกควบคุม แสดงว่าตัวอย่างสุกที่เตรียมจากตัวอย่างสดที่ผ่านกระบวนการให้ความดันสูงมีเนื้อสัมผัสที่กระด้างมากขึ้น และจากการศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อลักษณะโครงสร้างของเนื้อไก่สด พบว่าความดันและอุณหภูมิตัวกลางมีผลทำให้โปรตีนบริเวณผิวของชิ้นเนื้อเกิดการเสียสภาพและเกาะตัวกัน นอกจากนี้ความดันสูงยังทำให้เกิดการหดตัวของมัดกล้ามเนื้อและแยกตัวออกจากเยื่อเกี่ยวพัน โดยผลดังกล่าวจะเกิดมากขึ้นที่ภาวะการให้ความดันที่สูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากในเนื้อไก่นอกจาก *Salmonella* spp. ยังมีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดอื่น เช่น *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni* และ *Clostridium perfringens* ซึ่งอาจมีความไวต่อความดัน และอุณหภูมิต่างจาก *Salmonella* spp. ดังนั้นควรศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดอื่นเพิ่มเติมด้วย

5.2.2 ควรศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อจุลินทรีย์ในส่วนอื่นของซากไก่ เช่น เนื้อน่อง ซึ่งจัดเป็นเนื้อส่วนที่มีสีเข้ม (dark meat) เนื่องจากแต่ละส่วนของซากจะมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน อาจทำให้กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงมีผลต่อการทำลายจุลินทรีย์ และคุณภาพบริโภคต่างกันด้วย

5.2.3 ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างเนื้อไก่ที่ผ่านการให้ความดันระหว่างการเก็บรักษาทั้งในด้านจุลินทรีย์ และคุณภาพการบริโภค

5.2.4 ควรศึกษาผลกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงต่อเซลล์บาดเจ็บคงเหลือของ *S. Typhimurium* ด้วยวิธีตรวจ *Salmonella* มาตรฐาน (enrichment)

5.2.5 ควรศึกษาการปนเปื้อน *S. Typhimurium* ในเนื้อไก่สดจากแหล่งต่างๆ และประยุกต์ใช้กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง ติดตามการลดการปนเปื้อนด้วยวิธีตรวจ *Salmonella* มาตรฐาน (enrichment)

5.2.6 ควรประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อตัวอย่างเนื้อไก่สดหลังผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมปศุสัตว์. 2553. สถิติปศุสัตว์ ประจำปี (2542-2552) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th/ict/stat_web/index.html. [2 กุมภาพันธ์ 2554]
- ประเวทย์ ต้อยเต็มวงศ์, อติศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์, ชรณี ต้อยเต็ม และสุธี ฉิมพลี. 2546. การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณต่อเชื้อ *Salmonella* ในเนื้อไก่ของไทย. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40: สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมสิ่งแวดล้อม. วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2546 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ. 2549. ความปลอดภัยของอาหาร. กรุงเทพฯ : Sister Print & Media Group.
- ศุภชัย เนื่อนवलสุวรรณ, อลงกร อมรศิลป์, สุมณฑา วัฒนสินธุ์, สุวนิสรุ ดำรงวัฒนโกคิน, โอบาส วงศ์นิติพัฒน์, อนุชา มุมอ่อน, อภิชัย นาคีสงษ์ และวสันต์ เคยเหล่า. 2548. การประเมินความเสี่ยงของซัลโมเนลลาในหน่วยชั้นฟาร์มไก่เนื้อและโรงเชือดไก่: กรณีศึกษาจาก 2 บริษัท. รายงานการวิจัย. ภาควิชาสัตวแพทยสาธารณสุข สัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุมณฑา วัฒนสินธุ์. 2549. ตำราจุลชีววิทยาทางอาหาร. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สุมณฑา วัฒนสินธุ์, อรุณ บ่างตระกูลนนท์ และธนศ ชิตเครือ. 2546. การเฝ้าระวังจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมเพื่อลดเชื้อซัลโมเนลลาในการผลิตเนื้อไก่กระທงแช่เยือกแข็งเพื่อการส่งออก. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2546 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2548. กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : เนื้อไก่ เล่ม ๑๒๒ ตอนที่ ๖๐ ง [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.acfs.go.th/standard/showSTD.php?pageid=2&STDname1=>. [3 กันยายน 2554]

ภาษาอังกฤษ

- Amanatidou, A., Schluter, O., Lemkau, K., Gorris, L.G.M., Smid, E.J. and Knorr, D. 2000. Effect of combined application of high pressure treatment and modified atmospheres on the shelf life of fresh Atlantic salmon. Innovative Food Science and Emerging Technologies 1: 87-98.
- Balasubramaniam, V.M., Farkas, D., and Turek, E.J. 2008. Preserving foods through high-pressure processing. Food Technology 62: 32-38.
- Barbanti, D., and Pasquini, M. 2005. Influence of cooking conditions on cooking loss and tenderness of raw and marinated chicken breast meat. Food Science and Technology 38: 895-901.
- Barbosa-Cánovas, G.V., and Juliano, P. 2008. Food sterilization by combining high pressure and thermal energy. In G.F. Gutiérrez-López, G.V. Barbosa-Cánovas, J. Welti-Chanes, and E. Parada-Arias (eds.) Food Engineering: Integrated Approaches, 9-46. New York: Springer.
- Barbut, S. 2002. Poultry Products Processing. 1st ed. Boca Raton: CRC Press.
- Bremner, A. 1996. Poultry Meat Hygiene and Inspection. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Del Olmo, A., Morales, P., Avila, M., Calzada, J., and Nunez, M. 2010. Effect of single-cycle and multiple-cycle high-pressure treatments on the colour and texture of chicken breast fillets. Innovative Food Science and Emerging Technologies 11: 441-444.
- Dogan, C., and Erkmen, O. 2004. High pressure inactivation kinetics of *Listeria monocytogenes* inactivation in broth, milk, and peach and orange juices. Journal of Food Engineering 62: 47-52.
- Erkmen, O., and Dogan, C. 2004. Kinetic analysis of *Escherichia coli* inactivation by high hydrostatic pressure in broth and foods. Food Microbiology 21: 181-185.

- Erkmen, O. 2009. Mathematical modeling of *Salmonella typhimurium* inactivation under high hydrostatic pressure at different temperatures. Food and Bioprocess Technology 87: 68-73.
- Fellows, P. 2000. Food Processing Technology: Principles and Practice. 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Galazka, V.B., Sumner, I.G., and Ledward, D.A. 1996. Changes in protein-protein and protein polysaccharide interactions induced by high pressure. Food Chemistry 57: 393-398.
- Garriga, M., Grebol, N., Aymerich, M.T., Monfort, J.M., and Hugas, M. 2004. Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. Innovative Food Science and Emerging Technologies 5: 451-457.
- Gonçalves, A.C., Almeida, R.C.C., Alves, M.A.O., and Almeida, P.F. 2005. Quantitative investigation on the effects of chemical treatments in reducing *Listeria monocytogenes* populations on chicken breast meat. Food Control 16: 617-622.
- Hayakawa, I., Linko, Y., and Linko, P. 1996. Mechanism of high pressure denaturation of protein. Food Science and Technology 29: 756-762.
- Honikel, K.O. 1998. Reference method for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Science 49: 447-457.
- Indrawati, Van Loey, A., Smout, C., and Hendrickx, M. 2003. High hydrostatic pressure technology in food preservation. In P. Zeuthen, and L. B. Sørensen (eds.), Food Preservation Techniques, 428-448. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Iwasaki, T., Noshiroya, K., Saitoh, N., Okano, K., and Yamamoto, K. 2006. Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty. Food Chemistry 95: 474-483.
- Jay, J.M. 1970. Modern Food Microbiology. 1st ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

- Jung, S., Ghoul, M., and Lamballerie-Anton, M. 2003. Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. Food Science and Technology 36: 625-631.
- Karel, M., and Lund, D.B. 2003. Physical Principles of Food Preservation. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Katsaros, G.I., Tsevdou, M., Panagiotou, T., and Taoukis, P.S. 2010. Kinetic study of high pressure microbial and enzyme inactivation and selection of pasteurisation condition for Valencia orange juice. International Journal of Food Science and Technology 45: 1119-1129.
- Kruk, Z.A., Yun, H., Rutley, 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.
- Lawrie, R.A., and Ledward, D.A. 2006. Lawrie's Meat Science. 7th ed. Boca Raton: CRC Press.
- Linton, M., McClements, J.M.J., and Patterson, M.F. 2004. Changes in the microbiological quality of vacuum-packaged, minced chicken treated with high hydrostatic pressure. Innovative Food Science and Emerging Technologies 5: 151-159.
- Löfström, C., Hoorfar, J., Schelin, J., Radstrom, P., and Malorny, B. 2010. Salmonella. In D. Liu (eds.), Molecular Detection of Foodborne Pathogens, pp.447-458. Boca Raton: CRC Press.
- Malpass, M.C., Williams, A.P., Jones, D.L., and Omed, H.M. 2010. Microbiological quality of chicken wings damaged on the farm or in the processing plant. Food Microbiology 27: 521-525.
- Marcos, B., Kerry, J.P., and Mullen, A.M. 2010. High pressure induced changes on sarcoplasmic protein fraction and quality indicators. Meat Science 85: 115-120.
- Mazzotta, A.S. 2000. D- and z-values of *Salmonella* in ground chicken breast meat. Journal of Food Safety 20: 217-223.

- McArdle, R.A., Marcos, B., Kerry, J.P., and Mullen, A.M. 2011. Influence of HPP conditions on selected beef quality attributes and their stability during chilled storage. Meat Science 87: 274-281.
- Mountney, G.J. 1966. Poultry Products Technology. 1st ed. Westport: The AVI Publishing.
- Murchie, L.W., Romero, M.C., Kerry, J.P., Linton, M., Patterson, M.F., Smiddy, M., and Kelly, A.L. 2005. High pressure processing of shellfish: A review of microbiological and other quality aspects. Innovative Food Science and Emerging Technologies 6: 257-270.
- Murphy, R.Y., Marks, B.P., Johnson, E.R., and Johnson, M.G. 2000. Thermal inactivation kinetic of *Salmonella* and *Listeria* in ground chicken breast meat and liquid medium. Journal of Food Science 65: 706-710.
- Patazca, E., Koutchma, T., and Balasubramaniam, V.M. 2007. Quasi-adiabatic temperature increase during high pressure processing of selected foods. Journal of Food Engineering 80: 199-205.
- Patterson, M.F., Linton, M., and Doona, C.J. 2007. Introduction to high pressure processing of foods. In C. J. Doona, and F. E. Feeherry (eds.), High Pressure Processing of Foods, 1-14. Oxford: Blackwell Publishing.
- Perez, L.M., Guerrero, H.E., and Guerrero, I. 1997. Effect of calcium chloride marination on calpain and quality characteristics of meat from chicken, horse, cattle and rabbit. Meat Science 48: 125-134.
- Ramaswamy, H.S., Shao, Y., and Zhu, S. 2010. High-pressure destruction kinetic of *Clostridium sporogenes* ATCC 11437 spores in milk at elevated quasi-isothermal condition. Journal of Food Engineering 96: 249-257.
- Rasanayagam, V., Balasubramaniam, V.M., Ting, E., Sizer, C.E., Bush, C., and Anderson, C. 2003. Compression heating of selected fatty food materials during high pressure processing. Journal of Food Science 68: 254-259.

- Souza, C.M., Boler, D.D., Clark, D.L., Kutzler, L.W., Holmer, S.F., Summerfield, J.W., Cannon, J.E., Smit, N.R., McKeith, F.K., and Killefer, J. 2011. The effect of high pressure processing on pork quality, palatability, and further processed products. Meat Science 87: 419-427.
- Texture Technologies Corp. 2011. Food Probes and Fixture[Online]. แหล่งที่มา: <http://www.texturetechnologies.com/industry-probes-fixtures/food-probes.php>. [12 สิงหาคม 2554]
- Tortora, G.J., Funke, B.R., and Case, C.L. 1992. Microbiology: an Introduction. 4th ed. Redwood: The Benjamin/Cummings Publishing.
- Torres, J.A., and Velazquez, G. 2005. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. Journal of Food Engineering 67: 95-112.
- Wattanachant, S., Benjakul, S., and Ledward, D.A. 2005. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle. Food Chemistry 93: 337-348.
- Wackerbarth, H., Kuhlmann, U., Tintchev, F., Heinz, V., and Hildebrandt, P. 2009. Structural changes of myoglobin in pressure-treated pork meat probed by resonance Raman spectroscopy. Food Chemistry 115: 1194-1198.
- Waldroup, A.L. 1996. Contamination of raw poultry with pathogens. World's Poultry Science Journal 52: 7-25.
- Volpato, G., Michielin, E.M.Z., Ferreira, S.R.S., and Petrus, J.C.C. 2008. Optimization of the chicken breast cooking process. Journal of Food Engineering 84: 576-581.
- Vazgecer, B., Ulu, H., and Oztan, A. 2004. Microbiological and chemical qualities of chicken doner kebab retailed on the Turkish restaurants. Food Control 15: 261-264.
- Xiong, Y. L. 2004. Muscle proteins. In R. Y. Yada (eds.), Proteins in Food Processing, 100-118. Boca Raton: CRC Press.

- 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. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54: 2992-2996.
- Zhang, M., Mittal, G.S., and Barbut, S. 1994. Effects of test conditions on the water holding capacity of meat by a centrifugal method. Food Science and Technology 28: 50-55.
- Zhu, S., Naim, F., Marcotte, M., Ramaswamy, H., and Shao, Y. 2008. High-pressure destruction kinetics of *Clostridium sporogenes* spores in ground beef at elevated temperatures. International Journal of Food Microbiology 126: 86-92

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมหัวเชื้อ S. Typhimurium และการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

ภาคผนวก ก.1 การเตรียมหัวเชื้อ S. Typhimurium

จุลินทรีย์

1. S. Typhimurium DMST 28913 (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, ประเทศไทย)

สารเคมี

1. nutrient agar (NA, Merck, Germany)
2. peptone water (Merck, Germany)
3. nutrient broth (NB, Merck, Germany)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Sartorius Portable, Sartorius, Germany)
2. เครื่องแก้ว
3. เครื่องเขย่า (Model G-33, New Brunswick Scientific, USA)
4. เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Tomy SS-320, Tomy Seiko co., Ltd, Japan)
5. ตู้ลามินาร์ (laminar flow hood)
6. เครื่องเขย่าผสมสาร (Vortex Super Mixer, Lab-Line instrument, INC., USA)
7. เครื่องตีบดตัวอย่าง (Stomacher 400 Circulator, Seward, England)
8. ไมโครปิเปต (Pipetman, Gilson, France)
9. ตู้บ่มเชื้อ (Heraeus 37°, New Brunswick Scientific, USA)
10. ปากคีบ
11. ตะเกียงแอลกอฮอล์

วิธีทดลอง

1. เตรียม S. Typhimurium DMST 28913 โดยเชี่ยเชื้อจากอาหารเลี้ยงเชื้อ (master culture หรือ stock culture) มาเพาะเลี้ยงลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ปริมาตร 5 ml ให้อากาศโดยการเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 rpm ภายใต้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชม.
2. นำเชื้อจาก culture มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ na โดยวิธีการ streak plate บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชม. ใช้โคโคนี้เดียวที่ได้เป็น sub-master culture
3. เชี่ยเชื้อจาก sub-master culture จำนวน 1 loop ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ปริมาตร 5 ml เพาะเลี้ยงภายใต้ภาวะเดียวกับที่กล่าวข้างต้นจนได้จำนวนเซลล์เริ่มต้น 10^8 cfu/ml (นับเชื้อโดยวัดความขุ่นด้วย McFarland standard และวิธี total plate count)
4. นำเชื้อที่ได้มาตรวจดูความบริสุทธิ์ว่าไม่มีเชื้ออื่นปะปนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ก่อนนำหัวเชื้อที่ได้ไปเติมลงบนผิวของเนื้อไก่สดในขั้นตอนต่อไป

ภาคผนวก ก.2 การเตรียมตัวอย่างเนื้อไก่สด (ดัดแปลงจากวิธีของ Gonçalves และคณะ (2005))

วัตถุดิบ สารเคมี และบรรจุภัณฑ์

1. เนื้ออกไก่สดลอกหนัง (S-PURE, Betagro, Thailand)
2. โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl, Merck, Germany)
3. ถูพลาสติกปลอดเชื้อขนาด 6.5 x 17.0 cm² ปริมาตร 118 ml. (Nasco whirl-pak, Nasco, USA)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius ED 224S, Sartorius, Germany)
2. เครื่องปิดผนึกฟิล์มพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ (Multivac A300/16, Multivac, Germany)
3. ตะแกรงอลูมิเนียม
4. ปากคืบ
5. ตะเกียงแอลกอฮอล์
6. มีดและเขียง
7. กรรไกร

วิธีทดลอง

1. จุ่มเนื้อไก่ที่ลอกหนังขนาดประมาณ 200 g ลงในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ปริมาตร 200 ml ที่มีปริมาณคลอรีนอิสระ 200 ppm ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 2 นาที เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นในเนื้อไก่สด
2. นำตัวอย่างเนื้อไก่ที่ผ่านการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ จุ่มลงในน้ำกลั่น ปลอดเชื้อเป็นเวลา 15 วินาที เพื่อล้างสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ตกค้างออก ผึ่งตัวอย่างบนตะแกรงปลอดเชื้อ
3. ตัดตัวอย่างเนื้อไก่สดด้วยมีดปลอดเชื้อให้ได้ตัวอย่างน้ำหนัก 25 g เติม S. Typhimurium จากภาคผนวก ก.1 ปริมาตร 0.1 ml บนผิวตัวอย่างเนื้อไก่สด ให้มีจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นประมาณ $7 \log \text{ cfu/g}$
4. บรรจุเนื้อไก่ในถุงพลาสติกปลอดเชื้อขนาด 118 ml ปิดผนึกด้วยระบบสุญญากาศ โดยใช้เครื่องปิดผนึกฟิล์มพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 คืน ก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

ภาคผนวก ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณ S. Typhimurium DMST 28913 บนผิวเนื้อไก่สดโดยวิธี total plate count

สารเคมี และบรรจุภัณฑ์

1. nutrient agar (NA, Merck, Germany)
2. peptone water (Merck, Germany)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. จานเพาะเชื้อ
2. แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อ
3. เครื่องเขย่า (Model G-33, New Brunswick Scientific, USA)
4. เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (Tomy SS-320, Tomy Seiko co., Ltd, Japan)
5. ตู้ลามินาร์ (laminar flow hood)
6. เครื่องเขย่าผสมสาร (Vortex Super Mixer, Lab-Line instrument, INC., USA)
7. เครื่องตีบดตัวอย่าง (Stomacher 400 Circulator, Seward, England)
8. ไมโครปิเปต (Pipetman, Gilson, France)

9. ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Heraeus 37°, New Brunswick Scientific, USA)
10. ปากคีบ
11. ตะเกียงแอลกอฮอล์

วิธีทดลอง

1. ชั่ง NA น้ำหนัก 8.40 g เติลงในขวดอาหารเลี้ยงเชื้อ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 350 ml ผสมให้เข้ากัน นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องนิ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเทลงบนจานเพาะเชื้อรอกจนอาหารแข็ง เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป
2. นำตัวอย่างเนื้อไก่ น้ำหนัก 25 g ใส่ในสารละลาย peptone water ปริมาตร 225 ml นำไปตีบดเป็นเวลา 60 วินาที จะได้ตัวอย่างที่ระดับการเจือจาง 10^{-1}
3. ใช้ไมโครปิเปตถ่ายตัวอย่างจากข้อ 2 ปริมาตร 1 ml ลงในหลอดบรรจุสารละลาย peptone water 9 ml ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสม จะได้ตัวอย่างที่ระดับการเจือจาง 10^{-2}
4. เจือจางตัวอย่างโดยวิธีเดียวกับข้อ 3 เป็นลำดับจนได้ตัวอย่างที่ระดับการเจือจางที่ต้องการ
5. ปิเปตตัวอย่างความเจือจางที่เหมาะสม 3 ระดับ เช่น 10^{-4} , 10^{-5} และ 10^{-6} ปริมาตร 0.1 ml ลงบนผิวอาหาร NA ในจานเพาะเชื้อที่บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ NA (จากข้อ 1)
6. นำแท่งแก้วเกลี่ยเชื้อจุ่มลงในแอลกอฮอล์ นำไปเผาไฟ ทิ้งให้เย็น จากนั้นเกลี่ยตัวอย่างในจานเพาะเชื้อให้ทั่วผิวหน้าของอาหารจนผิวหน้าของอาหารแห้ง
7. บ่มจานเพาะเชื้อโดยวางจานแบบคว่ำที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง
8. นับจำนวนโคโลนีจากแต่ละจานเพาะเชื้อ หาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีใน 1 จานโดยนับเฉพาะจานที่มีจำนวน 25-250 โคโลนี
9. คำนวณค่า cfu ต่อกรัมโดยใช้สมการที่ ก.1

$$\text{cfu/g} = \text{จำนวนโคโลนีเฉลี่ย} \times 10 \times \text{dilution factor} \quad (\text{ก.1})$$

ภาคผนวก ข

กระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง high pressure processing (HPP) (Kobelco Dr. Chef, Kobe Steel, Ltd., Japan)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ต่อกับเครื่อง HPP โดยตั้งอุณหภูมิสารหล่อเย็นไว้ที่ 5-25 °C ก่อนการทดลอง เป็นเวลา 24 ชม. หรือจนกว่าจะได้อุณหภูมิตามต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความดันทุกๆ 100 MPa มีผลทำให้อุณหภูมิของสารตัวกลางเพิ่มขึ้นประมาณ 5 °C จึงต้องตั้งอุณหภูมิของสารหล่อเย็น ให้ต่ำกว่าอุณหภูมิของสารตัวกลางในการทดลองจริง 10, 15 และ 20 °C สำหรับการให้ความดันที่ 200, 300 และ 400 MPa ตามลำดับ เช่น หากต้องการทดลองที่ 25 °C, 200 MPa ต้องตั้งอุณหภูมิสารหล่อเย็นไว้ที่ 15 °C
2. เปิดเครื่อง HPP เลือกระบบอัตโนมัติ ตั้งโปรแกรมสำหรับให้ความดันตามภาวะการทดลองที่ต้องการดังนี้
 - 2.1. pressure in: 200-400 MPa
 - 2.2. come up time: 1 min
 - 2.3. pressure holding time: 1-20 min
 - 2.4. pressure out: 0 MPa
 - 2.5. come up time: 1 min
3. ใส่ตัวอย่างลงใน high pressure vessel และปรับปริมาณสารตัวกลางโดยใช้หัววัดมาตรฐานให้ได้ในปริมาณที่กำหนด และทาสารหล่อลื่นบริเวณ piston และบริเวณรอบ vessel ให้ทั่ว
4. ปิดฝาเครื่องและล็อกให้สนิท กดปุ่ม oil hydraulic pump on เพื่อดูการทำงานของปั๊ม โดยค่าปกติต้องมากกว่า 500
5. กดปุ่ม piston down เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่อง
6. เมื่อเครื่องทำงานเสร็จกดปุ่ม stop เพื่อหยุดการทำงานของเครื่อง

7. เปิดฝาเครื่องเข็ดทำความสะอาดบริเวณรอบ vessel และนำตัวอย่างออกเพื่อทำการทดลองในขั้นตอนนี้ต่อไป

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพการบริโภค

ภาคผนวก ค.1 การวัดค่าสี

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดสี (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta Sensing, INC., Japan)

วิธีทดลอง

1. เลื่อนสวิตช์ power ที่ตำแหน่ง on พร้อมกดปุ่ม all data clear
2. กดปุ่ม index set จนหน้าจอมีอักษร
3. เลือกแหล่งแสง C หรือ D₆₅ โดยกดปุ่ม แล้วกดปุ่ม Enter
4. กดปุ่ม calibrate เพื่อป้อนค่า Y, x และ y จากแผ่น calibrate ตามแหล่งแสงที่เลือกไว้
5. นำหัววัดวางบนแผ่น calibrate กดปุ่ม measure รอจนเกิดการ reflect แสงครบ 3 ครั้ง
6. เมื่อ calibrate เสร็จกดปุ่ม color space select เพื่อเลือกสีในระบบ CIELAB
7. กดปุ่ม measure เพื่อวัดสีของเนื้อไก่ โดยเนื้อไก่แต่ละชิ้นจะวัดค่าสี 6 ตำแหน่ง โดยวัดด้านบน 3 ตำแหน่ง และด้านล่าง 3 ตำแหน่ง

ภาคผนวก ค.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อไก่สด ตามวิธีของ Zhang และคณะ (1994) และ Perez และคณะ (1997)

สารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl, Merck, Germany)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius ED 224S, Sartorius, Germany)
2. เทอร์โมมิเตอร์ชนิดแอลกอฮอล์

3. เครื่องแก้ว
4. เครื่องปั่นเหวี่ยง (ICE Multi-RF, ThermoFisher, USA)
5. คีมคีบ
6. อ่างน้ำแข็ง

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างน้ำหนัก 10 g ใส่หลอดปั่นเหวี่ยง
2. เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.6 M ปริมาตร 16 ml คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วเป็นเวลา 1 นาที
3. นำตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 30 นาที
4. ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง โดยใช้ความเร็ว 8000xg เป็นเวลา 15 นาที ที่ 4 °C
5. ชั่งน้ำหนักสารละลายที่เหลือจากการปั่นเหวี่ยง
6. คำนวณหาความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity, WHC) โดยใช้สมการที่ ค.1

$$WHC = \frac{\text{น้ำหนักสารละลายก่อนปั่นเหวี่ยง} - \text{น้ำหนักสารละลายหลังปั่นเหวี่ยง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100 \quad (\text{ค.1})$$

ภาคผนวก ค.3 การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้มของเนื้อไก่สด ดัดแปลง
วิธีจาก Honikel (1998) และ Iwasaki และคณะ (2006)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius ED 224S, Sartorius, Germany)
2. เทอร์โมมิเตอร์ชนิดแอลกอฮอล์
3. เครื่องแก้ว
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Julabo SW23, Julabo Labortechnik GMBH, Germany)
5. คีมคีบ

วิธีทดลอง

1. ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างที่บรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติก (บรรจุตามวิธีในข้อ 4 ภาคผนวก ก.2) โดยจุ่มตัวอย่างลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 100 °C เป็นเวลา 4.5 นาที เพื่อให้อุณหภูมิแกนกลางของชิ้นไก่เท่ากับ 75 °C
2. นำตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อให้ตัวอย่างเย็นลงอย่างรวดเร็ว
3. นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการหุงต้ม (cooking loss, CL) โดยใช้สมการที่ ค.2

$$CL = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อน} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังให้ความร้อน} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนให้ความร้อน}} \quad (\text{ค.2})$$

ภาคผนวก ค.4 การวัดเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สด ดัดแปลงจากวิธีของ Barbanti และ Pasquini (2005) และ Honikel (1998)

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Micro Systems, England)
2. ใบมีดชนิด Warner-Bratzler blade และอุปกรณ์ประกอบ

วิธีทดลอง

1. ตั้งค่าเครื่องมือให้มีค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้
 - 1.1. maximum load cell: 25 kg
 - 1.2. return: 100 mm; sensitivity: 0.1 g
 - 1.3. probe pre-test speed: 10 mm/s
 - 1.4. test speed: 5 mm/s
 - 1.5. probe post-test speed: 10 mm/s
 - 1.6. rupture test distance: 1.0 mm
 - 1.7. cutting distance: 100%
 - 1.8. distance: 100 mm
 - 1.9. force: 0.98 N

- 1.10. time: 5.00 sec
- 1.11. count: 5
2. วางตัวอย่างบนแท่นตัด จากนั้นกดปุ่ม T.A. เลือก run a test เพื่อทำการตัดตัวอย่าง วัสดุสัมผัส 3 ตำแหน่ง สำหรับเนื้อไก่ 1 ชิ้น
 3. หาค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการตัด (max force (g)) จากกราฟโดย
 - 3.1. เลือกคำสั่ง go to
 - 3.2. เลือกคำสั่ง max force เพื่อหาค่าแรงเฉือนสูงสุด
 4. หาค่าพื้นที่ใต้กราฟ (area (Nm)) จากกราฟโดย
 - 4.1. เลือกจุดบนกราฟตำแหน่งที่ 1
 - 4.2. เลือกคำสั่ง process data
 - 4.3. เลือกคำสั่ง anchor
 - 4.4. เลือกจุดบนกราฟตำแหน่งที่ 2
 - 4.5. เลือกคำสั่ง process data
 - 4.6. เลือกคำสั่ง anchor
 - 4.7. เลือกคำสั่ง process data
 - 4.8. เลือกคำสั่ง area เพื่อหาค่าพื้นที่ใต้กราฟในบริเวณที่ต้องการ

ภาคผนวก ง

การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของเซลล์

เครื่องมือ

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (JEOL รุ่น JSM-5410LV, Tokyo, Japan)
2. เครื่อง ion sputter (Balzers รุ่น CPD 040, Vaduz, Liechtenstein)

วิธีทดลอง

1. นำเนื้อไก่สดที่ผ่านการให้ความดันที่ 0, 300 และ 400 MPa ขึ้นเป็นชิ้นเล็กขนาด $2 \times 3 \times 2 \text{ cm}^3$
2. แช่ตัวอย่างในสารละลายอะซิโตนเป็นเวลา 3 วัน
3. หั่นเนื้อไก่ขณะที่ยังแข็งอยู่ให้มีขนาดประมาณ $0.5 \times 1.0 \times 0.5 \text{ cm}^3$
4. ติดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) ด้วยกาว โดยให้รอยหั่นของเนื้อไก่อยู่ด้านล่างสำหรับการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิว และให้รอยหั่นของเนื้อไก่อยู่ด้านบนสำหรับการเปลี่ยนแปลงกล้ามเนื้อภายใน (ดูภาคตัดขวาง)
5. นำตัวอย่างที่ติดบนแท่นวางไปฉาบทองด้วยเครื่อง ion sputter (Balzers รุ่น CPD 040, Vaduz, Liechtenstein)
6. นำไปส่องดูลักษณะโครงสร้างของเซลล์ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 500 และ 3,500 เท่า ที่กระแสไฟ 15 กิโลโวลต์

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดลองเพิ่มเติม

ตารางที่ จ.1 จำนวน *Salmonella* Typhimurium DMST 28913 หลังผ่านกระบวนการแปรรูป ด้วยความดันสูงที่ 200 MPa

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/g)
25	0.0	6.45±0.34
25	2.5	6.72±0.11
25	5.0	5.70±0.04
25	10.0	5.41±0.08
25	20.0	5.74±0.08
30	0.0	6.98±0.12
30	2.5	6.87±0.30
30	5.0	7.00±0.04
30	10.0	6.43±0.12
30	15.0	6.03±0.06
30	20.0	4.62±0.08
35	0.0	7.11±0.14
35	2.5	5.50±0.25
35	5.0	5.17±0.45
35	10.0	5.09±0.05
35	15.0	4.74±0.11
35	20.0	5.02±0.09

ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ ๑.2 จำนวน *Salmonella* Typhimurium DMST 28913 หลังผ่านกระบวนการแปรรูป ด้วยความดันสูงที่ 300 MPa

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/g)
25	0.0	7.46±0.31
25	0.5	6.98±0.12
25	1.0	6.21±0.03
25	2.0	5.52±0.06
25	3.0	5.84±0.08
25	6.0	5.49±0.07
25	9.0	4.50±0.07
25	12.0	3.84±0.12
30	0.0	7.34±0.03
30	0.5	5.59±0.05
30	1.0	6.21±0.02
30	2.0	5.47±0.16
30	3.0	5.05±0.15
30	6.0	4.17±0.27
30	9.0	5.01±0.09
30	12.0	4.59±0.10
35	0.0	7.15±0.40
35	0.5	5.60±0.10
35	1.0	4.81±0.06
35	2.0	4.80±0.07
35	4.0	4.89±0.06
35	6.0	5.05±0.08
35	8.0	4.79±0.08
35	10.0	4.03±0.05

ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ ๑.3 จำนวน *Salmonella* Typhimurium DMST 28913 หลังผ่านกระบวนการแปรรูป ด้วยความดันสูงที่ 400 MPa

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/g)
25	0.0	7.20±0.12
25	0.5	4.09±0.04
25	1.0	4.04±0.08
25	1.5	3.41±0.04
25	2.0	3.28±0.14
25	4.0	2.84±0.09
25	6.0	2.94±0.06
25	8.0	2.58±0.06
30	0.0	7.32±0.06
30	0.5	4.07±0.05
30	1.0	3.40±0.06
30	1.5	3.30±0.06
30	2.0	3.12±0.04
30	3.0	3.30±0.04
30	4.5	3.16±0.04
30	6.0	3.47±0.08
30	7.5	3.14±0.04

ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ ๑.3 จำนวน *Salmonella* Typhimurium DMST 28913 หลังผ่านกระบวนการแปรรูป ด้วยความดันสูงที่ 400 MPa (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	จำนวนจุลินทรีย์ (log cfu/g)
35	0.0	7.28±0.02
35	0.5	3.29±0.04
35	1.0	3.09±0.07
35	1.5	3.06±0.04
35	2.0	3.03±0.10
35	2.5	3.04±0.06
35	3.0	3.01±0.04
35	4.5	2.51±0.07
35	7.5	3.15±0.02

ผลการทดลองแสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง-เขียว (a*) และค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

แหล่งความแปรปรวน	df	MS		
		L*	a*	b*
ภาวะการแปรรูป	2	510.934*	6.148*	34.021*
Error	6	0.373	0.294	1.178

หมายเหตุ: * หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง-เขียว (a*) และค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของผิวเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงก่อนปรุงสุก

แหล่งความแปรปรวน	df	MS		
		L*	a*	b*
ภาวะการแปรรูป	2	4.401	0.452	0.264
Error	6	2.177	0.136	0.392

ตารางที่ จ.3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสามารถในการชุ่มน้ำและการสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้มของเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

แหล่งความแปรปรวน	df	MS	
		ความสามารถในการชุ่มน้ำ	การสูญเสีย น้ำหนักจากการหุงต้ม
ภาวะการแปรรูป	2	27.712*	68.732*
Error	6	0.062	4.312

หมายเหตุ: * หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง

แหล่งความแปรปรวน	df	MS	
		แรงสูงสุด ที่ใช้ในการเข็นขึ้นเนื้อ	พื้นที่ได้กราฟ
ภาวะการแปรรูป	2	10.834	0.006
Error	33	30.000	0.009

หมายเหตุ: * หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๑.5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อไก่สุกที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูงก่อนปรุงสุก

แหล่งความแปรปรวน	df	MS	
		แรงสูงสุด ที่ใช้ในการเข็นขึ้นเนื้อ	พื้นที่ได้กราฟ
ภาวะการแปรรูป	2	194.385*	0.109*
Error	33	39.693	0.009

หมายเหตุ: * หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธัชชนนท์ ชิตสกุล เกิดวันที่ 3 มกราคม พ.ศ.2529 ที่จังหวัดสิงห์บุรี สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร จากภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปีการศึกษา 2550 และศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551

รายการสิ่งตีพิมพ์และเผยแพร่

ธัชชนนท์ ชิตสกุล, ชนิษฐา ธนานุวงศ์ และ จิราวัฒน์ ทัดติยกุล. 2554. จุลนศาสตร์ของการทำลาย *Salmonella* Typhimurium บนผิวเนื้อไก่สดโดยกระบวนการแปรรูปด้วยความดันสูง. ใน การประชุมทางวิชาการระดับชาติ “มหาวิทยาลัยบูรพา 2554” (ภาคบรรยาย). วันที่ 6-7 กรกฎาคม 2554 ณ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี