

อิทธิพลของอายุต่อการเกิดแถบลายสีขาว (White striping) และเนื้อแข็ง (Wooden breast) คุณภาพเนื้อ และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อในไก่กระทง

**INFLUENCE OF AGE ON THE OCCURRENCE OF WHITE STRIPING AND WOODEN BREAST, MEAT QUALITY AND MYOGENIC GENE EXPRESSION OF BROILER CHICKENS**



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2565

KMITL-2022-AG-M-031-360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**INFLUENCE OF AGE ON THE OCCURRENCE OF WHITE STRIPING  
AND WOODEN BREAST, MEAT QUALITY AND MYOGENIC GENE  
EXPRESSION OF BROILER CHICKENS**

**SUKANYA JUMANEE**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURAL SCIENCE  
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2022**

**KMITL-2022-AG-M-031-360**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2022**

**FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของอายุต่อการเกิดแถบลายสีขาว (White striping) และเนื้อแข็ง (Wooden breast) คุณภาพเนื้อ และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อในไก่กระทง

นักศึกษา

ศุภัสยา จูมณี

รหัสประจำตัว

62604028

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

สัตวศาสตร์

พ.ศ.

2564

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.รณชัย สิทธีไกรพงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์

## บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอายุต่อการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็งในไก่กระทงที่อายุ 43 และ 51 วัน อิทธิพลของอายุไก่กระทงที่แตกต่างกัน 2 อายุ และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็งต่อคุณภาพเนื้อของไก่กระทง ค่าเนื้อสัมผัส องค์ประกอบทางเคมี และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ (Myogenic gene expression) โดยใช้ไก่กระทงเพศผู้สายพันธุ์ Ross 308 ทั้งหมด 181 ตัว ทำการฆ่าที่อายุ 43 วัน จำนวน 56 ตัว และที่เหลือ 125 ตัว ทำการฆ่าที่อายุ 51 วัน ผลการศึกษาพบว่า 1) ระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวมี 3 ระดับคือ ระดับ 0 (WS0) คือเนื้ออกไก่ที่ปกติ ระดับ 1 (WS1) คือเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวที่มีความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร และระดับ 2 (WS2) คือเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวที่มีความหนา 1 ถึง 2 เซนติเมตร ระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งมี 4 ระดับคือ ระดับ 0 (WB0) คือเนื้ออกปกติ ระดับ 1 (WB1) คือเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งที่บริเวณส่วนหัว ระดับ 2 (WB2) คือเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งบริเวณส่วนหัวและส่วนท้าย และระดับ 3 (WB3) คือเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งทั่วทั้งอก 2) ไก่ที่เลี้ยงนาน 43 และ 51 วันมีจำนวนไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งที่ความรุนแรงระดับต่าง ๆ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อายุไก่ที่ต่างกันมีคุณภาพเนื้อทางกายภาพ ค่าเนื้อสัมผัส องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ คือ Myogenic differentiation (MyoD1) Myogenin Myostatin Decorin และ Transforming growth factor  $\beta$  (TGF-  $\beta$ ) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( $p > 0.05$ ) ยกเว้นค่ากรด-ด่าง (pH) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ค่าความเหนียว (gumminess) และค่าแรงการเคี้ยว (chewiness) ในเนื้ออกไก่ดิบ และค่าการยึดเกาะ (cohesiveness) ในเนื้ออกไก่สุก โดยเนื้ออกไก่ที่อายุ 51 วันมีค่า pH ต่ำกว่าเนื้ออกไก่ที่อายุ 43 วัน แต่มีค่า  $a^*$  ค่าความเหนียวและค่าแรงการเคี้ยวในเนื้ออกไก่ดิบ และค่าการยึดเกาะในเนื้ออกไก่สุกมากกว่าในเนื้ออกไก่ที่อายุ 43 วัน 3) การเกิดเนื้อแข็งในระดับความรุนแรงที่ต่างกันมีคุณภาพเนื้อ และองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่า  $pH_{24}$  ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ค่าความอึดตัวของสี ( $c^*$ ) การสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษา (drip loss) และการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (cooking loss) สูงขึ้นเมื่อระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งเพิ่มขึ้น ( $p < 0.01$ ) และที่ WB3 มีปริมาณไขมัน ไชมัน คอลลาเจนที่ไม่ละลาย และคอลลาเจนทั้งหมดสูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณเถ้ามีปริมาณต่ำที่สุดในเนื้อที่เกิด WB3 ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้และความสามารถในการละลายได้ของคอลลาเจนในเนื้อที่เกิด WB2 และ WB3 มีปริมาณน้อยกว่าเนื้อที่เกิด WB0 และ WB1 ในขณะที่การเกิดเนื้อแข็งในระดับความรุนแรงที่ต่างกันมีค่าเนื้อสัมผัส และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวที่ต่างกันมีผลต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพ ค่าเนื้อสัมผัส องค์ประกอบทางเคมี และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นปริมาณ โปรตีนและไขมันในเนื้อ โดยปริมาณ โปรตีนในเนื้อลดลง แต่ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวเพิ่มขึ้น ( $p < 0.001$ )

<b>Thesis Title</b>	Influence of Age on The Occurrence of White Striping and Wooden Breast, Meat Quality and Myogenic Gene Expression of Broiler Chickens
<b>Student</b>	Ms. Sukanya Jumanee
<b>Student ID.</b>	62604028
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Animal Science
<b>Year</b>	2021
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Ronachai Sitthigripong
<b>Thesis Co-Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Chanporn Chaosap

## ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effect of age on the occurrence of white striping and wooden breast in broilers at 43 and 51 days of age, the effects of two different age groups of broilers and the effects of white striping and wooden breast on physicochemical properties, texture profile, chemical composition, and myogenic gene expression in broilers. A total of 181 Ross 308 male broilers were studied, of which 56 chickens were slaughtered at 43 days of age and the rest at 51 days of age. The results showed that 1) the severity of white striping was classified into 3 scores: score 0 (WS0) was normal breast meat, score 1 (WS1) was the breast that had small white lines less than 1 mm thick, and score 2 (WS2) was the breast that had large white lines 1-2 mm thick that were clearly visible on the fillet surface. The severity of wooden breast was divided into 4 scores: score 0 (WB0) was the normal breast with no hardened areas on the surface, score 1 (WB1) was the breast meat with diffuse hardened areas and ridge-like bulges at the cranial end, score 2 (WB2) was the breast meat with diffuse hardened areas and ridge-like bulges at the cranial and caudal ends, and score 3 (WB3) was the breast meat with diffuse hardened areas and ridge-like bulges at the cranial and caudal ends. 2) The frequency of breast with different white striping and wooden breast scores in chickens raised for 43 and 51 days were not significant ( $p > 0.05$ ). Age differences in physicochemical condition, texture profile, chemical composition, and expression of myogenic genes which were myogenic differentiation (MyoD1), myogenin, myostatin, decorin, and transforming growth factor  $\beta$  (TGF- $\beta$ ) were not statistically significantly different ( $p > 0.05$ ). With the exception of pH, redness ( $a^*$ ), gumminess, and chewiness were

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ III อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

significantly different in raw chicken breast meat and cohesiveness in cooked chicken breast meat ( $p < 0.05$ ). Chicken breast meat at 51 days of age had lower pH values than chicken breast meat at 43 days of age, but had higher  $a^*$  values, gumminess and chewiness in raw breast meat and cohesiveness in cooked breast meat than chicken breast meat at 43 days of age. 3) The result of the study showed that the occurrence of wooden breast at different severity scores the meat quality and chemical composition were significantly different ( $p < 0.05$ ). The  $pH_{24}$ , lightness ( $L^*$ ), yellowness ( $b^*$ ), chroma ( $c^*$ ), drip loss, and cooking loss increased with different severity of wooden breast ( $p < 0.01$ ). WB3 resulted in moisture content, fat content, insoluble collagen content, and total collagen content being the highest, while ash content was the lowest at WB3. The amount of soluble collagen and the percentage of soluble collagen were lower in WS2 and WB3 than in WB0 and WB1. In addition, the effect of white striping severity on physicochemical properties, texture profile, chemical composition, and myogenic gene expression was not significantly different ( $p > 0.05$ ). With the exception of protein and fat content, there was a statistically significant difference ( $p < 0.001$ ). As the expression of the white striping increased, the protein content of the meat decreased, while the fat content increased.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.รณชัย สิทธิไกรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำ ประสพการณ์ที่มีประโยชน์ ตรวจสอบแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พรณิภา ศิวะพิรุณเทพ ที่กรุณาสละเวลาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำชี้แนะต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ รวมถึงให้ความกรุณาในการให้ความรู้และช่วยตรวจสอบแก้ไขผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการ

ขอขอบพระคุณฟาร์มเลี้ยงสัตว์และวิจัย หลักสูตรสัตวศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง บริษัท ศูนย์วิจัยสัตว์กรุงเทพ จำกัด และภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณนายตรีศ เคนแสง เจ้าหน้าที่เทคนิคประจำภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี และเพื่อน พี่น้องในห้องปฏิบัติการ 144 ทั้งปริญญาตรี ปริญญาโท สาขาวิชาสัตวศาสตร์ และสาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิจัยตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาและสมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุนช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศุภัชญา จูมณี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ .....	VI
สารบัญตาราง .....	VIII
สารบัญภาพ .....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	3
1.4 สมมุติฐานของปัญหา .....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ใ้ก่กระดูก.....	4
2.2 คุณภาพซาก .....	6
2.3 คุณภาพเนื้อ .....	8
2.4 ความผิดปกติของกล้ามเนื้อ (Myopathy) ในใ้ก่กระดูก .....	15
2.5 อิทธิพลของอายุต่อคุณภาพเนื้อ .....	21
2.6 อิทธิพลของการเกิดแถบลายสีขาวต่อคุณภาพเนื้อ .....	24
2.7 อิทธิพลของการเกิดเนื้อแข็งต่อคุณภาพเนื้อ .....	26
2.8 ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ (Myogenic gene) .....	30
2.9 ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ ต่อการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาว .....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 สัตว์ทดลอง.....	35
3.2 อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง .....	35
3.3 อุปกรณ์และสารเคมี .....	35
3.4 วิธีการทดลอง .....	40
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์ผลการวิจัย .....	52
4.1 น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากและองค์ประกอบของซาก.....	52
4.2 จำนวนไก่อายุ 43 และ 51 วันที่มีการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวยในแต่ละระดับความรุนแรงในเนื้ออก.....	53
4.3 อิทธิพลของอายุต่อลักษณะคุณภาพเนื้อทางกายภาพของเนื้ออกไก่.....	55
4.4 อิทธิพลของอายุต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในเนื้อดิบและเนื้อสุก.....	55
4.5 อิทธิพลของอายุต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่ที่อายุต่างกัน .....	57
4.6 อิทธิพลของอายุต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ.....	59
4.7 อิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อลักษณะคุณภาพเนื้อทางกายภาพ .....	60
4.8 อิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในเนื้อดิบและเนื้อสุก .....	63
4.9 อิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ .....	65
4.10 อิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ.....	68
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	71
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	71
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
บรรณานุกรม .....	73
ภาคผนวก .....	83
ประวัติผู้เขียน .....	90

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพซากของไก่ลูกผสมเพศผู้พันธุ์ต่าง ๆ .....	6
2.2 คุณลักษณะของไก่ทั้งตัวแบ่งตามชั้นคุณภาพ .....	7
2.3 คุณลักษณะที่ต้องการของไก่ตัดเป็นสัดส่วน .....	8
2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่า L* ของเนื้อไก่ที่มีลักษณะ PSE และ DFD.....	10
2.5 ชนิดของคอแลนเจน.....	14
2.6 ผลของอายุต่อคุณภาพของเนื้อไก่.....	21
2.7 อิทธิพลของอายุต่อค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อสุก.....	22
2.8 อิทธิพลของอายุต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่กระทุง.....	23
2.9 การเกิดแถบลายสีขาวต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพ.....	24
2.10 องค์ประกอบทางกายภาพของเนื้อในแต่ระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาว ...	25
2.11 องค์ประกอบทางเคมีในเนื้ออกไก่ที่มีระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวต่างกัน .	27
2.12 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพเนื้อทางกายภาพในอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็ง .....	27
2.13 อิทธิพลของการเกิดเนื้อแข็งต่อลักษณะเนื้อสัมผัส .....	28
2.14 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็ง.....	29
2.15 ปริมาณการแสดงออกของยีนของไก่สามสายพันธุ์ที่ได้รับผลกระทบ หรือไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดเนื้อแข็ง .....	33
2.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สำหรับลักษณะทางจุลพยาธิวิทยา และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ.....	33
2.16 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สำหรับลักษณะทางจุลพยาธิวิทยา และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ.....	33
3.1 สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.2 Primer ที่ใช้ในการศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ.....	50
4.1 น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากและองค์ประกอบของซากของไก่กระทุงอายุ 43 และ 51 วัน .....	53
4.2 จำนวนและร้อยละของเนื้ออกไก่อายุ 43 และ 51 วันที่เกิดเนื้อแข็ง (WB) และแถบลายสีขาว (WS) ในแต่ระดับความรุนแรง.....	54

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.3 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ของลักษณะคุณภาพทางเนื้อกายภาพของเนื้ออกไก่อายุ 43 และ 51 วัน.....	56
4.4 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ของลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้ออกไก่ที่อายุ 43 และ 51 วัน.....	57
4.5 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ขององค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่อายุ 43 และ 51 วัน.....	58
4.6 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ของปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อในเนื้ออกไก่อายุ 43 และ 51 วัน.....	60
4.7 ค่าเฉลี่ย (EMS±SE) และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อลักษณะคุณภาพเนื้อทางกายภาพ.....	62
4.8 ค่าเฉลี่ย (EMS±SE) และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในเนื้อดิบและเนื้อสุก.....	64
4.9 ค่าเฉลี่ย (EMS±SE) และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ.....	67
4.10 ค่าเฉลี่ย (EMS±SE) และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ.....	70

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ของลิพิดของเนื้อ	10
2.2 แสดง Texture Profile Analysis Curve.....	12
2.3 โครงสร้างของคอลลาเจน .....	14
2.4 แผนผังแสดงกลไกที่ทำให้เกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาว .....	17
2.5 ปริมาณของไก่ที่เกิดการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber degeneration; WS and WB) ในแต่ละปัจจัย.....	19
2.6 ปริมาณของไก่ที่เกิดการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber degeneration; WS and WB) ที่มีปัจจัยของอายุและการกินอาหารต่างกัน .....	19
2.7 ปริมาณการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในแต่ละระดับความรุนแรงของเนื้ออกไก่ที่อายุ 6 และ 7 สัปดาห์ .....	20
2.8 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของอกไก่ที่อายุต่าง 28 30 32 และ 34 วัน .....	22
2.9 ปริมาณคอลลาเจนในอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งที่ระดับความรุนแรงต่างกัน ในไก่อายุ 25 และ 43 วัน .....	29
3.1 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวเนื้ออกไก่เพื่อนำไปวิเคราะห์ .....	41
3.2 ระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาว: .....	42
3.3 ระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็ง:.....	42

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไก่กระทงเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่สร้างรายได้กับเกษตรกรทั่วโลก เนื่องจากมีความต้องการในการบริโภคเนื้อไก่เพิ่มสูงขึ้น ดังรายงานของ FAO (2019) ที่ระบุว่าปริมาณการผลิตเนื้อไก่ในปี พ.ศ. 2513 เท่ากับ 15 ล้านตัน ในขณะที่ปี พ.ศ. 2565 ข้อมูลถึงเดือนพฤษภาคมปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 138.8 ล้านตัน (FAO, 2022) ดังนั้นอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่กระทงจึงมุ่งเน้นไปที่การเลือกพันธุ์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว และให้ผลผลิตสูงเพื่อลดต้นทุนและเวลาในการผลิตเนื้อไก่เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้มีการคัดเลือกพันธุ์ไก่กระทงอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ไก่ที่มีน้ำหนักตัวมากขึ้นในขณะที่อายุการเลี้ยงสั้นลง ในอดีตปี พ.ศ. 2478 ไก่กระทงอายุ 98 วันมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.3 กิโลกรัม ในขณะที่ปี พ.ศ. 2564 ไก่กระทงที่อายุ 47 วัน มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.9 กิโลกรัม (National Chicken Council, 2022) แต่ในธุรกิจร้านอาหารบางประเภท เช่น ร้านอาหารไก่ต้องการไก่ที่ขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 2.5 กิโลกรัมขึ้นไป (คราวญ บัวศิริและคณะ, 2561) เพื่อให้ได้น้ำหนักตัวที่เพิ่มมากขึ้นดังนั้นผู้เลี้ยงจึงเลี้ยงไก่กระทงให้นานขึ้นโดยเลี้ยงเป็นเวลาประมาณ 50 วัน จากปกติที่เลี้ยง 30 ถึง 35 วันแล้วจับขายเพื่อให้ได้ไก่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามความต้องการของตลาด

ข้อด้อยของไก่กระทงที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูงนั้นมักพบปัญหาความผิดปกติของเนื้อไก่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้ออก (breast myopathy) โดยปัญหาที่พบมากคือปัญหาการเกิดแถบลายสีขาว (white striping) และเนื้อแข็ง (wooden breast) ซึ่งมีรายงานปริมาณการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในปัจจุบันสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ (Kuttappan *et al.* 2016) และ Kuttappan *et al.* (2016) รายงานระดับความรุนแรงของแถบลายสีขาวเป็น 4 ระดับ คือ (1) normal (WS0) ไม่เกิดแถบสีขาว (2) moderate (WS1) เกิดแถบสีขาวหนาน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร (3) severe (WS2) เกิดแถบสีขาวหนา 1 ถึง 2 มิลลิเมตร และ (4) extreme (WS3) เกิดแถบสีขาวหนามากกว่า 2 มิลลิเมตร และ Tijare *et al.* (2016) ได้รายงานระดับความรุนแรงในการเกิดเนื้อแข็งเป็น 4 ระดับ คือ (1) normal (WB0) ไม่เกิดลักษณะแข็ง (2) mild (WB1) เกิดความแข็งที่บริเวณส่วนหัว (dorsal) (3) moderate (WB2) เกิดความแข็งทั่วทั้งบริเวณส่วนหัวแต่มีความยืดหยุ่นบริเวณส่วนกลางและส่วนท้าย (caudal) (4) severe (WB3) เกิดความแข็งอย่างมากตั้งแต่บริเวณส่วนหัวตลอดจนถึงส่วนท้าย โดยในแต่ละระดับมีปริมาณการเกิดแถบลายสีขาวดังนี้ WS1 55.7 เปอร์เซ็นต์ WS2 39 เปอร์เซ็นต์ และ WS3 3.3 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ปริมาณการเกิดเนื้อแข็งพบเพียง 6.6 เปอร์เซ็นต์

(Malila *et al.* 2018) การเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานของ Cruz *et al.* (2017) ที่พบว่าเนื้อไก่ที่มีแถบลายสีขาวทำให้ผู้บริโภคไม่เลือกซื้อทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจของเนื้อไก่ และจากการศึกษาของ Kuttappan *et al.* (2012a) พบว่าผู้บริโภคจำนวนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จะไม่เลือกซื้อเนื้อไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวในระดับ WS2 หรือ WS3 อย่างแน่นอน นอกจากนี้ยังพบว่าปัญหาความผิดปกติของเนื้อไก่นี้ส่งผลต่อคุณภาพเนื้อด้วย โดยมีรายงานว่าแถบลายสีขาวทำให้ระดับไขมันในเนื้อสูงขึ้นและระดับโปรตีนต่ำลง (Petracci and Cavani, 2012; Petracci *et al.* 2013; Cruz *et al.* 2017) อีกทั้งยังส่งผลให้ระดับคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้นจากเนื้ออกปกติ นอกจากนี้ทั้งการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็งยังส่งผลต่อสีของเนื้อโดยค่าความสว่าง (L\*) สีแดง (a\*) และสีเหลือง (b\*) จะมีค่าเพิ่มขึ้น (Petracci *et al.* 2013; Compo *et al.* 2020) เนื้อสัมผัส (texture profile) เช่น ค่าความแข็ง (hardness) ค่าความเหนียว (gumminess) และค่าแรงการเคี้ยว (chewiness) เพิ่มขึ้น (Compo *et al.* 2020) และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ เช่น การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (cooking loss) เพิ่มขึ้นกว่าเนื้ออกปกติ (Mudalal *et al.* 2014; Mazzoni *et al.* 2015; Trocino *et al.* 2015; Aguirre *et al.* 2018)

นักวิจัยหลายท่านได้รายงานถึงปัจจัยที่ทำให้ไก่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วซึ่งส่งผลต่อการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็ง เช่น ระบบการให้อาหาร (Kuttappan *et al.* 2012b; Trocino *et al.* 2015) เพศ (Trocino *et al.* 2015) น้ำหนัก และสายพันธุ์ (Radaelli *et al.* 2017) แต่สำหรับข้อมูลในด้านอายุของไก่กระทงต่อการเกิดความผิดปกติของเนื้อและคุณภาพของเนื้อไก่กระทงนั้นมีข้อมูลอยู่จำกัด ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอายุต่อการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็งในไก่กระทงที่อายุ 43 และ 51 วัน และศึกษาถึงอิทธิพลของอายุไก่กระทงที่แตกต่างกัน 2 อายุ และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาว และระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งต่อคุณภาพเนื้อ องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอายุไก่กระทงที่ 43 และ 51 วันต่อการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็งที่ระดับความรุนแรงต่างกัน 4 ระดับ

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอายุต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัส องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวและระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพ ลักษณะเนื้อสัมผัส องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาถึงอิทธิพลของอายุไก่กระทงที่แตกต่างกัน 2 อายุ และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาว และระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งต่อคุณภาพเนื้อ ค่าเนื้อสัมผัส ในเนื้ออกไก่ดิบและเนื้ออกไก่สุก องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ ปริมาณคอลลาเจนในเนื้อ และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

### 1.4 สมมุติฐานของปัญหา

อายุและการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งมีผลต่อคุณภาพเนื้อ โดยอายุและระดับความรุนแรงต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพเนื้อทั้งทางกายภาพและทางเคมี และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ทำการเลี้ยงไก่กระทงเพศผู้พันธุ์ Ross 308 ในฟาร์มที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนแบบระบบปิด (evaporative cooling system) เพื่อศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อทางกายภาพที่บริษัท ศูนย์วิจัยสัตว์กรุงเทพฯ จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ

1.5.2 ศึกษาค่าเนื้อสัมผัส คุณภาพเนื้อทางเคมี ปริมาณของคอลลาเจน ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ทางกายภาพ ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.5.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน 12 เดือน

## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ไก่กระทง

ไก่กระทง (broiler) หมายถึง ไก่ที่เลี้ยงเอาไว้เพื่อบริโภคเนื้อเป็นหลักและมีอายุการเลี้ยงสั้น ปัจจุบันไก่กระทงได้ถูกปรับปรุงพันธุ์ให้มีการเจริญเติบโตเร็ว ให้เนื้อมาก อายุการเลี้ยงสั้นลง คือสามารถนำมาบริโภคได้ตั้งแต่อายุ 28-60 วัน โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 2.8 กิโลกรัม (ประชากร ชาราฉาย, 2560)

การเลี้ยงไก่กระทงเป็นอุตสาหกรรมผลิตเนื้อสัตว์ที่สำคัญยิ่งและมีระบบการจัดการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ในปีพ.ศ. 2562 มีรายงานการผลิตไก่เนื้อภายในประเทศมากถึง 1,713 ล้านตัว และในปีพ.ศ. 2563 มีการประมาณการถึงการผลิตไก่เนื้อมากถึง 1,719 ล้านตัว (กลุ่มวิจัยเศรษฐกิจการปศุสัตว์, 2563) ระบบการผลิตไก่กระทงนั้นแบ่งออกเป็น 2 ฝ่ายด้วยกัน คือ ฝ่ายเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ไก่เพื่อผลิตลูกไก่ โดยจะรวมโรงฟักไข่เข้าไปด้วย และฝ่ายเลี้ยงลูกไก่เพื่อผลิตไก่กระทงส่งตลาด การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ไก่เพื่อผลิตลูกไคนับเป็นงานที่ต้องใช้ทุนและใช้วิชาการที่ค่อนข้างสูงโดยใช้พ่อแม่พันธุ์ไก่ที่ดีที่เหมาะสมต้องทดสอบพันธุ์ไก่ที่จะใช้ผสมพันธุ์ว่ามีคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิตเนื้อสูงเพียงใดและจะต้องจัดการผสมพันธุ์ไก่เพื่อผลิตไข่มาฟัก ซึ่งอาจดำเนินการด้านโรงฟักและจัดจำหน่ายลูกไก่ด้วย ส่วนการเลี้ยงไก่กระทงเพื่อส่งตลาดนั้นมีเทคนิคและวิธีการเลี้ยงที่ไม่ยุ่งยากนักจึงเหมาะสำหรับผู้สนใจที่คิดจะเลี้ยงที่ยังไม่ค่อยมีความชำนาญมากนัก การเลี้ยงไก่กระทงมีความได้เปรียบกว่าการเลี้ยงสัตว์อื่น ๆ ตรงที่มีความเสี่ยงน้อยเพราะปัจจุบันมีพันธุ์ไก่ที่ผ่านการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์มาแล้วว่ามีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว กินอาหารน้อยและมีความต้านทานต่อโรคต่าง ๆ ได้ดี

ปัจจุบันพันธุ์ไก่กระทงได้พัฒนาไปมากแล้ว ไม่เหมือนในอดีตที่นำไก่พื้นเมืองมาเลี้ยงเป็นไก่เนื้อ พันธุ์ไก่เนื้อที่เลี้ยงในเมืองไทยแบ่งออกเป็น 2 พันธุ์ด้วยกัน คือ ไก่เนื้อพันธุ์แท้ และไก่เนื้อพันธุ์ลูกผสม

#### 2.1.1 ไก่เนื้อพันธุ์แท้

ไก่เนื้อพันธุ์แท้เป็นไก่ที่ได้รับการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์มาอย่างต่อเนื่องจนมีลักษณะประจำพันธุ์ที่คงที่ ส่วนใหญ่นิยมเลี้ยงไว้เพื่อผสมพันธุ์ผลิตไก่ลูกผสมที่มีคุณภาพดี ไก่เนื้อพันธุ์แท้มีดังนี้

2.1.1.1 พันธุ์พลีมัทร็อคขาว (White Plymouth Rock) ลักษณะขนมีสีขาวทั้งตัว หงอนจักร ผิวหนังมีสีเหลือง นิยมเลี้ยงเป็นไก่เนื้อ เพราะมีขนสีขาว เมื่อฆ่าแล้วจะได้ไก่ที่ผิวสะอาดกว่าไก่เนื้อที่มีขนสีอื่น ๆ สายพันธุ์ดั้งเดิมเป็นพวกขนงอกช้า แต่ในปัจจุบันได้รับการผสมคัดเลือกให้ขนงอกเร็ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่ เจริญเติบโตเร็ว นิยมใช้ไก่พันธุ์พลิมัทหรือคขาวเป็นต้นพันธุ์ในการผสมข้าม เพื่อผลิตไก่เนื้อสายแม่ (กองบำรุงพันธุ์สัตว์. 2546)

2.1.1.2 พันธุ์คอร์นิช (Cornish) เป็นไก่ที่มีหงอนถั่ว ขาสั้น ลำตัวกว้าง ออกกว้าง กล้ามเนื้อเต็ม ผิวหนังมีสีเหลือง ปัจจุบันใช้ไก่พันธุ์คอร์นิชเป็นไก่ต้นพันธุ์สำหรับผสมเพื่อผลิตไก่เนื้อเป็นการค้า (กองบำรุงพันธุ์สัตว์. 2546)

2.1.1.3 พันธุ์นิวแฮมเชียร์ (Newhampshire) ลักษณะขนมีสีน้ำตาลอ่อน หงอนจักร ผิวหนังสีเหลือง ในตอนแรกมีชื่อเสียงในเรื่องไข่ แต่ต่อมาได้รับการยอมรับว่าเป็นไก่เนื้อคุณภาพดีจึงนิยมใช้เป็นไก่ต้นพันธุ์ในการผลิตไก่เนื้อ โดยใช้ไก่นิวแฮมเชียร์เพศเมียผสมกับไก่เพศผู้ของไก่พันธุ์เนื้ออื่น เพื่อผลิตลูกผสมไก่เนื้อ ชื่อเสียของไก่พันธุ์นี้คือ ผิวหนังมีตุ่มขนสีเข้ม ทำให้ซากที่ถอนขนแล้วดูไม่สะอาดหรือไม่สวย (กองบำรุงพันธุ์สัตว์. 2546)

## 2.1.2 ไก่พันธุ์ลูกผสม (Hybrid breed)

ไก่พันธุ์ลูกผสมเป็นไก่ที่เกิดจากการผสมระหว่างไก่พันธุ์แท้ตั้งแต่ 2 สายพันธุ์ขึ้นไป เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตไก่สายพันธุ์ใหม่ โดยการรวบรวมเอาลักษณะต่าง ๆ ที่สำคัญของไก่พันธุ์แท้หลาย ๆ พันธุ์เข้าด้วยกัน เช่น มีอัตราการเจริญเติบโตดีให้เนื้อมาก และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดี เป็นต้น ปัจจุบันไก่เนื้อที่เลี้ยงเพื่อการค้าในประเทศไทยเป็นไก่เนื้อลูกผสมทั้งหมด โดยมีการส่งพันธุ์ไก่จากต่างประเทศตั้งแต่ระดับปู่-ย่า (Grand Parents Stock; GP) หรือระดับพ่อแม่พันธุ์ (Parents Stock; PS) ไก่เนื้อลูกผสมที่มีขายมีชื่อทางการค้ามากมายขึ้นกับบริษัทผู้ผลิตไก่แต่ละพันธุ์ เช่น พันธุ์อาร์เบอร์เอเคอร์ (Arbor Acres) พันธุ์รอส (Ross) พันธุ์คอบบ์ (Cobb) และพันธุ์ฮับบาร์ด (Hubbard) เป็นต้น ซึ่งแต่ละพันธุ์จะมีประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพซากที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ไก่พันธุ์ลูกผสมสายพันธุ์รอส 308 เป็นสายพันธุ์ที่ถูกพัฒนาให้โตไว มีความแข็งแรง ทนต่อสภาพอากาศ และให้มีอัตราสูญเสียเนื้อ นอจากนี้แม่พันธุ์ของสายพันธุ์รอส 308 ให้ผลผลิตไข่จำนวนมากและมีความสามารถในการฟักที่ดีทำให้ไก่สายพันธุ์รอส 308 เป็นที่ยอมรับจากทั่วโลกว่าเป็นไก่สายพันธุ์ที่ให้ประสิทธิภาพการผลิตที่สม่ำเสมอ (An Aviagen Brand. 2022) จึงทำให้ไก่สายพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่นิยมเลี้ยงอย่างมากทั้งในประเทศไทย

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพซากของไก่ลูกผสมเพศผู้พันธุ์ต่าง ๆ

ลักษณะ	Hubbard	Cobb	Ross 308	Arbor Acres	อ้างอิง
ADG (g/day)	41.49	43.16	43.13	41.55	Varmaghany <i>et al.</i> (2020)
FI (g/day)	77.10	82.20	85.37	84.15	
FCR	1.86	1.91	1.98	2.03	
น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)	2678.50	2624.80	2617.80	2477.00	
น้ำหนักซาก (กรัม)	2062.50	1991.40	1974.60	1872.80	สายใจ กอง
อก (กรัม)	606.25	581.05	499.35	636.00	เพชร และ
ปีก (กรัม)	197.04	192.05	185.70	209.15	ดำเนิน เสาะสืบ
สะโพก (กรัม)	322.60	302.90	314.55	364.25	งาม. (2563)
น่อง (กรัม)	264.05	249.25	253.30	267.75	

ADG = น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (กรัม/วัน)

FI = น้ำหนักอาหารที่กินต่อวัน (กรัม/วัน)

FCR = ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว

## 2.2 คุณภาพซาก (carcass quality)

ซาก หมายถึง ซากสัตว์ที่เหลือแต่ส่วนของร่างกาย ซึ่งได้ผ่านกระบวนการฆ่า และนำเลือด อวัยวะภายในออกแล้ว โดยซากที่เหลือจะมีองค์ประกอบหลักส่วนใหญ่เป็น เนื้อแดง ไขมัน และ กระดูก

เนื้อไก่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) ไก่ทั้งตัว (whole chicken) หมายถึง ซากไก่ที่สมบูรณ์ ประกอบไปด้วยหัว ลำตัว ขาและ ปีกทั้ง 2 ข้าง ซึ่งแบ่งชั้นคุณภาพของซากเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ คุณภาพชั้นพิเศษ คุณภาพชั้นหนึ่ง คุณภาพชั้นสอง (ตารางที่ 2.2)

2) ไก่ตัดเป็นส่วน (cutting part) หมายถึง ซากไก่ที่ตัดแบ่งออกเป็นชิ้น ซึ่งจะแยกกระดูก หรือหนังออกหรือไม่ก็ได้ตามวิธีการตัดแต่ง ซึ่งแบ่งชั้นคุณภาพของซากเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ คุณภาพชั้นหนึ่ง คุณภาพชั้นสอง (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของไก่ทั้งตัวแบ่งตามชั้นคุณภาพ

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		
	คุณภาพชั้นพิเศษ	คุณภาพชั้นหนึ่ง	คุณภาพชั้นสอง
รูปร่างทั้งตัว	สมบูรณ์ มือเต็ม	สมบูรณ์ มือไม่เต็ม	ไม่สมบูรณ์
กระดูกอก	โค้งไปตามแนวอก	คดเล็กน้อย	คดมาก
หลัง	ไม่คดหรือโค้งงอ	คดหรือโค้งเล็กน้อย	คดหรือโค้ง
ขา	ไม่มีรอยชำ หรือเลือด คั่งบริเวณผิวหนัง	มีรอยชำ หรือเลือดคั่ง บริเวณผิวหนัง	มีรอยชำ หรือเลือดคั่ง บริเวณผิวหนังหลาย แห่ง
ปีก	มีครบทุกส่วน รูปทรง ปกติ	มีครบทุกส่วน อาจผิด รูปเล็กน้อย	ครบทุกส่วน แต่ผิด รูปร่าง
เนื้อทั้งตัว	มือเนื้อหนา แน่น และหุ้มกระดูกอกได้ ไม่เห็นสันกระดูก	มีความหนา พอสมควร หุ้มกระดูก อกได้เต็ม	เนื้อแน่นน้อยกว่าชั้น คุณภาพพิเศษ
ขนอ่อนและขนละเอียด	ไม่มี	มีเล็กน้อย	มีมาก
รอยฉีกขาดที่ผิวหนัง ทะลุถึงชั้นเนื้อ	ส่วนอกและขาต้องไม่ มีรอยฉีกขาด หรือมี ทั่วทั้งตัวรวมกันไม่ เกิน 1.3 เซนติเมตร	ส่วนอกและขามีรอย ฉีกขาดรวมกัน ไม่เกิน 1.3 เซนติเมตร หรือมี ทั่วทั้งตัวรวมกัน ไม่ เกิน 7.6 เซนติเมตร	มีทั่วทั้งตัวรวมกันเกิน 7.6 เซนติเมตร
กระดูก	มีข้อหลุดไม่เกิน 1 ข้อ ไม่มีกระดูกหัก	มีข้อหลุดไม่เกิน 2 ข้อ กระดูกหักไม่เกิน 1 แท่ง และต้องไม่แทง ทะลุเนื้อ	มีข้อหลุดไม่เกิน 4 ข้อ กระดูกหักไม่เกิน 3 แท่ง และต้องไม่แทง ทะลุเนื้อ
ส่วนฉีกหลุดหาย	ไม่มี	มีได้เฉพาะที่ปลายปีก	มีได้เฉพาะที่ปลายปีก
สีผิวหนังที่ผิดปกติ	มีได้ที่ส่วนอกและขา และมีขนาดรวมกัน ไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร หรือทั่วทั้งตัวรวมกัน ไม่เกิน 5 เซนติเมตร	มีได้ที่ส่วนอกและขา และมีขนาดรวมกัน ไม่เกิน 5 เซนติเมตร หรือทั่วทั้งตัวรวมกัน ไม่เกิน 7.6 เซนติเมตร	ทั่วทั้งตัวรวมกันไม่ เกิน 8 เซนติเมตร

ที่มา : มกอช. 6700-2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะที่ต้องการของไก่ตัดเป็นสัดส่วน

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
	คุณภาพชั้นพิเศษ	คุณภาพชั้นหนึ่ง
เนื้อ	เนื้อเต็มและแน่น	เนื้อเต็มและแน่นพอควร
ขนอ่อน	มีเล็กน้อย	มีพอควร
รอยฉีกขาด	ไม่มี	มีเล็กน้อย
หนังหลุด	ไม่มี	มีเล็กน้อย
กระดูกหัก	ไม่มี	มีเล็กน้อย
สีที่ผิดไปจากปกติ เช่น เนื้อซีด	ไม่มี	มีเล็กน้อย

ที่มา : มกอช. 6700-2548

## 2.3 คุณภาพเนื้อ (Meat quality)

คุณภาพของเนื้อ หมายถึง ลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อที่แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติตามความต้องการของผู้บริโภค

### 2.3.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่า pH ในเนื้อไก่ในขณะที่มีชีวิตมีค่าประมาณ 7.2 ภายหลังสัตว์ตายเซลล์กล้ามเนื้อจะไม่มีออกซิเจน ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการคลายกล้ามเนื้อจะมาจากปฏิกิริยาการสลายกลูโคส (glycolysis) ผ่านกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนทำให้มีพลังงาน (ATP) เป็นจำนวนน้อย และเกิดการสะสมกรดแลคติกในกล้ามเนื้อส่งผลให้ค่า pH ในกล้ามเนื้อลดลงทำให้ค่า pH สุดท้าย (ultimate pH) ลดลงจาก 7.2 เหลือประมาณ 5.9 (Kissel *et al.* 2009; Li *et al.* 2015)

เนื้อสัตว์ที่มีการลดลงของค่า pH ที่ไม่ปกติมี 2 ลักษณะ คือ

1) ลักษณะของเนื้อที่เป็น Pale Soft Exudative (PSE) เกิดจากกระบวนการสลายกลูโคสที่รวดเร็วทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติกสูง พบว่าค่า pH จะลดลงเหลือประมาณ 5.8 ภายในเวลา 1 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย (ตารางที่ 2.4) ซึ่งเป็นการลดลงของค่า pH ในขณะที่อุณหภูมิของซากยังสูงอยู่ส่งผลทำให้เกิดโปรตีนเสียสภาพ (denature) ไม่สามารถรักษาคูณสมบัติในการจับน้ำ ทำให้เนื้อไม่สามารถอุ้มน้ำได้ ส่งผลให้น้ำไหลออกมาจากกล้ามเนื้อจึงเห็นเนื้อด้านหน้าตัดมีสีซีด เหลว และไม่คงรูป (สัญญาชัย จตุรสิทธา. 2547)

2) เนื้อที่มีลักษณะ Dark Firm Dry (DFD) เกิดจากการที่เนื้อที่มีปริมาณไกลโคเจน (glycogen) ในกล้ามเนื้ออยู่น้อยทำให้ไกลโคเจนสลายตัวเป็นกรดแลคติกได้น้อยหลังสัตว์ตาย จึงส่งผลให้ค่า pH สุดท้ายของเนื้อมีย่านมากกว่า 6.3-6.4 (ตารางที่ 2.4) มีผลทำให้คุณสมบัติบางประการของเนื้อแตกต่างจากเนื้อปกติทั่ว ๆ ไป คือ โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำได้ดีทำให้ออกซิเจนจาก

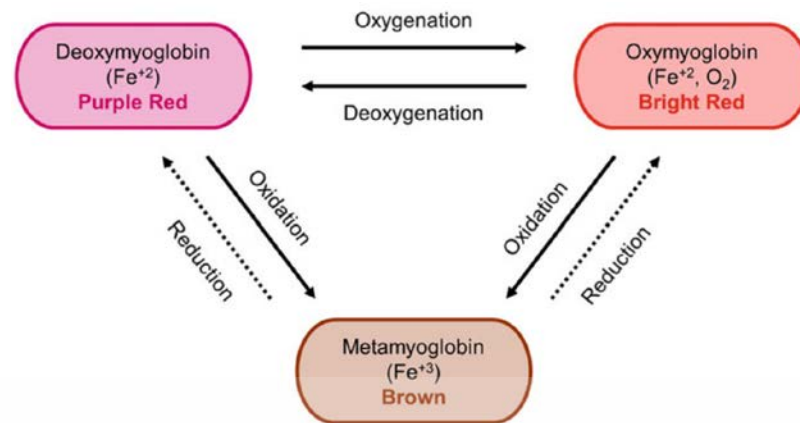
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปตามผิวของกล้ามเนื้อได้ง่าย ๆ จึงก่อให้เกิดสีคล้ำ แข็ง และแห้งที่ผิวหนังของเนื้อ ซึ่งมีการดูดแสงมากแต่มีการกระจายแสงน้อยทำให้เห็นเนื้อมีสีคล้ำ (สุทธิพงษ์ อริยะพงศ์สรรค์. 2537)

### 2.3.2 สีของเนื้อ (color)

สีของเนื้อเป็นความรู้สึกระการแรกที่ผู้บริโภคสามารถสัมผัสได้เป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงกับผู้บริโภคในการพิจารณาเลือกซื้อหรือไม่ซื้อเนื้อ สีของเนื้อจะแตกต่างกันตามเพศ อายุ ตลอดจนชิ้นส่วนที่มาจากอวัยวะที่ต่างกัน กล้ามเนื้อของสัตว์มีปริมาณ ไมโอโกลบิน (myoglobin) ซึ่งเป็นสารสีอยู่ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของสารสีทั้งหมด ซึ่งสีของเนื้อที่ปรากฏออกมาเกิดจากโปรตีนที่ประกอบด้วยฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ที่เป็นสารสีในเลือดซึ่งมีอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของสารสีทั้งหมด โดยปริมาณของไมโอโกลบินในเนื้อจะผันแปรตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิด และพันธุ์สัตว์ เป็นต้น (Aberle *et al.* 2001) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินจะส่งผลให้เนื้อมีสีแตกต่างกัน จากการจับของธาตุเหล็กที่อยู่ตรงกลางโครงสร้างโมเลกุลไมโอโกลบินกับสารอื่น ซึ่งจะทำให้เนื้อมีสีที่เปลี่ยนไป เช่น การจับกับออกซิเจนจะกลายเป็นออกซิไมโอโกลบิน (oxymyoglobin) ทำให้เนื้อมีสีแดงสด แต่หากเก็บเนื้อไว้ในที่ไม่มีออกซิเจนจะเกิดการออกซิไดซ์ไปเป็นเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin) ซึ่งจะทำให้เนื้อมีสีคล้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (Listrat *et al.* 2016)

การวัดค่าสีของเนื้อในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้เครื่องมือในการวัดสี ทั้งนี้ก่อนการวัดสีจะต้องมีการเตรียมเนื้อโดยการตัดเนื้อให้สัมผัสอากาศประมาณ 30 ถึง 45 นาที มีการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสง จากนั้นทำการวัดสี ค่าที่ได้จะแสดงเป็นค่าความสว่าง  $L^*$  (lightness) คือค่าความสว่าง  $a^*$  (redness) คือค่าสีแดง และ  $b^*$  (yellowness) คือค่าสีเหลือง โดย Qiao *et al.* (2002) ได้จัดกลุ่มของสีเนื้อไก่ตามค่า  $L^*$  โดยแบ่งออกเป็น (1) ค่า  $L^*$  มากกว่า 53 เนื้อมีความสว่างมากกว่าเนื้อปกติ (2) ค่า  $L^*$  อยู่ระหว่าง 48-51 เนื้อปกติ และ (3) ค่า  $L^*$  น้อยกว่า 46 เนื้อมีความเข้มมากกว่าเนื้อปกติ ทั้งนี้ลักษณะของสีเนื้อมีความสัมพันธ์กับค่า pH โดยตารางที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าในกลุ่มเนื้อที่เกิดลักษณะ PSE จะมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.7 ถึง 6.0 และค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 51 ถึง 60 กลุ่มเนื้อที่ปกติจะมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.9 ถึง 6.0 ค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 46 ถึง 51 และกลุ่มเนื้อที่เกิดลักษณะ DFD จะมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.1 ถึง 6.2 ค่า  $L^*$  อยู่ในช่วง 43 ถึง 48



ภาพที่ 2.1 การเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ของฮีโมโกลบิน

ที่มา : Rebeiro *et al.* (2021)

ตารางที่ 2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่า L\* ของเนื้อไก่ที่มีลักษณะ PSE และ DFD

Breast muscle	Time p.m.	pH	L*	Reference
PSE	2 h	5.76	51.60	Allen <i>et al.</i> (1998)
	3 h	<5.70	>53	Lesiów <i>et al.</i> (2009)
	3 h	5.76	60.41	Woelfel <i>et al.</i> (2002)
	4 h	5.71	51.61	Garcia <i>et al.</i> (2010)
	24 h	5.66	57.73	Li <i>et al.</i> (2015)
	24 h	6.05	>57	Wilkins <i>et al.</i> (2000)
	Normal	3 h	6.02	50.06
3 h		5.7-6.1	48-53	Lesiów <i>et al.</i> (2009)
3 h		6.07	51.38	Woelfel <i>et al.</i> (2002)
4 h		6.00	46.34	Garcia <i>et al.</i> (2010)
24 h		5.93	51.42	Kissel <i>et al.</i> (2009)
24 h		5.98	51.35	Li <i>et al.</i> (2015)
DFD		2 h	6.22	43.7
	3 h	>6.1	<48	Lesiów <i>et al.</i> (2009)
	6 h	6.23	43.03	Zhang and Barbut (2007)
	16 h	6.27	44.88	Barbut <i>et al.</i> (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำในเนื้อสัตว์ (water holding capacity)

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์เป็นความสามารถในการทำให้ น้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกล้ามเนื้อยังคงอยู่ภายในกล้ามเนื้อ น้ำที่อยู่ในเนื้อจะถูกจับไว้ด้วยโปรตีนที่อยู่ในเนื้อโดยโปรตีนที่มีความสำคัญในการเป็นตัวจับน้ำในเนื้อ คือ กลุ่มไมโอไฟบริลลาโปรตีน (myofibrillar protein) ถ้าโปรตีนในเนื้ออุ้มน้ำไว้ไม่ดีจะทำให้เกิดการสูญเสีย น้ำ ทำให้เนื้อค่อนข้างแห้ง ไม่ชวนบริโภค น้ำในเนื้อนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของเนื้อ เช่น สี รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำของเนื้อ ในกล้ามเนื้อมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์

### 2.3.4 ความนุ่มของเนื้อ (tenderness)

เนื้อจะมีความนุ่มมากหรือน้อยมีอิทธิพลจากปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดสัตว์ พันธุ์ อายุ ชนิดของกล้ามเนื้อ ปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในกล้ามเนื้อ หลังสัตว์ตาย เป็นต้น นอกจากนี้ความนุ่มของเนื้อยังเป็นผลจากปริมาณและโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ถ้ากล้ามเนื้อส่วนใดมีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมาก กล้ามเนื้อส่วนนั้นจะมีความนุ่มน้อยและมีความเหนียวมาก ส่วนอีลาสตินและเรติคิวลินในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีผลต่อความนุ่มน้อยกว่าคอลลาเจน (สัญญา จตุรสิทธิ์ธา. 2547)

### 2.3.5 ความชุ่มฉ่ำ (juiciness)

ความชุ่มฉ่ำเป็นคุณสมบัติที่มีความเกี่ยวข้องกับประสาทสัมผัสในการรับประทาน ซึ่งความชุ่มฉ่ำของเนื้อเกิดจากปริมาณน้ำในเนื้อที่ปล่อยออกมาหลังจากมีการฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อในระหว่างการเคี้ยว ความชุ่มฉ่ำของเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรกในเนื้อ รวมถึงค่า pH หากเนื้อมีค่า pH สูงสุดท้ายสูง หลังการปรุงสุกแล้วเนื้อยังสามารถจับน้ำได้ดี ทำให้มีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในเนื้อมาก แต่ถ้าหาก pH สูงสุดท้ายของเนื้อต่ำการจับน้ำของเนื้อหลังจากการปรุงสุกจะไม่ดี ทำให้น้ำเหลือในปริมาณน้อย นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้การปรุงสุกและรูปแบบการปรุงสุกก็ส่งผลต่อความชุ่มฉ่ำของเนื้อเช่นกัน (Kerry *et al.* 2002)

### 2.3.6 เนื้อสัมผัส (texture)

เนื้อสัมผัส หมายถึง ลักษณะที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ด้วยการสัมผัส ผู้บริโภครับรู้เนื้อสัมผัสของอาหารได้ด้วยการสัมผัสด้วยมือ โดยการจับ แตะ บีบ บี การสัมผัสด้วยฟัน เพดานปาก ลิ้น และการเคี้ยว

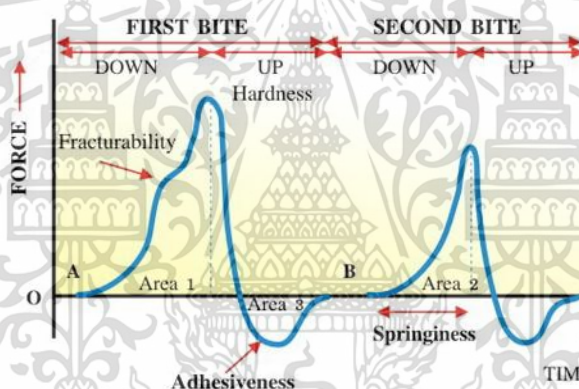
Texture profile analysis (TPA) เป็นการทดสอบโดยการใช้หัวทดสอบแบบแผ่นแบนซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดของวัสดุเป็นการให้แรงกด (compression test) ลงบนตัวอย่างอาหารขนาดมาตรฐาน 2 ครั้งเพื่อเป็นการจำลองการใช้ฟันบดอาหาร (Friedman *et al.* 1963) การทดสอบด้วยวิธี TPA ประยุกต์ใช้วัดเนื้อสัมผัสของอาหารหลายชนิดที่อยู่ในสภาวะที่พร้อมรับประทาน ได้แก่ เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เช่น แฮม ไส้กรอก เนยแข็ง ผัก ผลไม้ เต้าหู้ เพราะ

คุณภาพที่ได้สัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ซึ่งลักษณะของเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสที่ได้จากการใช้เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับตัวอย่าง ต่อเวลาผ่านการกดของหัววัด ดังภาพที่ 2.2 โดยความสูงของกราฟคือแรงกดที่กระทำในแต่ละครั้ง ซึ่งจะแสดงค่าความแข็ง (hardness) โดยเป็นแรงที่มีค่ามากที่สุดในช่วงการกดครั้งแรก (first bite) นอกจากนี้กราฟที่ได้ยังแสดงถึงแรงกดที่กระทำครั้งแรกซึ่งทำให้เกิดการแตกหักหรือเสียรูปแต่ไม่แตกออกจากกันของชิ้นงาน (fracturability) ขอบเขตของวัสดุที่สามารถเสียรูปก่อนที่จะเกิดการแตกหักหรือค่าการยึดเกาะ (cohesiveness) ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟบริเวณ area 2 ต่อ area 1 อัตราการคืนรูปของวัสดุหลังจากถูกกดครั้งแรกหรือค่าความยืดหยุ่น (springiness) แรงที่ต้องใช้ในการแยกตัวอย่างที่เป็นกึ่งแข็งจนกระทั่งเสียรูปหรือค่าความเหนียว (gumminess) ซึ่งหาได้จากผลคูณของค่าความแข็งและค่าการยึดเกาะ แรงที่ใช้ในการบดตัวอย่างจนกระทั่งเสียรูปหรือค่าแรงการเคี้ยว (chewiness) หาได้จากผลคูณของค่าความเหนียวและค่าความยืดหยุ่น และการแสดงการยึดติดของอาหารกับวัตถุอื่นหรือค่าการยึดติด (adhesiveness) (Bourne, 1987)



ภาพที่ 2.2 แสดง Texture Profile Analysis Curve

ที่มา: Bourne. (1978)

### 2.3.8 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition)

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสัตว์มีน้ำและโปรตีนเป็นส่วนสำคัญ นอกจากนั้นเป็นไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ และเอนไซม์ โดยมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันออกไปตามส่วนต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อ สายพันธุ์ อายุ ชนิดของสัตว์ที่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อสัตว์ (สัญญา จตุรสีทธา. 2547)

โปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะในส่วน of กล้ามเนื้อ โครงสร้างที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบประมาณ 16 ถึง 22 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรตีนในเนื้อสัตว์แบ่งตามแหล่งที่มาและความสามารถในการละลายได้ 3 กลุ่ม คือ (1) ไมโอไฟบริลลาร์โปรตีน (myofibrillar protein) พบมากที่สุดประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในเนื้อสัตว์ ทำหน้าที่ในการยึดหดตัวของ

กล้ามเนื้อ ประกอบไปด้วยไมโอซิน แอกทิน โทรโปนิน และโทรโปไมโอซิน (2) ซาร์โคพลาส

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิกโปรตีน (sarcolemmal protein) มีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด สามารถละลายน้ำและสารละลายน้ำเกลือเจือจางได้ ประกอบด้วยไมโอโกลบิน ฮีโมโกลบิน ไซโตโครม และเอนไซม์ต่าง ๆ (3) สโตรมาโปรตีน (stroma protein) เป็นโปรตีนที่มีองค์ประกอบเหมือนกับเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน มีอยู่ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมด สามารถละลายในสารละลายกรด-เบสเข้มข้นประกอบด้วยคอลลาเจน อิลาสติน และเรติคิวลิน

ไขมันเป็นส่วนประกอบสำคัญที่สะสมอยู่ในร่างกายสัตว์ ทำหน้าที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย สัตว์และเก็บสะสมไว้ในร่างกายสัตว์ โดยในเนื้อออกไก่มีไขมันอยู่ประมาณ 1.2 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ (Baeza *et al.* 2012) โดยทั่วไปไขมันในเนื้อสัตว์มักจะกระจายตัวอยู่ทั่วไปตามมัดกล้ามเนื้อและบริเวณใต้ผิวหนัง เนื้อเยื่อไขมันในสัตว์มีกรดไขมันอะราชิโดนิก (arachidonic acid) กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และกรดลิโนเลนิก (linolenic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential fatty acid) อยู่อย่างเพียงพอ (Western Sydney Hawkesbury. 1997)

คาร์โบไฮเดรตในเนื้อสัตว์มีปริมาณไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไกลโคเจนและกรดแลกติก พันธุ์และเพศของสัตว์ไม่มีผลต่อระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ แต่อายุของสัตว์มีผลต่อปริมาณไกลโคเจน โดยเมื่อสัตว์อายุมากขึ้นจะมีปริมาณไกลโคเจนลดลงเนื่องจากการสังเคราะห์ไกลโคเจนที่ลดลง (Price and Schweigert. 1971)

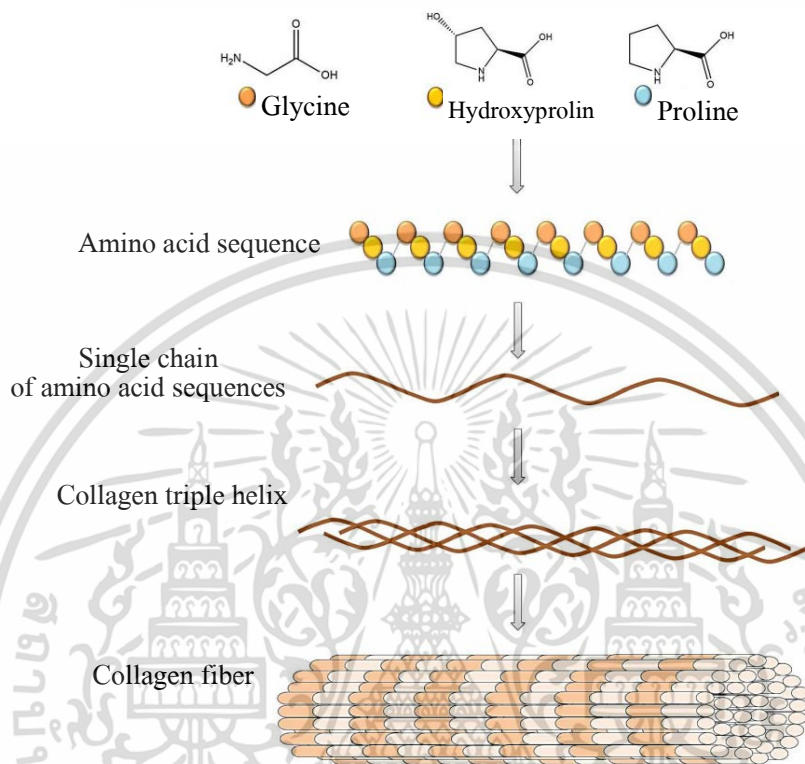
น้ำเป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดประมาณ 50 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ในกล้ามเนื้อสัตว์ที่อยู่ในสภาวะปกติ น้ำส่วนใหญ่จะถูกโปรตีนตรึงไว้ แต่เมื่อหลังจากสัตว์ตายและเกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (rigor) ไกลโคเจนในเนื้อจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดแลกติกมีผลทำให้โปรตีนในเนื้อสูญเสียความสามารถในการดึงดูดน้ำไปทำให้มีน้ำไหลออกมาภายนอกเซลล์ (Lawrie. 1981)

### 2.3.9 คอลลาเจน (collagen)

คอลลาเจน (collagen) เป็นโปรตีนในกลุ่มโปรตีนเส้นใย (fibrous protein) พบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) เป็นส่วนประกอบหลักในร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น เส้นเอ็น (ligament) กระดูก ฟิวหนัง ระบบท่อลำเลียงในสัตว์ รวมถึงแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รอบกล้ามเนื้อ มีลักษณะเหนียวแต่ยืดไม่ได้ มีแรงต้านแรงดึงสูงมากทำให้กล้ามเนื้อเหนียว ซึ่งคอลลาเจนคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดในร่างกาย ส่วนในสัตว์ปีกและสัตว์น้ำจะมีปริมาณน้อยกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Bailey and Light. 1989) คอลลาเจนเป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อหุ้มกล้ามเนื้อ (endomysium) ประกอบเป็น 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (muscular tissue) และเป็น 6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเอ็น (tendon) (Lullo *et al.* 2002) คอลลาเจนมีโครงสร้างของโปรตีนเป็นโปรตีนเส้นใยสายของพอลิเพปไทด์ 3 สาย จะมารวมกันแบบทริปเปิลเฮลิกซ์ (triple helix) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของคอลลาเจนเรียกว่าโทโปคอลลาเจน (topocollagen subunit) โดยแต่ละสายของพอลิเพปไทด์ขดเป็นเกลียววนซ้ายและรวมเข้าด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจนยาว

ประมาณ 300 นาโนเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นาโนเมตร (ภาพที่ 2.3) ชนิดของคอลลาเจนมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างกันตามองค์ประกอบของเปปไทด์ (peptide) และองค์ประกอบของโมเลกุลของคอลลาเจน เช่นเดียวกับชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่แตกต่างกันก็มีชนิดของคอลลาเจนที่แตกต่างกันเช่นกัน (Burghagen, 1999) ดังแสดงในตารางที่ 2.5



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของคอลลาเจน

ที่มา: Sobczak-Kupiec *et al.* (2021)

ตารางที่ 2.5 ชนิดของคอลลาเจน

ชนิด	ตำแหน่ง
I	ผิวหนัง เอ็น (tendons) กระจุก กล้ามเนื้อ (epimysium)
II	กระจุกอ่อน
III	ผิวหนังของทารกในครรภ์ (fetal skin) ระบบหมุนเวียนโลหิต เยื่อหุ้มไขข้อ (synovial membrane) อวัยวะภายใน กล้ามเนื้อ (perimysium)
IV	เยื่อหุ้มรก (placental membrane) ปลอด กล้ามเนื้อ (endomysium)
V	เยื่อหุ้มรก (placental membrane) ระบบหมุนเวียนโลหิต ปลอด กล้ามเนื้อ (endomysium)

ที่มา: คัดแปลงจาก Burghagen (1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ความผิดปกติของกล้ามเนื้อ (myopathy) ในไก่กระทง

### 2.4.1 การเกิดแถบลายสีขาว (white striping)

การเกิดลักษณะของแถบลายสีขาวในไก่กระทงที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะเป็นแถบสีขาวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าที่เรียงตัวขนานกับเส้นใยกล้ามเนื้อ (ภาพที่ 2.4) ส่วนใหญ่มักเกิดที่กล้ามเนื้ออกและกล้ามเนื้อสะโพก ซึ่งการเกิดแถบลายสีขาวที่เห็นได้ชัดนั้นส่งผลให้ผู้บริโภคไม่เลือกซื้อ อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านคุณภาพเนื้อและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่ เช่น ค่า pH สุดท้ายของเนื้อที่สูงขึ้นและค่าการสูญเสียไอน้ำระหว่างปรุงสุกที่เพิ่มขึ้น (Mudalal *et al.* 2014; Mazzoni *et al.* 2015; Trocino *et al.* 2015) ค่า  $L^*$  ลดลง ค่า  $a^*$  และค่า  $b^*$  สูงขึ้น (Petracci *et al.* 2013) ปริมาณไขมันในมัดกล้ามเนื้อ (intramuscular fat) และคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณโปรตีนลดลง (Petracci and Cavani, 2012; Petracci *et al.* 2013; Mudalal *et al.* 2014) โดยที่แถบสีขาวที่ปรากฏบนกล้ามเนื้ออกไก่นั้นมีขนาดและจำนวนที่แตกต่างกันจึงมีการนำความแตกต่างนี้มาใช้ในการจำแนกระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวซึ่ง Malila *et al.* (2018) ได้แบ่งระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวเป็น 4 ระดับ ดังนี้ (1) normal (score 0) ไม่มีเส้นสีขาวเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (2) mild (score 1) มีเส้นสีขาวเกิดขึ้นขนานกับเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวน 1-40 เส้นและมีความกว้างของแถบน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร (3) moderate (score 2) มีเส้นสีขาวเกิดขึ้นขนานกับเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความกว้างของแถบ 1 ถึง 2 มิลลิเมตร จำนวน 1-5 เส้น และ (4) severe (score 3) มีเส้นสีขาวเกิดขึ้นขนานกับเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความกว้างของแถบมากกว่า 2 มิลลิเมตร จำนวนมากกว่า 5 เส้น

Kuttappan *et al.* (2016) กล่าวว่าเริ่มมีการศึกษาเกี่ยวกับแถบลายสีขาวมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 และได้มีการรายงานอุบัติการณ์ของแถบลายสีขาวในหลายประเทศ เช่น บราซิล อิตาลี ฟินแลนด์ สหรัฐอเมริกา และสหราชอาณาจักร โดยในช่วงต้น (ค.ศ. 2000) ของรายงานการตรวจพบแถบลายสีขาวพบที่มีความชุกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของไก่ (Petracci *et al.* 2013) และภายในไม่กี่ปีหลังจากนั้นได้มีรายงานพบความชุกของแถบลายสีขาวเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ 20 ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ (Lorenzi *et al.* 2014; Russo *et al.* 2015; Trocino *et al.* 2015; Kuttappan *et al.* 2016; Malila *et al.* 2018)

การเกิดแถบลายสีขาวในไก่กระทงเกิดจากการสะสมของไขมัน (lipidosis) และการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อ (Kuttappan *et al.* 2016) สาเหตุของการเกิดแถบลายสีขาวมีความเกี่ยวเนื่องกับการเจริญเติบโตและการเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็วของกล้ามเนื้อทำให้เกิดการเพิ่มขนาดของของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber hypertrophy) เป็นผลให้อัตราส่วนของหลอดเลือดฝอยต่อเส้นใยกล้ามเนื้อ (capillary-to-fiber ratio) ลดลงส่งผลให้การลำเลียงออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อเป็นไปได้น้อยลงหรือเป็นไปอย่างลำบากมากขึ้น ทำให้การกำจัดของเสียจาก

กระบวนการเผาผลาญเกิดข้อบกพร่องหรือไม่สมบูรณ์เป็นเหตุให้เกิดภาวะขาดออกซิเจน (hypoxia) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปสู่การเกิดการเสื่อมสภาพของกล้ามเนื้อ (myodegeneration) นอกจากนี้การที่ระบบสมดุลของแคลเซียม (calcium homeostasis) ที่ผิดปกติซึ่งมีการสะสมของแคลเซียมภายในเซลล์เพิ่มขึ้นนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเส้นใยกล้ามเนื้อ (sarcolemmal membrane) นอกจากนี้ความผิดปกติของระบบสมดุลของแคลเซียมยังไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส (proteases) และเอนไซม์ไลเปส (lipases) และกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมสลายของโปรตีน (protein degeneration) อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของกล้ามเนื้อด้วยเช่นกันส่งผลให้เกิดการตายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (fiber necrosis) และเกิดกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อใหม่ (regeneration) เพื่อทดแทนเส้นใยกล้ามเนื้อส่วนที่ตาย แต่เนื่องจากการเสื่อมสภาพนั้นเกิดขึ้นมากกว่าและเร็วกว่าการสร้างใหม่ จึงเป็นเหตุให้เกิดการสะสมของไขมัน และพังผืด (fibrosis) ขึ้นมาแทน (Petracci *et al.* 2017, 2019) ดังแสดงในภาพที่ 2.4

#### 2.4.2 การเกิดเนื้อแข็ง (Wooden breast)

การเกิดเนื้อแข็งมีลักษณะเฉพาะคือมีส่วนนุ่มและความแข็งของกล้ามเนื้อออกที่เห็นได้ชัด โดยนักจุลพยาธิวิทยาได้กล่าวว่าการเกิดเนื้อแข็งเป็นโรคกล้ามเนื้อเสื่อมที่มักเกิดกับกล้ามเนื้ออก (pectoralis major) ของไก่เนื้อที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง (Velleman and Clark. 2015; Ferreira *et al.* 2020) เนื่องจากมีการเจริญของเส้นใยกล้ามเนื้อ และการเกิดพังผืดมากเกินไป (Ferreira *et al.* 2020) กลไกการเกิดเนื้อแข็งนั้นมีกลไกพื้นฐานคล้ายคลึงกับการเกิดแถบลายสีขาว โดยจะพบว่าในกล้ามเนื้อของไก่ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว นั้นจะมีปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้ออยู่มาก และมีพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราส่วนของหลอดเลือดฝอยต่อเส้นใยกล้ามเนื้อลดลง โดยเฉพาะในกล้ามเนื้อหน้าอก (Hoving-Bolink *et al.* 2000 อ้างโดย Petracci *et al.* 2017) ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องในการกำจัดของเสียจากการเผาผลาญเป็นผลให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนนำไปสู่การสะสมของสารอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species) ที่มากเกินไป ความจำเป็นส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดภาวะที่ออกซิไดซ์เกินสมดุล (oxidative stress) ส่งผลให้เกิดกระบวนการอักเสบภายในกล้ามเนื้อและเกิดการเสื่อมสภาพของไมโทคอนเดรีย (mitochondrial dysfunction) ทำให้การเผาผลาญกลูโคสเกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางชีววิทยาที่ซับซ้อนและเกิดกระบวนการสร้างใหม่ของกล้ามเนื้อเพื่อที่ลดการอักเสบ การเกิดเนื้อตายและการตายของเซลล์ (apoptosis) อย่างไรก็ตามการเกิดการเสื่อมสภาพและการอักเสบก็ยังคงเกิดได้รวดเร็วกว่าการสร้างใหม่ทำให้การเสื่อมสภาพที่เกิดจากการอักเสบเข้ามาแทนที่ความสามารถในการสร้างใหม่ของกล้ามเนื้อและนำไปสู่การเกิดพังผืดและการสะสมของไขมันและพัฒนาเป็นลักษณะของการเกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อในที่สุด (Petracci *et al.* 2017, 2019) ดังแสดงในภาพที่ 2.4



จากรายงานของ Velleman and Clark (2015) กล่าวว่า การเกิดผังพืดในเนื้อแข็งอาจแตกต่างกันในไก่เนื้อที่มีสายพันธุ์ต่างกัน นอกจากนี้ Cruz *et al.* (2017) ยังกล่าวว่าในไก่เนื้อที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่า และน้ำหนักอกที่มากกว่าไก่ที่มีน้ำหนักปกติจะมีอุบัติการณ์ของการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็งที่มากกว่าด้วย Cruz *et al.* (2017) ระบุว่า การเกิดเนื้อแข็งจะถูกรับได้ตั้งแต่อายุ 3 สัปดาห์ โดยระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้ (1) normal (score 0) ไม่เกิดความแข็งหรือความชื้น (2) moderate light (score 1) แข็งหรือนูนขึ้นเล็กน้อย บริเวณด้านหลัง (dorsal) หรือบริเวณด้านท้าย (caudal) (3) moderate severe (score 2) แข็งหรือนูนขึ้นปานกลางตลอดทั้งอก และ (4) severe (score 3) แข็งตลอดทั้งอก มีจุดเลือดที่ผิวของอกไก่

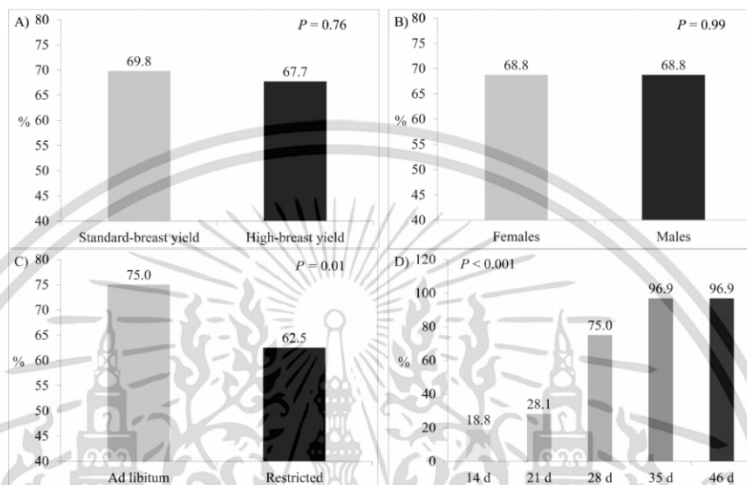
การเกิดลักษณะเนื้อแข็งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพเนื้อ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงทำให้ค่าการสูญเสียไอน้ำระหว่างปรุงสุกสูงกว่าเนื้อปกติ นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อและค่าเนื้อสัมผัส คือ ค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่าแรงการเคี้ยวสูงขึ้น (Mudalal *et al.* 2014; Trocino *et al.* 2015; Aguirre *et al.* 2018; Compo *et al.* 2020)

### 2.4.3 ปัจจัยที่มีต่อความผิดปกติของกล้ามเนื้อ (Myopathy)

ไก่เนื้อที่ให้ผลผลิตสูงนั้นเป็นผลจากการคัดเลือกพันธุกรรมเพื่อให้ได้ไก่ที่โตเร็วและมีเนื้ออกใหญ่ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของกล้ามเนื้ออก เช่น การเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็ง (Kuttappan *et al.* 2012b, 2013) ซึ่งการเกิดแถบลายสีขาวจะปรากฏการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Kuttappan *et al.* 2013) ในกรณีของการเกิดเนื้อแข็งนั้นจะเกี่ยวข้องกับการสร้างและการสลายกล้ามเนื้อ (polyphasic myodegeneration with regeneration) รวมทั้งการสะสมของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (fibrosis) Radaelli *et al.* (2017) รายงานว่ามีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber degeneration) ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็งโดยได้ทำการทดลองในไก่เนื้อ 2 จีโนไทป์ (genotype) ที่มีปริมาณเนื้ออกต่างกันคือกลุ่มที่มีปริมาณเนื้ออกสูง (high breast yield) และกลุ่มปกติ (normal breast yield) ในไก่เพศผู้และเพศเมียที่ได้รับอาหารต่างกัน 2 กลุ่มคือให้กินอาหารอย่างเต็มที่ (ad libitum) และให้กินอย่างจำกัดเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ที่อายุ 13 ถึง 21 วัน จากนั้นทำการฆ่าและสุ่มตัวอย่างเนื้ออกมาศึกษาทางจุลพยาธิวิทยา (histology) ที่อายุต่างกันคือ 14 21 28 35 และ 46 วัน ผลการศึกษาพบว่าจีโนไทป์และเพศไม่มีอิทธิพลต่อการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ แต่พบว่าการจำกัดอาหารสามารถลดปริมาณการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $p=0.01$ ) และอายุยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ ( $p<0.001$ ) โดยมีปริมาณของไก่ที่เกิดการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นตั้งแต่อายุ 14 ถึง 35 วัน ดังภาพที่ 2.5 และเมื่อนำไก่ที่เกิดการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อในแต่ละอายุมาทำการแบ่งกลุ่มตามการจำกัดอาหารพบว่าที่อายุ 14 35 และ 46 วัน ไก่ทั้งสองกลุ่มมีปริมาณการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่ที่อายุ 21 วัน ไก่กลุ่มที่จำกัดอาหารมีปริมาณการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารอย่างเต็มที่

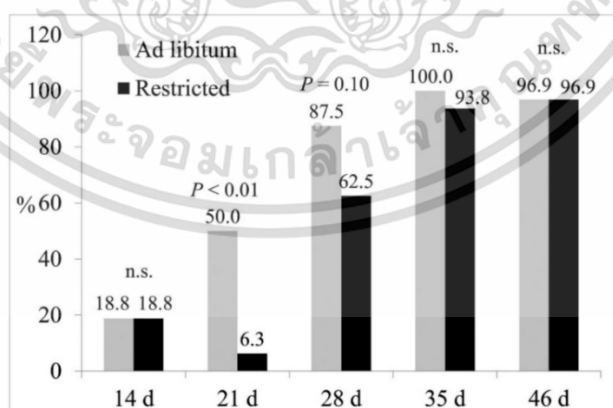
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยกล้ามเนื้อต่ำกว่ากลุ่มที่กินอย่างเต็มที่อยู่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) โดยมีค่าเท่ากับ 6.3 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่อายุ 28 ไก่กลุ่มที่ได้กินอาหารอย่างจำกัดก็มีปริมาณการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อต่ำกว่าในไก่กลุ่มที่ได้กินอาหารอย่างเต็มที่อยู่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.01$ ) เช่นกัน โดยมีค่าเท่ากับ 62.5 เปอร์เซ็นต์ และ 87.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.5 ปริมาณของไก่ที่เกิดการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber degeneration; WS and WB) (%) ในแต่ละปัจจัย โดย A คือจโนโทป์ B คือเพศ C คือการให้อาหาร และ D คืออายุ

ที่มา : Radaelli *et al.* (2017)

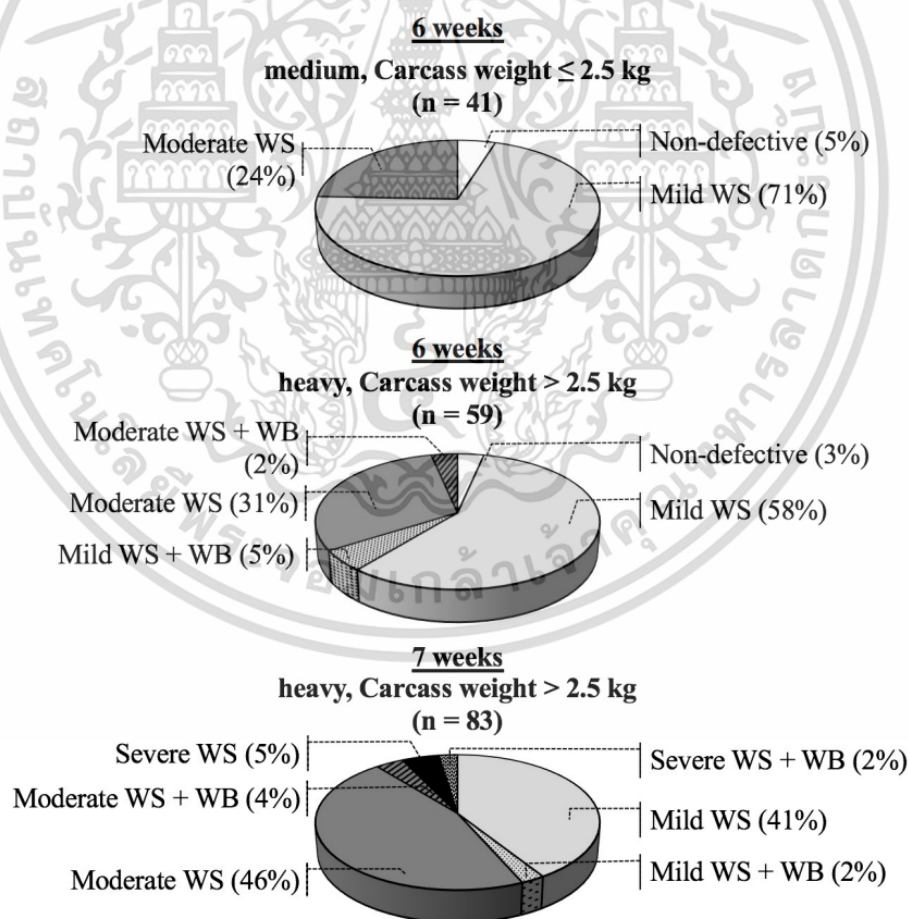


ภาพที่ 2.6 ปริมาณของไก่ที่เกิดการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber degeneration; WS and WB) (%) ที่มีปัจจัยของอายุและการกินอาหารต่างกัน (P-value โดยการทดสอบ chi-square ในแต่ละอายุ)

ที่มา : Radaelli *et al.* (2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Malila *et al.* (2018) ที่ทำการศึกษาระดับปริมาณการเกิดแถบลายสีขาวยและเนื้อแข็งในไก่สายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ จำนวน 183 ตัว โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ไก่อายุ 6 สัปดาห์ที่มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.5 กิโลกรัม จำนวน 41 ตัว กลุ่มที่ 2 ไก่อายุ 6 สัปดาห์ที่มีน้ำหนักมากกว่า 2.5 กิโลกรัม จำนวน 59 ตัว และกลุ่มที่ 3 ไก่ที่อายุ 7 สัปดาห์ที่มีน้ำหนักมากกว่า 2.5 กิโลกรัม จำนวน 83 ตัว พบว่าในอกไก่ทั้งหมด 183 ตัว มีอกไก่จำนวน 179 ตัว (97.8 เปอร์เซ็นต์) ที่พบการเกิดแถบลายสีขาวยในระดับความรุนแรงต่าง ๆ โดยจัดกลุ่มตามระดับความรุนแรงได้ดังนี้ WS 1 จำนวน 102 ตัว (55.7 เปอร์เซ็นต์) WS 2 จำนวน 71 ตัว (39 เปอร์เซ็นต์) และ WS 3 จำนวน 6 ตัว (3.3 เปอร์เซ็นต์) และพบว่าการเกิดเนื้อแข็งจำนวน 12 ตัว คิดเป็น 6.6 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งในไก่ที่อายุ 6 สัปดาห์ทั้งในกลุ่มที่มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.5 กิโลกรัมและน้ำหนักมากกว่า 2.5 กิโลกรัมพบอกไก่ที่ไม่เกิดแถบลายสีขาวยทั้งหมด 4 ตัว และไม่พบตัวอย่างของอกไก่ที่เกิด WS 3 ในกลุ่มของไก่ที่อายุ 6 สัปดาห์ทั้งสองกลุ่ม ในไก่ที่อายุ 7 สัปดาห์พบว่าเนื้ออกไก่เกิดแถบลายสีขาวยจำนวนเพิ่มขึ้นและมีความรุนแรงมากกว่าในเนื้ออกไก่ที่อายุ 6 สัปดาห์ ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ปริมาณการเกิดแถบลายสีขาวยและเนื้อแข็งในแต่ละระดับความรุนแรงของเนื้ออกไก่ที่อายุ 6 และ 7 สัปดาห์

ที่มา : Malila *et al.* (2018)  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 อิทธิพลของอายุต่อคุณภาพเนื้อ

### 2.5.1 อิทธิพลของอายุต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพ

จากการศึกษาของ Coban *et al.* (2014) ในไก่สายพันธุ์ Ross 308 พบว่าค่า pH สุดท้ายของไก่ที่อายุ 42 วันสูงกว่าที่อายุ 56 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า  $a^*$  และค่าความอิมิตัวของสี ( $c^*$ ) ของไก่ที่อายุ 56 วันมีค่าน้อยกว่าไก่ที่อายุ 42 วัน (ตารางที่ 2.6) โดยค่า pH ที่ลดลงอาจเป็นผลจากการที่กระบวนการสลายกลูโคสของกล้ามเนื้อหลังจากสัตว์ตายเพิ่มสูงขึ้น (Sandercock *et al.* 2001 อ้างโดย Coban *et al.* 2014) ความเข้มของค่า  $a^*$  ที่ลดลงมีผลมาจากขนาดของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นของหลอดเลือดฝอยลดลง (Kurmoth *et al.* 1994)

ตารางที่ 2.6 ผลของอายุต่อคุณภาพของเนื้อไก่

trait	42 days	56 days	P-value
pH	6.15±0.033 <sup>a</sup>	6.02±0.021 <sup>b</sup>	0.005
drip loss (%)	1.84±0.082	1.89±0.137	0.774
L*	54.50±0.717	54.24±0.812	0.818
a*	3.12±0.277 <sup>a</sup>	2.01±0.282 <sup>b</sup>	0.011
b*	6.48±0.534	4.97±0.546	0.064
c*	7.29±0.544 <sup>a</sup>	5.08±0.575 <sup>b</sup>	0.012
h <sup>o</sup>	64.36±1.928	66.57±2.800	0.523

ที่มา : ดัดแปลงจาก Coban *et al.* (2014)

Park and Kim (2021) ได้ทำการศึกษาค่าแรงตัดผ่านเนื้อในไก่สายพันธุ์ Ross ที่อายุ 28 30 32 และ 34 วัน พบว่าค่าแรงตัดผ่านเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 30 วัน และมีค่าสูงสุดที่อายุ 34 วัน ( $p<0.05$ ) ในขณะที่ช่วงอายุ 28 ถึง 32 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าแรงตัดผ่านเนื้อตามอายุนั้นมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่หนาแน่นขึ้นเมื่อสัตว์เจริญเติบโต (Keeton and Eddy, 2004 อ้างโดย Park and Kim, 2021) ในส่วนของค่าเนื้อสัมผัส Lyon *et al.* (1984) ได้ศึกษาค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อไก่ที่อายุ 7 9 10 และ 11 สัปดาห์ พบว่าไม่พบความแตกต่างในค่าความแข็ง และค่าแรงการเคี้ยวที่อายุ 7 ถึง 10 สัปดาห์ แต่เมื่ออายุ 11 สัปดาห์พบว่ามีค่าความแข็ง และค่าแรงการเคี้ยวมากกว่าอายุอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) ส่วนค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามอายุ ในขณะที่ค่าการยืดเกาะลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น โดยในเนื้อไก่ที่อายุ 11 สัปดาห์มีการยืดเกาะน้อยกว่าอายุ 7 ถึง 10 สัปดาห์ ( $p<0.05$ ) (ตารางที่ 2.7) เนื่องจากการที่อายุเพิ่มขึ้นทำให้การเพิ่มจำนวนของเนื้อเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

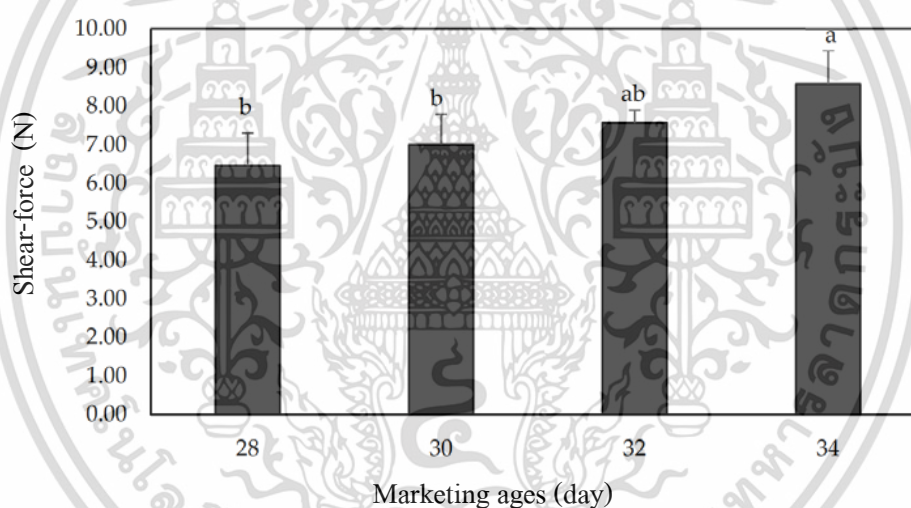
เกี่ยวพันมีมากขึ้นและส่งผลให้เส้นใยคอลลาเจนเกิดการประสานเป็นโครงร่างตาข่าย (cross-linking collagen) ในกล้ามเนื้อมากขึ้นจึงเป็นผลให้เนื้อไก่อมีความเหนียวที่เพิ่มขึ้น (Mir *et al.* 2017)

ตารางที่ 2.7 อิทธิพลของอายุต่อค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อสุก

age (week)	hardness (kg)	springiness (cm)	Chewiness (kg/cm)	cohesiveness
7	19.21 <sup>b</sup>	0.53 <sup>d</sup>	3.86 <sup>b</sup>	0.38 <sup>a</sup>
9	19.76 <sup>b</sup>	0.61 <sup>c</sup>	4.38 <sup>b</sup>	0.37 <sup>ab</sup>
10	18.94 <sup>b</sup>	0.68 <sup>b</sup>	4.60 <sup>b</sup>	0.36 <sup>b</sup>
11	22.71 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>	5.71 <sup>a</sup>	0.34 <sup>c</sup>

<sup>a, b, c, d</sup> หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในแต่ละแถวแนวนอน

ที่มา : คัดแปลงจาก Lyon *et al.* (1984)



ภาพที่ 2.8 ค่าแรงตัดผ่านเนื้อของอกไก่ที่อายุ 28 30 32 และ 34 วัน

<sup>a, b</sup> หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ที่มา : Park and Kim (2021)

### 2.5.2 อิทธิพลของอายุต่อองค์ประกอบทางเคมี

Baéza *et al.* (2012) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในไก่เนื้อที่ช่วงอายุ 35 ถึง 63 วัน พบว่าปริมาณความชื้นลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณของไขมันและโปรตีนมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น โดยที่อายุ 35 วันมีปริมาณความชื้นสูงสุด ปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำที่สุด และที่อายุ 63 วันมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดที่อายุ 49 และ 63 วัน ไขมันมีปริมาณสูงที่สุดที่อายุ 56 วัน ( $p < 0.05$ ) การศึกษาของ Michalczuk *et al.* (2016) พบว่าอายุที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่ โดยเฉพาะปริมาณความชื้นและไขมัน คือไขมันมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยที่อายุ 35 วันมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด และที่อายุ 63 วันมีปริมาณต่ำที่สุด และความชื้นมีปริมาณลดลง ซึ่งที่อายุ 35 วันมีปริมาณไขมันต่ำที่สุด และสูงที่สุดที่อายุ 63 วัน ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และจากการศึกษาของ Park and Kim (2021) ที่พบว่าปริมาณความชื้นลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นตามอายุ แต่ปริมาณไขมันและเถ้าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.8) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันนั้นมีความเกี่ยวข้องกับอายุที่เพิ่มขึ้นทำให้มีการพัฒนาของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นตามซึ่งส่งผลให้มีการพัฒนาของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในชั้นกล้ามเนื้อ เช่น คอลลาเจนและอีลาสติน จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นและปริมาณความชื้นลดลง (Park and Kim, 2021)

ตารางที่ 2.8 อิทธิพลของอายุต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่กระทั่ง

age (day)	Moist (%)	protein (%)	fat (%)	ash (%)	Reference
35	74.3 <sup>a</sup>	23.5 <sup>b</sup>	1.29 <sup>c</sup>	-	Baeza <i>et al.</i> (2012)
42	73.9 <sup>ab</sup>	24.2 <sup>ab</sup>	1.42 <sup>bc</sup>	-	
49	73.8 <sup>ab</sup>	24.4 <sup>a</sup>	1.65 <sup>ab</sup>	-	
56	73.4 <sup>bc</sup>	24.1 <sup>ab</sup>	1.92 <sup>a</sup>	-	
63	73.1 <sup>c</sup>	24.9 <sup>a</sup>	1.68 <sup>ab</sup>	-	
p-value	0.005	0.03	0.004	-	
35	74.7 <sup>a</sup>	22.9	2.26 <sup>d</sup>	1.18	Michalczuk <i>et al.</i> (2016)
42	73.9 <sup>b</sup>	22.1	2.41 <sup>c</sup>	1.19	
49	73.9 <sup>b</sup>	22.4	2.78 <sup>b</sup>	1.18	
56	73.5 <sup>c</sup>	22.6	3.45 <sup>a</sup>	1.20	
p-value	0.022	0.232	0.001	0.174	
28	70.62 <sup>a</sup>	21.09 <sup>b</sup>	0.95	2.50	Park and Kim (2021)
30	68.79 <sup>ab</sup>	24.45 <sup>ab</sup>	1.00	2.50	
32	68.85 <sup>ab</sup>	24.42 <sup>ab</sup>	1.01	2.57	
34	68.13 <sup>b</sup>	24.19 <sup>a</sup>	1.11	2.48	
p-value	0.05	0.05	0.05	0.05	

<sup>a, b, c, d</sup> หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในแต่ละแถวแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 อิทธิพลของการเกิดแถบลายสีขาวย่อคุณภาพเนื้อ

### 2.6.1 การเกิดแถบลายสีขาวย่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพ

องค์ประกอบของกล้ามเนื้อที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องมาจากการเสื่อมของเส้นใยกล้ามเนื้อ และการสะสมของไขมันในเนื้อไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวเป็นผลให้คุณภาพเนื้อเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่า pH และค่าสี Gratta *et al.* (2019) ได้ทำการเปรียบเทียบอกไก่ปกติกับอกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวพบว่าค่า  $a^*$  และการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกเพิ่มขึ้นจาก -0.88 เป็น -0.41 และ 22.0 เป็น 23.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ( $p < 0.001$ ) ในขณะที่ค่า pH ค่า  $L^*$  ค่า  $b^*$  และค่าแรงตัดผ่านเนื้อไม่พบความแตกต่างระหว่างเนื้ออกปกติกับเนื้ออกที่เกิดแถบลายสีขาว ( $p > 0.05$ ) ผลการศึกษาของ Petracci *et al.* (2013) พบว่าค่า pH ในอกไก่ที่เกิด WS2 มีค่าสูงกว่าไก่ที่เกิด WS0 และ WS1 ( $p < 0.05$ ) และค่า  $L^*$  ค่า  $b^*$  และการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าแรงตัดผ่านเนื้อลดลง ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 2.9) ค่า pH ที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจเกิดจากการที่ศักยภาพไกลโคไลติก (glycolytic potential) ในเนื้อลดลง เนื่องมาจากการสูญเสียไกลโคเจนจากการใช้กลูโคสที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาว (Soglia *et al.* 2016; Baldi *et al.* 2019) ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดพังผืดในแถบลายสีขาวที่เพิ่มขึ้น และปริมาณของเม็ดสี (heme pigment) ที่เพิ่มขึ้น (Petracci *et al.* 2017) การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกที่เกิดขึ้นนั้นมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสภาพของกล้ามเนื้อและจากการที่กล้ามเนื้อเกิดการเสื่อมสภาพอาจส่งผลทำให้โปรตีนของกล้ามเนื้อเกิดการหดตัวลงอย่างรุนแรง (muscular contractile protein) ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและการจับกับน้ำของเนื้อลดลง และยังส่งผลให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้น (Petracci *et al.* 2013)

ตารางที่ 2.9 การเกิดแถบลายสีขาวย่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพ

trait	Petracci <i>et al.</i> (2013)			Gratta <i>et al.</i> (2019)	
	WS0	WS1	WS2	Non-WS	WS
pH	5.68 <sup>b</sup>	5.88 <sup>b</sup>	5.95 <sup>a</sup>	6.00	6.02
$L^*$	53.81	53.80	53.42	46.3	46.4
$a^*$	1.21 <sup>b</sup>	1.50 <sup>a</sup>	1.77 <sup>a</sup>	-0.88 <sup>b</sup>	-0.41 <sup>a</sup>
$b^*$	2.37 <sup>b</sup>	2.61 <sup>ab</sup>	3.16 <sup>a</sup>	7.28	7.79
drip loss (%)	1.04	1.08	1.06	-	-
cooking loss (%)	21.27 <sup>c</sup>	23.20 <sup>b</sup>	26.74 <sup>a</sup>	22.0 <sup>b</sup>	23.8 <sup>a</sup>
shear force (kg/g)	4.91 <sup>a</sup>	4.41 <sup>a</sup>	3.69 <sup>b</sup>	3.74	3.80

<sup>a, b, c, d</sup> หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในแต่ละแถวแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compo *et al.* (2020) พบว่าค่า pH สูงขึ้นตามระดับความรุนแรงของแถบลายสีขาวยที่เพิ่มขึ้น ( $p=0.018$ ) รวมถึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของเนื้อ โดยเพิ่มค่า  $L^*$  ค่า  $a^*$  ค่า  $b^*$  และค่า  $c^*$  ในขณะที่ค่า  $h^\circ$  ลดลง ( $p<0.05$ ) อีกทั้งยังพบว่าในเนื้อไก่ดิบที่เกิดแถบลายสีขาวยระดับรุนแรงมีการยึดเกาะน้อยที่สุด ( $p=0.001$ ) (ตารางที่ 2.10) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกาเกิดพังผืดที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ส่งผลต่อเส้นใยโปรตีนและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในเนื้อที่เกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อ (Compo *et al.* 2020)

ตารางที่ 2.10 องค์ประกอบทางกายภาพของเนื้อในแต่ระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวย

trait	Degree of WS			p-value
	WS0	WS1	WS2	
pH	5.86 <sup>b</sup>	5.92 <sup>ab</sup>	6.01 <sup>a</sup>	0.018
$L^*$	52.1 <sup>c</sup>	53.1 <sup>b</sup>	54.2 <sup>a</sup>	0.005
$a^*$	-1.74 <sup>b</sup>	-1.36 <sup>a</sup>	-1.17 <sup>a</sup>	0.005
$b^*$	5.00 <sup>c</sup>	5.75 <sup>b</sup>	6.73 <sup>a</sup>	<0.001
$c^*$	5.49 <sup>c</sup>	6.08 <sup>b</sup>	6.93 <sup>a</sup>	<0.001
$h^\circ$	111.3 <sup>a</sup>	104.3 <sup>b</sup>	101.6 <sup>b</sup>	0.002
TPA in raw breast meat				
hardness (N/cm <sup>2</sup> )	11.1	12.8	13.3	0.997
springiness (cm)	0.661	0.703	0.734	0.114
gumminess (N/cm <sup>2</sup> )	4.74	5.25	5.29	0.735
chewiness (N/cm <sup>2</sup> )	3.18	3.74	3.97	0.844
cohesiveness	0.417 <sup>a</sup>	0.404 <sup>ab</sup>	0.385 <sup>b</sup>	0.007

<sup>a, b, c, d</sup> หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) ในแต่ละแถวแนวนอน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Compo *et al.* (2020)

## 2.6.2 การเกิดแถบลายสีขาวยต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

เนื้ออกไก่ถือว่ามีคุณภาพสูงในด้านโภชนาการ เช่น มีโปรตีนสูง ให้พลังงานต่ำ มีปริมาณคอเลสเตอรอลและปริมาณไขมันค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์อื่น แต่การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่เนื่องจากการเกิดแถบลายสีขาวยอาจมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของอกไก่ Petracci *et al.* (2016) พบว่ามีปริมาณของโปรตีนลดลงในขณะที่ปริมาณไขมันสูงขึ้นตามระดับของการเกิดแถบลายสีขาวยที่เพิ่มขึ้น WS0 WS1 และ WS2 ดังแสดงในตารางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 2.11 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mello *et al.* (2021) ที่พบว่าในเนื้ออกไก่ที่เกิด WS2 มีโปรตีนต่ำและมีไขมันสูงกว่าเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ที่เกิด WS0 นอกจากนี้ยังพบว่าในอกไก่ที่เกิด WS2 มีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงกว่าเนื้ออกไก่ที่เกิด WS0 โดยการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อที่เกิดแถบลายสีขาวอาจเกิดจากการเสื่อมของเส้นใยกล้ามเนื้อ ดังรายงานการเปลี่ยนแปลงทางจุลพยาธิวิทยาที่แตกต่างกันตามระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวในไก่กระทรง เช่น การสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อ (lysis of fibers) การสะสมของไขมันและการเกิดพังผืด (Kuttappan *et al.* 2013; Petracci *et al.* 2013; Sihvo *et al.* 2014) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อดังกล่าวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของไขมันในกล้ามเนื้อเช่นเดียวกับปริมาณคอเลสเตอรอลที่สูงขึ้นในเนื้ออกไก่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแถบลายสีขาวในขณะที่ระดับโปรตีนที่ต่ำกว่าอาจเป็นผลทางอ้อมของการเพิ่มการสะสมของไขมันในกล้ามเนื้อ

เนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวในแต่ละระดับความรุนแรงจะมีอัตราส่วนของไขมัน/โปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ที่ปกติ อีกทั้งอัตราส่วนระหว่างคอเลสเตอรอลและโปรตีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาว ที่ระดับรุนแรงและปานกลางเมื่อเทียบกับระดับปกติ (Petracci *et al.* 2016) ดังแสดงในตารางที่ 2.11 โดยการเพิ่มขึ้นนี้หมายความว่าคุณภาพทางโภชนาการของโปรตีนในเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวอาจลดลงเนื่องจากความสามารถในการย่อยของคอเลสเตอรอลที่ต่ำลง และการขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด เช่น ทริปโตเฟน (tryptophan) และไลซีน (lysine) ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Young and Pellett. 1984; Boback *et al.* 2007 อ้างโดย Petracci *et al.* 2016)

## 2.7 อิทธิพลของการเกิดเนื้อแข็งต่อคุณภาพเนื้อ

### 2.7.1 อิทธิพลของการเกิดเนื้อแข็งต่อคุณภาพเนื้อทางกายภาพ

Soglia *et al.* (2019) พบว่าในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งมีค่า pH และค่า b\* สูงขึ้นเมื่อเทียบกับอกไก่ปกติ ซึ่งสอดคล้องกับ Baldi *et al.* (2019) ที่พบว่าอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งมีค่า pH และค่าสีเพิ่มขึ้นมากกว่าอกไก่ปกติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ Gratta *et al.* (2019) พบว่าค่า pH ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งและอกไก่ปกติ ( $p > 0.05$ ) แต่ค่า a\* และค่าการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกเพิ่มขึ้นในอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็ง ( $p < 0.001$ ) ดังแสดงในตารางที่ 2.12 นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยท่านอื่นที่พบว่าค่า a\* ค่า b\* (Petracci *et al.* 2013; Mudalal *et al.* 2015) การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (Trocino *et al.* 2015; Soglia *et al.* 2016) และการสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษา (Soglia *et al.* 2016) เพิ่มขึ้นในอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการที่มีพังผืดเพิ่มมากขึ้นและปริมาณเม็ดสี (heme pigment) ที่ลดลง (Petracci *et al.* 2017) และการเสื่อมสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อและไมโอไฟบริลเป็นผลให้ความสามารถในการกักเก็บน้ำลดลง (Soglia *et al.* 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 องค์ประกอบทางเคมีในเนื้ออกไก่ที่มีระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวต่างกัน

chemical composition	Degree of WS			P-value	reference
	WS0	WS1	WS2		
protein (%)	22.9 <sup>a</sup>	22.2 <sup>b</sup>	20.9 <sup>c</sup>	<0.001	Petracci <i>et al.</i> (2016)
fat (%)	0.78 <sup>c</sup>	1.46 <sup>b</sup>	2.53 <sup>a</sup>	<0.001	
collagen (%)	1.30 <sup>c</sup>	1.37 <sup>b</sup>	1.43 <sup>a</sup>	<0.001	
collagen:protein ratio	0.027 <sup>b</sup>	0.067 <sup>a</sup>	0.118 <sup>c</sup>	<0.001	
fat:protein ratio	5.72 <sup>c</sup>	6.19 <sup>b</sup>	6.73 <sup>a</sup>	<0.001	
protein (%)	22.66 <sup>a</sup>	23.38 <sup>a</sup>	21.47 <sup>b</sup>	0.0001	Mello <i>et al.</i> (2021)
fat (%)	1.60 <sup>b</sup>	2.72 <sup>a</sup>	2.42 <sup>a</sup>	<0.0001	
moist (%)	73.81	73.27	73.89	0.2832	
ash (%)	1.53	1.47	1.42	0.3729	
collagen (%)	0.22 <sup>b</sup>	0.28 <sup>ab</sup>	0.35 <sup>a</sup>	<0.0001	
soluble collagen (%)	0.10 <sup>b</sup>	0.12 <sup>ab</sup>	0.14 <sup>a</sup>	0.0196	
Insoluble collagen (%)	0.12 <sup>b</sup>	0.16 <sup>ab</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.0006	

<sup>a-c</sup> หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในแต่ละแถวแนวนอน

ตารางที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพเนื้อทางกายภาพในอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็ง

Trait	Baldi <i>et al.</i> (2019)		Gratta <i>et al.</i> (2019)		Solia <i>et al.</i> (2019)	
	Normal	WB	Normal	WB	Normal	WB
pH	5.76 <sup>b</sup>	5.87 <sup>a</sup>	6.00	6.05	5.84 <sup>b</sup>	6.05 <sup>a</sup>
L*	54.8 <sup>b</sup>	58.4 <sup>a</sup>	46.3	46.8	55.9	57.6
a*	2.72 <sup>b</sup>	3.41 <sup>a</sup>	-0.88 <sup>b</sup>	-0.43 <sup>a</sup>	1.64	1.73
b*	3.86 <sup>a</sup>	5.66 <sup>b</sup>	7.28	7.77	6.39 <sup>b</sup>	8.05 <sup>a</sup>
cooking loss (%)	-	-	22.0 <sup>b</sup>	26.9 <sup>a</sup>	-	-

จากการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสในอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งที่ระดับความรุนแรงต่างกัน Soglia *et al.* (2016) พบว่าในเนื้อสุกของอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งมีค่าความแข็ง ค่าความเหนียว และค่าแรงการเคี้ยวสูงกว่าอกปกติ ( $p < 0.05$ ) แต่ค่าความยืดหยุ่นและค่าการยืดเกาะไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ในขณะที่ Compo *et al.* (2020) พบว่าในเนื้อดิบของอกไก่ที่เกิด WB2 มีค่าความแข็งและค่าการยืดเกาะสูงสุดเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ที่เกิด WB0 และ WB1 ( $p<0.01$ ) ในขณะที่เนื้อสุกของอกไก่ที่เกิด WB2 กลับมีค่าการยืดเกาะต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับระดับอื่น ( $p<0.05$ ) และมีค่าความแข็ง ค่าการยืดหยุ่น ค่าความเหนียว และค่าแรงการเคี้ยวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 2.13) โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มากขึ้น (Wattanachant *et al.* 2004 อ้างโดย Soglia *et al.* 2016) รวมถึงการเกิดพังผืดในกล้ามเนื้อที่เกิดความผิดปกติ (Baldi *et al.* 2019)

ตารางที่ 2.13 อิทธิพลของการเกิดเนื้อแข็งต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

trait	Soglia <i>et al.</i> (2016)		Compo <i>et al.</i> (2020)		
	normal	WB	Degree of WB		
			WB0	WB1	WB2
raw breast meat					
hardness (N/cm <sup>2</sup> )	-	-	11.3 <sup>b</sup>	12.1 <sup>ab</sup>	12.9 <sup>a</sup>
springiness (cm)	-	-	0.686	0.677	0.678
gumminess (N/cm <sup>2</sup> )	-	-	4.87	5.05	4.93
chewiness (N/cm <sup>2</sup> )	-	-	3.42	3.48	3.35
cohesiveness	-	-	0.423 <sup>a</sup>	0.408 <sup>a</sup>	0.370 <sup>b</sup>
cooked breast meat					
hardness (N/cm <sup>2</sup> )	19.1 <sup>b</sup>	22.1 <sup>a</sup>	12.9	12.9	13.1
springiness (cm)	1.66	1.66	0.563	0.560	0.571
gumminess (N/cm <sup>2</sup> )	52.5 <sup>b</sup>	63.3 <sup>a</sup>	6.76	6.60	6.28
chewiness (N/cm <sup>2</sup> )	89.3 <sup>b</sup>	107.3 <sup>a</sup>	3.81	3.70	3.60
cohesiveness	2.80	2.87	0.515 <sup>a</sup>	0.505 <sup>a</sup>	0.475 <sup>b</sup>

<sup>a-c</sup> หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) ในแต่ละแถวแนวนอน

## 2.7.2 การเกิดเนื้อแข็งต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

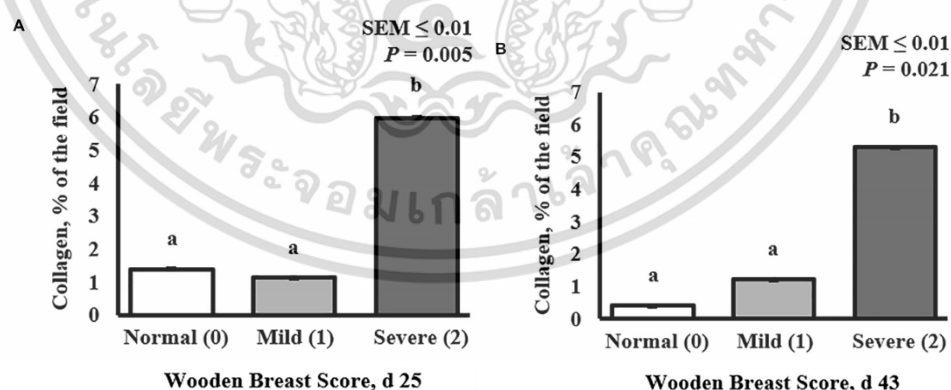
การเกิดเนื้อแข็งมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของอกไก่ซึ่งจากการศึกษาของ Baldi *et al.* (2019) พบว่าเนื้ออกไก่ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดเนื้อแข็งมีปริมาณความชื้น ไขมันและคอลลาเจนมากกว่าเนื้ออกไก่ที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง ในขณะที่ปริมาณเถ้าและโปรตีนลดลงซึ่งสอดคล้องกับ

การศึกษาของ Soglia *et al.* (2016) ที่ได้ผลการศึกษาเช่นเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 2.14 โดยการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่ที่เกิดเนื้อแข็งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้ามเนื้อซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของกล้ามเนื้อและมีการสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น (regeneration) Ferreira *et al.* (2020) พบว่ากล้ามเนื้ออกไก่ที่เกิด WB2 จะมีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากกว่าอกไก่ที่เกิด WB0 และ WB1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ที่อายุ 25 วันและ 43 วัน ดังภาพที่ 2.9 ซึ่งปริมาณคอลลาเจนที่สูงขึ้นอาจเกี่ยวข้องกับการสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อและการแทนที่ของกล้ามเนื้อด้วยเนื้อเยื่อคอลลาเจน (collagenous tissue) เนื่องมาจากการสังเคราะห์คอลลาเจนที่เพิ่มขึ้นในเนื้อไก่ที่เกิดเนื้อแข็ง (Maharjan *et al.* 2020)

ตารางที่ 2.14 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็ง

chemical composition	Soglia <i>et al.</i> (2016)		Baldi <i>et al.</i> (2019)	
	normal	WB	normal	WB
moist (%)	74.1 <sup>b</sup>	75.3 <sup>a</sup>	75.0 <sup>b</sup>	77.1 <sup>a</sup>
protein (%)	22.8 <sup>a</sup>	21.4 <sup>b</sup>	22.9 <sup>a</sup>	20.5 <sup>b</sup>
fat (%)	0.87 <sup>b</sup>	1.25 <sup>a</sup>	1.51 <sup>b</sup>	2.12 <sup>a</sup>
ash (%)	1.37 <sup>a</sup>	1.26 <sup>b</sup>	1.58 <sup>a</sup>	1.26 <sup>b</sup>
collagen (%)	1.09 <sup>b</sup>	1.18 <sup>a</sup>	-	-



ภาพที่ 2.9 ปริมาณคอลลาเจนในอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งที่ระดับความรุนแรงต่างกัน ในไก่อายุ 25 และ 43 วัน

ที่มา : Ferreira *et al.* (2020)

## 2.8 ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ (myogenic gene)

### 2.8.1 Myogenic differentiation (MyoD1)

ยีน Myogenic differentiation (MyoD1) เป็นยีนที่อยู่ในวงศ์ (family) ของกลุ่ม Myogenic regulatory factors (MRFs) ที่มีการแสดงออกของยีนในเซลล์ตั้งต้นของกล้ามเนื้อลาย (myoblasts) และเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle tissue) เพียงเท่านั้น (Davis *et al.* 1987; Rudnicki *et al.* 1993) ซึ่ง MyoD1 มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการสร้างกล้ามเนื้อ (regulating muscle) และเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ควบคุมการสร้างกล้ามเนื้อลายจึงมีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตในสัตว์ (ผกาแก้ว ทาระเกตและคณะ. 2563) ซึ่งอยู่บนโครโมโซมที่ 5 มีขนาด 4.2 kilobase (kb) ประกอบด้วย 3 แอ็กซอน (exon) และ 2 อินตรอน (intron)

### 2.8.2 Myogenin

ยีน Myogenin ทำให้เกิดการถอดรหัส (transcription factor) ที่มีความจำเพาะต่อกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถกระตุ้นให้เกิดการสร้างกล้ามเนื้อ (myogenesis) และมีความจำเป็นต่อการพัฒนากล้ามเนื้อลายและมีความจำเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยกล้ามเนื้อ โครงร่างของตัวอ่อน (embryonic skeletal fiber muscle differentiation) ทั้งยังมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ (muscle differentiation) ในวงจรเซลล์ (cell cycle) และการฝ่อของกล้ามเนื้อ (muscle atrophy) นอกจากนี้ยีน Myogenin ยังเป็นยีนที่ทำงานร่วมกับยีน MyoD1 ในระหว่างที่เกิดการสร้างกล้ามเนื้อ

### 2.8.3 Myostatin (MSTN)

ยีน Myostatin (MSTN) หรือ growth and differentiation factor 8 (GDF-8) เป็นยีนที่สร้างโปรตีน Myostatin ซึ่งเป็นโปรตีนที่ผลิตและปล่อยออกมาโดยเซลล์กล้ามเนื้อ (myocytes) ซึ่งทำหน้าที่ในการยับยั้งกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อไม่ให้กล้ามเนื้อเติบโตมากเกินไป สามารถพบได้เฉพาะในกล้ามเนื้อ โครงร่างหรือกล้ามเนื้อลายในสัตว์มีกระดูกสันหลังหลากหลายสายพันธุ์ (Karim *et al.* 2000; McCroskery *et al.* 2003 อ้างโดย Ye *et al.* 2007) จัดเป็นยีนที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมสูง (polymorphic) (Ye *et al.* 2007) และมีการแสดงออกของยีนในช่วงระหว่างการพัฒนาตัวอ่อนของไก่ทุกสายพันธุ์ โดยการแสดงออกของยีนจะค่อนข้างสูงในช่วงตัวอ่อนที่อายุ 10 ถึง 15 วันหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มของการแสดงออกของยีนลดลงเพราะมีกระบวนการสร้างกล้ามเนื้อมากขึ้น (Dushyanth *et al.* 2016) การกลายพันธุ์ของยีน MSTN ทำให้เกิดลักษณะของกล้ามเนื้อสองชั้น (double-muscling phenotype) โดยเฉพาะในวัวและแกะ รวมถึงในไก่ สุกร ม้า และแพะได้อีกด้วย (Taweechue *et al.* 2014) สัตว์ที่ขาด MSTN หรือได้รับสารที่ขัดขวางการทำงานของ MSTN มี

มวลกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้บุคคลที่มีการกลายพันธุ์ในยีน MSTN จะมีมวล  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษา เมื่อผู้เผยแพร่เห็นชอบจะเผยแพร่เอกสารนี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้ามเนื้อมากกว่าปกติและแข็งแรงกว่าปกติ ซึ่งทั้ง McPherron *et al.* (1997) และ Dushyanth *et al.* (2016) พบว่าการทดลองในหนูที่ไม่มียีน *MSTN* มีน้ำหนักกล้ามเนื้อมากกว่าหนูที่มียีน *MSTN* 2 ถึง 3 เท่า การเกิดจุดกลายพันธุ์ในยีน *MSTN* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแรกเกิด น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์เนื้ออกและเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องในไก่ โดยมีน้ำหนักแรกเกิด น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์เนื้ออกและเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องเพิ่มมากขึ้นเมื่อมียีน *MSTN* เพิ่มขึ้น (Gu *et al.* 2004 อ้างโดย Ye *et al.* 2007) รวมถึงมีผลต่อการเจริญเติบโต เปอร์เซ็นต์ตอกและอัตราการตายในไก่ โดยพบว่าไก่ มีน้ำหนักตัวและเปอร์เซ็นต์ตอกเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราการตายลดลงในช่วยอายุ 14 ถึง 40 วัน (Ye *et al.* 2007) นอกจากนี้ Zhang *et al.* (2011) ยังพบว่าการกลายพันธุ์ของ *MSTN* ที่ตำแหน่ง G2283A ในแอ็กซอน 1 ทำให้น้ำหนักตัวของไก่เพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 6 ถึง 18 สัปดาห์

#### 2.8.4 Decorin

ยีน Decorin เป็นยีนที่สร้างโปรตีนที่ชื่อว่า Decorin ซึ่งเป็นโปรตีนกลุ่มโปรติโอไกลแคน (proteoglycan) ที่มีความเกี่ยวข้องกับคอลลาเจน และเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและสารประกอบที่อยู่ภายนอกเซลล์ (extracellular matrix; ECM) จึงสามารถพบได้ใน ECM ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน รวมไปถึงผิวหนัง เอ็น กระดูก และกระดูกอ่อน (Scott and Orford. 1981; Poole *et al.* 1986 อ้างโดย Groshong and Blevins. 2014) Decorin มีส่วนช่วยในการสร้างคอลลาเจนโดยทำให้เส้นใยคอลลาเจนมีขนาดเท่ากันและมีความสม่ำเสมอกันระหว่างช่องว่างของแต่ละเส้นใย (Rühland *et al.* 2007) และยังสามารถจับและควบคุมการสร้างเส้นใยของคอลลาเจนชนิดที่ I, II และ VI โดยเป็นตัวกลางของการครอสลิงค์ของคอลลาเจน (Zhu *et al.* 2008)

#### 2.8.5 Transforming growth factor $\beta$ (TGF- $\beta$ )

ยีน Transforming growth factor  $\beta$  (TGF- $\beta$ ) เป็นยีนที่สร้างโปรตีน TGF- $\beta$  ซึ่งเป็นโปรตีนกลุ่ม Cytokine ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ การพัฒนาของตัวอ่อนและขบวนการเกิดเอ็มบริโอ (embryogenesis) (Sanders and Wride. 1997; Jakowlew *et al.* 1991 อ้างโดย Amirinia *et al.* 2011) มีทั้งหมด 4 กลุ่มคือ TGF- $\beta$ 1 TGF- $\beta$ 2 TGF- $\beta$ 3 และ TGF- $\beta$ 4 (Burt and Law. 1994 อ้างโดย Amirinia *et al.* 2011) ซึ่งในไก่นิย TGF- $\beta$  ตั้งอยู่บนโครโมโซมที่ 5 ประกอบด้วย 7 แอ็กซอนและ 6 อินตรอน ขนาดประมาณ 16 kb (Amirinia *et al.* 2011) Li *et al.* (2003) รายงานว่าความหลากหลายของรูปแบบจีโนไทป์ (genotype) ของยีน TGF- $\beta$ 3 มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวที่อายุ 6 และ 8 สัปดาห์ และเปอร์เซ็นต์ไขมันช่องท้องของไก่ โดยพบว่าที่จีโนไทป์ BB ซึ่งเป็นจีโนไทป์ที่แสดงลักษณะของไก่กระทง (broiler allele) มีน้ำหนักตัวมากกว่าจีโนไทป์ LL ซึ่งเป็นจีโนไทป์ที่แสดงลักษณะ

ของไก่พันธุ์เล็กฮอร์น (Leghorn allele) ในไก่ที่อายุ 6 และ 8 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังพบว่าในไก่ที่ช่วง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาเว็บไซต์นี้พบข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งที่ [webmaster@kmutt.ac.th](mailto:webmaster@kmutt.ac.th) หรือ โทร. 02-426-1000

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุ 4-6 และ 6-8 สัปดาห์มีอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (average daily gain; ADG) ในจินโทป BB สูงกว่าจินโทป LL และมีเปอร์เซ็นต์ของไขมันในช่องท้องที่จินโทป BB สูงกว่าจินโทป LL นอกจากนี้ Amirinia *et al.* (2011) ยังพบว่าความหลากหลายของรูปแบบจินโทปของยีน TGF- $\beta$ 3 ส่งผลต่อน้ำหนักเนื้ออก น้ำหนักไขมันช่องท้อง น้ำหนักปีก เปอร์เซ็นต์ซาก เปอร์เซ็นต์น่อง และ เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโครงในไก่เนื้อด้วย โดยพบว่าในจินโทป AA ซึ่งเป็นจินโทปที่แสดง ลักษณะของไก่ที่ให้ผลผลิตเนื้อต่ำมีน้ำหนักเนื้ออกและน้ำหนักไขมันช่องท้องน้อยกว่าจินโทป BB ซึ่งเป็นจินโทปที่แสดงลักษณะของไก่ที่ให้ผลผลิตเนื้อสูง ในขณะที่น้ำหนักปีกกลับพบว่าในจินโทป AA มากกว่าจินโทป BB และมีเปอร์เซ็นต์ซาก เปอร์เซ็นต์น่อง และเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโครงในจินโทป AA น้อยกว่าจินโทป BB

## 2.9 ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อต่อการเกิดเนื้อแข็ง และแถบลายสีขาว

Velleman and Clark (2015) ทำการทดลองในไก่กระทง 3 สายพันธุ์ (line) โดยที่สายพันธุ์ A และสายพันธุ์ B เป็นไก่กระทงสายพันธุ์ที่โตเร็วซึ่งมักมีปัญหาการเกิดเนื้อแข็ง ส่วนสายพันธุ์ C เป็นไก่กระทงสายพันธุ์ที่โตช้าซึ่งไม่พบปัญหาการเกิดเนื้อแข็ง ผลการศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อพบว่ากลุ่มไก่ที่เกิดเนื้อแข็งของสายพันธุ์ A มีปริมาณการแสดงออกของยีน MYOD1 Myogenin Decorin Myostatin และ TGF- $\beta$  สูงกว่าไก่ที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง ในสายพันธุ์ A และสายพันธุ์ C ส่วนไก่สายพันธุ์ B นั้นพบว่ามีเพียงปริมาณการแสดงออกของยีน Myogenin ของไก่ที่เกิดเนื้อแข็งที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง นอกจากนี้ยังพบว่าในไก่กลุ่มที่เกิดเนื้อแข็งของสายพันธุ์ B มีปริมาณการแสดงออกของยีนทุกตัวยกเว้น Myostatin ที่มีปริมาณสูงกว่าสายพันธุ์ C ดังแสดงในตารางที่ 2.15 ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ MYOD1 Myogenin Decorin Myostatin และ TGF- $\beta$  มีสหสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเนื้อในส่วนของการเสื่อมสลายของเส้นใย (fiber necrosis) การสะสมของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (fibrosis) การแทรกซึมของเม็ดเลือดขาว (Macrophage infiltration) ปริมาณคอลลาเจน (collagen content) และองค์ประกอบของลักษณะของการเกิดเนื้อแข็ง (Composite WB score) ดังแสดงในตารางที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.15** ปริมาณการแสดงออกของยีนของไก่สามสายพันธุ์ที่ได้รับผลกระทบ หรือไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดเนื้อแข็ง (WB<sup>A</sup>)

	line A		line B		line C
	WB	non-WB	WB	non-WB	non-WB
n <sup>B</sup>	42	19	5	2	20
MYOD1	16.3±0.8 <sup>a</sup>	7.3±1.2 <sup>bc</sup>	12.1±2.3 <sup>ab</sup>	10.9±3.6 <sup>bc</sup>	6.0±1.1 <sup>c</sup>
Myogenin	19.4±1.4 <sup>a</sup>	2.7±2.1 <sup>b</sup>	19.7±4.0 <sup>a</sup>	3.6±6.3 <sup>b</sup>	1.4±2.0 <sup>b</sup>
Decorin	43.1±2.8 <sup>a</sup>	6.6±4.2 <sup>c</sup>	25.8±8.2 <sup>b</sup>	3.9±13.0 <sup>bc</sup>	1.6±4.1 <sup>c</sup>
Myostatin	22.7±1.5 <sup>a</sup>	12.0±2.2 <sup>b</sup>	16.2±4.3 <sup>ab</sup>	16.1±6.8 <sup>ab</sup>	7.3±2.1 <sup>b</sup>
TGF-β	5.4±0.3 <sup>a</sup>	2.3±0.5 <sup>bc</sup>	4.2±1.0 <sup>ab</sup>	1.6±1.5 <sup>bc</sup>	1.2±0.5 <sup>c</sup>

A กำหนดค่าความแตกต่างโดยค่าเฉลี่ย±SEM ในแต่ละแถวกำหนดความแตกต่างโดยใช้ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) B จำนวนของสัตว์ในแต่ละกลุ่ม  
ที่มา : Velleman and Clark (2015)

**ตารางที่ 2.16** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สำหรับลักษณะทางจุลพยาธิวิทยา และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

	Fiber necrosis	Fibrosis	Macrophage infiltration	Collagen content	Composite WB score <sup>A</sup>
MYOD1					
Pearson <sup>B</sup>	0.54	0.72	0.73	0.65	0.73
P <sup>C</sup>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Myogenin					
Pearson	0.47	0.75	0.73	0.69	0.73
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Decorin					
Pearson	0.49	0.78	0.76	0.74	0.77
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Myostatin					
Pearson	0.27	0.53	0.53	0.50	0.52
P	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้าง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.16 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สำหรับลักษณะทางจุลพยาธิวิทยา และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

	Fiber necrosis	Fibrosis	Macrophage infiltration	Collagen content	Composite WB score <sup>A</sup>
TGF- $\beta$					
Pearson	0.42	0.68	0.70	0.65	0.68
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

<sup>A</sup> Composite WB score = fiber necrosis score + fibrosis score + macrophage infiltration score + collagen content score

<sup>B</sup> ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันสำหรับการเปรียบเทียบคะแนนทางจุลพยาธิวิทยา และยีนแต่ละตัว

<sup>C</sup> ค่า P-value ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

ที่มา : Velleman and Clark (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 สัตว์ทดลอง

ในการทดลองใช้ไก่กระตงเพศผู้พันธุ์ Ross 308 ทั้งหมด 181 ตัว โดยไก่ทุกตัวถูกเลี้ยงในฟาร์มที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนแบบระบบปิด มีระบบควบคุมอุณหภูมิโดยวิธีการระเหยของน้ำ (evaporative cooling system) และได้รับอาหารเหมือนกันทุกตัวตลอดการเลี้ยง มีน้ำให้กินตลอดเวลาและได้รับการจัดการเลี้ยงดูตามมาตรฐานของบริษัท ศูนย์วิจัยสัตว์กรุงเทพฯ จำกัด และทำการฆ่าไก่ 56 ตัว เมื่ออายุ 43 วัน และที่เหลือ 125 ตัว ทำการฆ่าเมื่ออายุ 51 วัน เพื่อศึกษาคุณภาพเนื้อ องค์ประกอบทางเคมี และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

### 3.2 อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลอง

อาหารที่ใช้เลี้ยงไก่กระตง คือ อาหารที่มีระดับโปรตีนในอาหารของไก่กระตงเพศผู้ตามข้อกำหนด NRC (1994) โดยใช้ข้าวโพด และกากถั่วเหลืองเป็นหลัก (ตารางที่ 3.1)

### 3.3 อุปกรณ์และสารเคมี

#### 3.3.1 อุปกรณ์

##### 3.3.1.1 อุปกรณ์ในการวัดคุณภาพเนื้อทางกายภาพ

- 1) เครื่องวัดสี (MiniScan EZ ; Hunterlab, USA)
  - 2) เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และวัดอุณหภูมิของเนื้อ (pH meter Model SG2 ; Metler-Toledo SevenGo™, China)
  - 3) ถูงพลาสติก
  - 4) มีดสำหรับตัดแต่ง และเขียงพลาสติก
  - 5) เครื่องชั่งแบบดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ML802, Metter Toledo, Switzerland)
  - 6) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath Model WNE 45; Memmert, Germany)
  - 7) เครื่องวัดอุณหภูมิ (4 Channels Thermometer Model TM-1947SD; Lutron, Taiwan)
  - 8) เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyser Model EZSX; Shimadzu, Japan)
- พร้อมหัววัด Warner Blatzer's Shear สำหรับวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และหัววัด 36 mm diameter cylindrical jig สำหรับวัดเนื้อสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สูตรอาหารที่ใช้ในการทดลอง

item	Starter (0-10 days)	Grower (10-24 days)	Finisher (24-50 days)
Ingredients (%)			
Corn	51.46	56.63	61.66
Soybean meal, 48 %CP	39.46	34.05	28.67
Soybean oil	4.07	4.66	5.28
Mono-Di-Ca-P	1.77	1.60	1.43
Limestone (CaCO <sub>3</sub> )	1.33	1.20	1.12
Salt (NaCl)	0.35	0.35	0.35
DL-Methionine	0.34	0.31	0.29
Premix Blank	0.20	0.20	0.20
L-Lys-HCl	0.17	0.17	0.18
Sodium bicarbonate	0.10	0.10	0.11
L-threonine	0.11	0.09	0.09
Choline Chloride 60%	0.10	0.09	0.10
Pellet binder (Pelex Dry)	0.30	0.30	0.30
Cocidiostat (sacox)	0.05	0.05	0.05
Antimold (Propimpex)	0.20	0.20	0.20
Nutrient and energy level (% calculated)			
Protein	23.42	21.22	19.04
Crude fiber	3.53	3.32	3.11
Fat	6.76	7.44	8.15
ME (kcal/kg)	3000.00	3100.00	3200.00
Calcium	0.96	0.87	0.79
Total Phosphorus	0.77	0.71	0.65
Available Phosphorus	0.48	0.44	0.40
Lysine	1.41	1.26	1.13
Methionine+cyctein	1.04	0.95	0.87
Threonine	0.99	0.89	0.80
Tryptophane	0.28	0.25	0.22

ที่มา: NRC (1994)

### 3.3.1.2 อุปกรณ์ในการวัดคุณภาพเนื้อทางเคมี (proximate analysis)

#### 1) อุปกรณ์ในการหาปริมาณเถ้า

- (1) เตาเผา
- (2) ถ้วยเผาพร้อมฝา
- (3) เครื่องชั่งแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ML802; Metter Toledo, Switzerland)
- (4) โถดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้น
- (5) คีมคีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) อุปกรณ์ในการหาปริมาณความชื้น

- (1) ตู้อบ
- (2) โถดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้น
- (3) ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (moisture can)
- (4) ทรายบริสุทธิ์
- (5) กระดาษฟรอย
- (6) คีมคีบ
- (7) เครื่องชั่งแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ML802; Metter Toledo, Switzerland)

## 3) อุปกรณ์ในการหาปริมาณโปรตีน

- (1) หลอดแก้ววิเคราะห์โปรตีน (Kjeldahl flask)
- (2) เครื่องย่อย (Speed digester Model K-439; Buchi, Thailand)
- (3) เครื่องกลั่น (Distillation Unit Model B-324; Buchi, Thailand)
- (4) ขาดัง และบิวเรตสำหรับไทเทรตสารละลาย
- (5) ขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร
- (6) กระจกบอกลวขนาด 25 100 และ 300 มิลลิลิตร
- (7) น้ำกลั่น
- (8) บีกเกอร์
- (9) glass bead or boiling chip
- (10) เครื่องชั่งแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ML802; Metter Toledo, Switzerland)

## 4) อุปกรณ์ในการหาปริมาณไขมัน

- (1) กระดาษกรอง (ST61A0110; filtraTECH, France)
- (2) ทรายบริสุทธิ์
- (3) ตู้อบ (Oven)
- (4) โถดูดความชื้น
- (5) บีกเกอร์วิเคราะห์ไขมัน
- (6) Thimble
- (7) Petroleum Ether (RCI Labscan, Thailand)
- (8) เครื่องสกัดไขมัน (Gerhardt analytical system Model Sox 416; Königswinter, Germany)
- (9) คีมคีบเฉพาะสำหรับบีกเกอร์สกัดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(10) เครื่องชั่งแบบดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ML802; Metter Toledo, Switzerland)

### 3.3.1.3 อุปกรณ์ในการหารปริมาณคอลลาเจน

- 1) เครื่องชั่งแบบดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ML802; Metter Toledo, Switzerland)
- 2) เครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วสูง (Homogenizer Model T25 digital Ultra-Turrax® ; Ika, Germany) พร้อมหัวปั่น (Dispersing tool Model S 25 N-8G; Ika, Germany)
- 3) หลอดทดลอง
- 4) หลอดฝาเกลียวขนาด 50 มิลลิลิตร
- 5) หลอดก้นกลมขนาด 20 มิลลิลิตร
- 6) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath Model WNE 45; Memmert, Germany)
- 7) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Scanspeed-Centrifuge Model 1580R; Labogene, Denmark)
- 8) Microplate (Maxisorp, Nunc TM )
- 9) กระดาษกรอง (ST61A0110; filtraTECH, France) เบอร์ 111
- 10) เครื่อง microplate reader (iMark TM; BioRad, USA)

3.3.1.4 อุปกรณ์สำหรับหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ ต่อการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวโดยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์ (Real-time PCR)

- 1) อุปกรณ์สำหรับสกัดอาร์เอ็นเอ
  - (1) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius; Basic, Germany)
  - (2) เครื่องบดละเอียด (Moulinex; Minipimer MR 430 HC, France)
  - (3) เครื่องปั่นผสมด้วยความเร็วสูง (Homogenizer Model T25 digital Ultra-Turrax® ; Ika, Germany) พร้อมหัวปั่น (Dispersing tool Model S 25 N-8G; Ika, Germany)
  - (4) เครื่องปั่นเหวี่ยง Centrifuge (Labogene; Scanspeed 1580R, Denmark)
  - (5) หลอดพลาสติก
  - (6) หลอดใส่สาร (Eppendorf tube) ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
  - (7) ไมโครปิเปต (Micropipett; Thermo Scientific)
  - (8) เครื่องผสมสาร (Vortex mixer, Labnet, USA)
  - (9) เครื่อง Spectrophotometer (Bio-Rad, USA)
  - (10) คิวเวทท์ (Cuvette)
- 2) อุปกรณ์สำหรับการสลายดีเอ็นเอ (Dnase Step)
  - (1) หลอดใส่สาร (Eppendorf tube) ขนาด 200 ไมโครลิตร
  - (2) ไมโครปิเปต (Micropipett; Thermo Scientific)
  - (3) เครื่องผสมสาร (Vortex mixer, Labnet, USA)
  - (4) เครื่อง Thermal Cycler (Bio-Rad, USA)
  - (5) เครื่องปั่นเหวี่ยง Centrifuge (Labogene; Scanspeed 1580R, Denmark)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) อุปกรณ์สำหรับหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อต่อการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวด้วยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์ (Real time PCR)

- (1) หลอดใส่สาร (Eppendorf tube) ขนาด 200 ไมโครลิตร
- (2) ไมโครปิเปต (Micropipett; Thermo Scientific)
- (3) เครื่องผสมสาร (Vortex mixer, Labnet, USA)
- (4) เครื่องปั่นเหวี่ยง Centrifuge (Labogene; Scanspeed 1580R, Denmark)
- (5) เครื่องพีซีอาร์ Bio-Rad CFX96 system (Bio-Rad, USA)

### 3.3.2 สารเคมี

#### 3.3.2.1. สารเคมีสำหรับหาปริมาณโปรตีน

- 1) 98% Sulfuric acid (Conc.  $H_2SO_4$ ; Ajax finechem, Australia)
- 2) Copper sulfate ( $CuSO_4$ ; Merck, Germany)
- 3) Potassium sulfate ( $K_2SO_4$ ; Merck, Germany)
- 4) 32% Sodium hydroxide (NaOH; Ajax finechem, Australia)
- 5) 0.1 N Sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ; Ajax finechem, Australia)
- 6) 4% Boric acid ( $H_3BO_3$ ; Rci labscan, Thailand)
- 7) Hydrochloric acid (HCl; Merck, Germany)
- 8) Methyl red
- 9) Bromocresol green

#### 3.3.2.2. สารเคมีสำหรับหาปริมาณคอเลสเตอรอล

- 1) Sodium chloride (NaCl; Univer, Australia)
- 2) Calcium chloride ( $CaCl_2$ ; Merck, Germany)
- 3) Potassium chloride (KCl; Merck, Germany)
- 4) Sodium hydroxide (NaOH; Ajax finechem, Australia)
- 5) 0.2% Methyl red
- 6) Hydrochloric acid (HCl; Merck, Germany)
- 7) Activated carbon

3.3.2.3 สารเคมีสำหรับหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อต่อการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวด้วยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์ (Real-time PCR)

- 1) สารเคมีสำหรับการสกัดอาร์เอ็นเอ
  - (1) Trizol (Invitrogen, Karlsruhe, Germany)
  - (2) Chloroform ( $CHCl_3$ ; RCI labscan, USA)
  - (3) Sodium chloride (NaCl; Ajax finechem, Australia)
  - (4) Ethanol ( $CH_2OH$ ; Merck kGaA, Germany)
  - (5) Rnase free water (Thermo scientific, USA)

2) สารเคมีสำหรับละลายดีเอ็นเอ (Dnase Step)

- (1) 10X reaction buffer with  $MgCl_2$  (Thermo scientific, USA)
- (2) Ribolock 1 unit
- (3) DEPC water (Thermo scientific, USA)
- (4) EDTA
- (5) Dnase I (Thermo scientific, USA)

3) สารเคมีสำหรับหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อต่อการเกิดเนื้อแข็งด้วยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์

- (1) random primer (BIO-RAD, USA)
- (2) Nuclease free water (BIO-RAD, USA)
- (3) First strand 5X reaction buffer (BIO-RAD, USA)
- (4) Deoxynucleoside triphosphate (DNTP; BIO-RAD, USA)
- (5) Revert Aid reverse transcriptase (BIO-RAD, USA)
- (6) Ribolock Rnase inhibitor (BIO-RAD, USA)
- (7) SYBR Green (SensiFast™ SYBR, BIOLINE)

### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 การฆ่าและเก็บตัวอย่างเนื้อไก่กระທง

เมื่อไก่กระທงมีอายุครบ 43 และ 51 วันนำไก่เข้ามา โดยทำการอดอาหารเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง นำเข้ามาที่โรงฆ่าไก่บริษัท ศูนย์วิจัยสัตว์กรุงเทพ จำกัด (BARC) โดยทำการเก็บข้อมูลดังนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักไก่มีชีวิตก่อนเข้ามา หลังทำการอดอาหารเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 2) ไก่จะถูกทำสลับด้วยการรมแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ความเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 10-20 วินาที หลังจากไก่สลับจะปาดคอ แล้วให้เลือดไหลออกจากตัวไก่ 2-5 นาที
- 3) ล้างซากไก่เพื่อล้างเลือดออก แล้วลวกซากในถังลวกที่มีน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 58-60 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นนำไก่ที่ผ่านการลวกซากแล้วเข้าเครื่องถอนขน
- 4) ล้างซากแล้วแช่ซากในถังน้ำแข็งเพื่อลดอุณหภูมิซากก่อนผ่าซากเพื่อเอาเครื่องในออก จากนั้นจึงทำการล้างซากก่อนนำซากแช่ในถังน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส ประมาณ 15 นาที แล้วนำซากไก่ไปแช่ในถังเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาทีก่อนนำมาทำการตัดแต่งซากต่อไป
- 5) ทำการตัดแต่งชิ้นส่วนไก่ดังนี้ อก ปีก สะโพก น่อง ชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนจากการตัดแต่งแล้วนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วน

##### 3.4.1.1 การเก็บตัวอย่างเนื้อเพื่อศึกษาด้านคุณภาพเนื้อ

ในการเก็บตัวอย่างเนื้อเพื่อศึกษาด้านคุณภาพเนื้อได้ทำการเลือกตัวอย่างจากการประเมินและแบ่งกลุ่มระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งระดับละ 6 ตัวอย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเก็บตัวอย่างกล้ามเนื้ออกภายหลังสัตว์ตายประมาณ 1 ชั่วโมง โดยยกด้านซ้ายนำมาหั่นแบ่งเป็น 3 ชั้น ดังภาพที่ 3.1 ชั้นที่ 1 หั่นจากด้านหัวหนา 3 เซนติเมตร เก็บในถุงพลาสติก HD (high density polyethylene) แล้วนำตัวอย่างแช่ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปศึกษาหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อต่อไป ชั้นที่ 2 หนา 1.5 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์การสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษา ชั้นที่ 3 คือเนื้อตัวอย่างที่เหลือเก็บในถุงพลาสติก HD จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพเนื้อทางเคมี โดยวิเคราะห์โปรตีน ไขมัน เกล็ด ความชื้น และปริมาณคอลลาเจน ออกด้านขวาของไก่ นำมาวัดค่าสี ค่าความเป็นกรด-ด่าง และประเมินคะแนนการเกิดแถบลายสีขาและการเกิดเนื้อแข็งจากนั้นเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 2 ถึง 4 องศาเซลเซียสไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงก่อนมาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และเนื้อสัมผัส โดยตำแหน่งที่ทำการวัดดังรายละเอียดในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างเนื้ออกไก่เพื่อนำไปวิเคราะห์

### 3.4.2 ประเมินการเกิดแถบลายสีขาและเนื้อแข็ง

โดยทำการประเมินตามหลักเกณฑ์เพื่อให้คะแนนการเกิดแถบลายสีขาและการเกิดเนื้อแข็ง โดยตัดแปลงเล็กน้อยจากเกณฑ์การประเมินของ Kuttappan *et al.* (2016) และ Tijare *et al.* (2016) ดังนี้

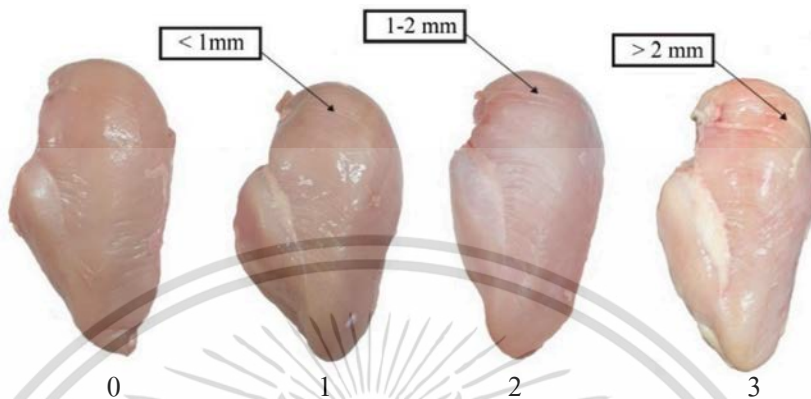
(1) เกณฑ์การประเมินการเกิดแถบลายสีขาแบ่งออกเป็น 4 ระดับ (ภาพที่ 3.2) (Kuttappan *et al.* 2016)

- normal (score 0, WS0) ไม่มีเส้นสีขาเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

- mild (score 1, WS1) มีเส้นสีขาเกิดขึ้นขนานกับเส้นใยกล้ามเนื้อและมีความหนาน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- moderate (score 2, WS2) มีเส้นสีขาวเกิดขึ้นขนานกับเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความหนา 1-2 มิลลิเมตร
- severe (score 3, WS3) มีเส้นสีขาวเกิดขึ้นขนานกับเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีความหนา มากกว่า 2 มิลลิเมตร



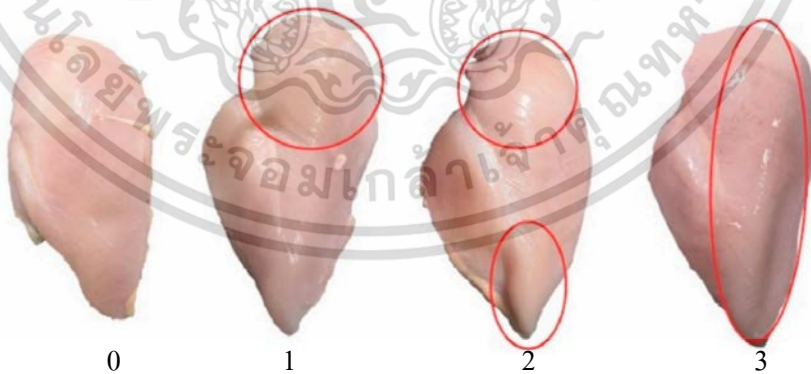
ภาพที่ 3.2 ระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาว:

0 = normal 1 = mild 2 = moderate 3 = severe

ที่มา : Khalil *et al.* (2021)

(2) เกณฑ์การประเมินการเกิดเนื้อแข็งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ (ภาพที่ 3.3) (Tijare *et al.* 2016)

- normal (score 0, WB0) ไม่เกิดลักษณะแข็ง
- mild (score 1, WB1) แข็งและนูนขึ้นบริเวณส่วนหัว
- moderate (score 2, WB2) แข็งและนูนขึ้นบริเวณส่วนหัวและท้าย
- severe (score 3, WB3) แข็งและนูนขึ้นตั้งแต่ส่วนหัวถึงส่วนท้าย



ภาพที่ 3.3 ระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็ง:

0 = normal 1 = mild 2 = moderate 3 = severe

ที่มา : Khalil *et al.* (2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การศึกษาคุณภาพเนื้อไก่กระทรงทางกายภาพ

#### 3.4.3.1 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

วัดค่าความเป็นกรด-ด่างบริเวณส่วนของอกด้านขวา โดยทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง และที่ 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตาย โดยใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Mettler Toledo; SevenGoTM pH meter SG2, China)

#### 3.4.3.2 ค่าสีของเนื้อ (color)

ทำการวัดสีเนื้อออกไก่หลังปล่อยให้สัมผัสอากาศที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยทำการวัดหลังจากสัตว์ตายประมาณ 3 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องวัดสีของเนื้อ (MiniScan EZ, Hunterlab, USA)

#### 3.4.3.3 วิเคราะห์การสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษา (drip loss)

ชั่งน้ำหนักเนื้อตัวอย่างและนำไปแขวนไว้ในถุงพลาสติก โดยไม่ให้เนื้อโดนถุงพลาสติกจากนั้นนำไปแขวนไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 2-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง หาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษา

#### 3.4.3.4 การวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ และการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก

1) นำตัวอย่างเนื้อออกมาทำการตัดแต่งโดยทำการเลาะไขมันออก ตัดส่วนหัวออก ขนาด 3 เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส นำตัวอย่างที่ตัดส่วนหัวออกไปชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นน้ำหนักก่อนต้ม จากนั้นบรรจุตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก

2) นำตัวอย่างลงไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิใจกลางเนื้อ เมื่ออุณหภูมิใจกลางเนื้อถึง 70 องศาเซลเซียส จึงนำออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ลดอุณหภูมิตัวอย่างโดยเปิดน้ำไหลผ่าน

3) นำตัวอย่างออกจากถุงพลาสติกนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นน้ำหนักหลังต้ม แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (Cooking loss)

4) ใช้มีดตัดตัวอย่างที่ต้มเสร็จให้มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (1 x 2 x 1 เซนติเมตร) แล้วนำตัวอย่างไปตัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Model EZSX, Shimadzu, Japan) ใช้หัววัด Warner Blatzer Shear speed 50 mm/min

#### 3.4.2.5 การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส (texture profile analysis)

ตัดตัวเนื้อดิบจากส่วนหัว และเนื้อต้มสุกให้มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (1.5 x 1.5 x 1.5 เซนติเมตร) แล้วนำตัวอย่างไปตัดด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Model EZSX, Shimadzu, Japan) ใช้หัววัด 36 mm diameter cylindrical jig speed 127 mm/min

### 3.4.3 การศึกษาคุณภาพเนื้อไก่กระตังทางเคมี

#### 3.4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ash content analysis)

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า คัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000)

1) นำถ้วยเผาไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นย้ายถ้วยเผาไปใส่ใน โถดูดความชื้นจนเย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง และนำถ้วยเผาไปชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นกลับ

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในถ้วยเผาที่ทราบน้ำหนัก หรือหักน้ำหนักออกแล้ว

3) นำถ้วยเผาไปใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

4) ปิดเตาเผาให้อุณหภูมิลดลงจนต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส แล้วใช้คีมคีบถ้วยเผาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ถ้วยเผาเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักเถ้า คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\% \text{ เถ้า (น้ำหนักเปียก)} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยถ้วยและตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนเผา}}$$

#### 3.4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content analysis)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น คัดแปลงตามวิธีของ AOAC (1999)

1) อบกระป๋องใส่ตัวอย่าง (Can) + ซ้อน + ทราย 2.00 กรัม ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1-3 ชั่วโมง จากนั้นนำ Can ใส่โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก Can+ซ้อนและจดบันทึก

2) ชั่งตัวอย่างใส่กระดาษพรอย 5 กรัม และจดบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

3) เทเนื้อลงใน Can + ซ้อน + ทราย ใช้ซ้อนคนทรายให้เข้ากับตัวอย่างโดยระวังอย่าให้หกหรือทรายกระเด็น นำไปอบที่ตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง จากนั้นนำไปใส่โถดูดความชื้น 30 นาที

4) ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(W_1+W) - W_2}{W} \times 100$$

$W$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

$W_1$  = น้ำหนักขวดชั่ง

$W_2$  = น้ำหนักขวดชั่งและตัวอย่างหลังอบ

### 3.4.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (protein content analysis)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl method ดัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000)

1) ชั่งตัวอย่าง 0.5 กรัม ใส่ลงใน Kjeldahl flask เติม Catalyst ( $\text{CuSO}_4$  100 กรัม ผสมกับ  $\text{K}_2\text{SO}_4$  7 กรัม) และ 98%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  25 มิลลิลิตร

2) นำไปย่อยบนเครื่องย่อยโปรตีน (Speed digester, K-439, Buchi, Thailand) โดยให้ความร้อนอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นย่อยต่อด้วยอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที และอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที เมื่อทำการย่อยเสร็จแล้วระบบเครื่องจะทำการตัดระบบทำความร้อนและลดอุณหภูมิลง (cool down)

3) นำตัวอย่างที่ทำการย่อยเสร็จแล้วเข้าเครื่องกลั่นโปรตีน (Distillation Unit, B-324, Buchi, Thailand) โดยตั้งค่าโปรแกรมให้ทำการเติม boric acid 4% 75 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร และ NaOH 32% 120 มิลลิลิตรลงในหลอดย่อยแล้วทำการกลั่นเป็นเวลา 4 นาทีต่อตัวอย่าง ให้ความร้อนภายในหลอดย่อยโปรตีนด้วยไอน้ำที่ 80%

4) ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วย 0.1 N HCl จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีม่วงอมชมพู

5) ทำ blank ตามข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่าง

6) คำนวณหาปริมาณโปรตีน โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4 \times F}{W_t}$$

A คือ ปริมาตรของ 0.1 N กรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของ 0.1 N กรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)

$W_t$  คือ น้ำหนักของตัวอย่าง

N คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (N)

F คือ ค่าแฟกเตอร์ (6.25)

### 3.4.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (fat content analysis)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ดัดแปลงตามวิธีของ AOAC (1999)

1) ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรอง 3.00 กรัม และจดบันทึก จากนั้นผสมทราย 2 กรัม คลุกให้เข้ากันและห่อ

2) นำตัวอย่างที่ห่อแล้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้น

3) อบบีกเกอร์ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปใส่โถดูดความชื้น 30 นาที โดยใช้ที่กีดเฉพาะสำหรับบีกเกอร์สกัดไขมันซึ่งน้ำหนักและจดบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ใส่ตัวอย่างที่เตรียมแล้วลงใน Thimble และนำไปใส่ในบีกเกอร์ โดยล้าง Thimble ด้วย Petroleum Ether ก่อนใช้เพื่อชะล้างไขมันที่ติดอยู่ เติม Petroleum Ether 150 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์แล้วนำเข้าเครื่องสกัดไขมันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 27 นาที โดยตั้งค่าโปรแกรมดังนี้

- Extraction อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
- Reduction Interval 3.5 นาที
- Reduction pulse 1 วินาที
- Hot extraction 30 นาที
- Evaporation A 3x Interval
- Rinsing time 1 ชั่วโมง 20 นาที
- Evaporation B 3x Interval
- Evaporation C 10 นาที

5) นำ Thimble ออกจากบีกเกอร์ และนำบีกเกอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง โดยใช้คีมคีบเฉพาะสำหรับบีกเกอร์สกัดไขมัน ห้ามจับโดยใช้มือเปล่าแล้วนำบีกเกอร์ใส่โถดูดความชื้น 30 นาที

6) ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์และจดบันทึก แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณไขมันโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100$$

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W<sub>1</sub> = น้ำหนักบีกเกอร์

W<sub>2</sub> = น้ำหนักบีกเกอร์และไขมัน

#### 3.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน (collagen content analysis)

การวิเคราะห์ปริมาณคอลลาเจน คัดแปลงตามวิธีของ Hill (1966)

- 1) นำตัวอย่างเนื้อที่แช่แข็งมาทำละลายโดยเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาทำการบดด้วยเครื่องบดละเอียด
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่บดแล้วตัวอย่างละ 4.0 กรัม ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม ringer solution 12 มิลลิลิตร
- 3) นำไปปั่นด้วยเครื่อง homogenizer จนขึ้นเนื้อละเอียด
- 4) นำตัวอย่างไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เทส่วนใส (supernatant; soluble) ใส่หลอดใหม่ แล้วเติม ringer solution ลงในหลอดที่ตกตะกอน (pellet; insoluble) 8 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้แตกแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,300 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

6) เทส่วนใสใส่หลอดที่มีส่วนใสหลอดเดิมแล้วเติม 12 N HCl ในอัตราส่วน 1:1 คือ 20 มิลลิลิตร : 20 มิลลิลิตร และนำส่วนที่ตกตะกอนมาเติม 6 N HCl 25 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน จากนั้นนำตัวอย่างที่เป็นส่วนใสและส่วนที่ตกตะกอนที่เติมกรดแล้วเทใส่หลอดฝาเกลียวขนาด 50 มิลลิลิตร

7) นำตัวอย่างไปต้มในอ่างน้ำมันควบคุมอุณหภูมิ (oil bath) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

8) เติม activated carbon ลงในหลอดตัวอย่างจนได้ลักษณะใสแล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 111 (ST61A0110, filtraTECH, France)

9) ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 4.5-7.5

10) ปรับปริมาตรในแต่ละตัวอย่างให้เป็น 100 มิลลิลิตร

11) นำหลอดที่ได้จากส่วนตกตะกอนมาเจือจาง โดยบีบเปิดสารตัวอย่างคอลลาเจนที่ไม่ละลายมา 500 ไมโครลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร

11) คูณของเหลวที่ได้จากการสกัดตัวอย่างทั้งหมด ทั้งคอลลาเจนที่ละลายได้และไม่ละลายมา 400 ไมโครลิตร เติม oxidant solution 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันวางทิ้งไว้ 20 นาที

12) เติม color reagent 200 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

13) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 550 นาโนเมตร เครื่อง microplate reader (iMark TM ;BioRad, USA) นำผลที่ได้ไปคำนวณกราฟมาตรฐานใช้ความเข้มข้นของไฮดรอกซีโพรลีนเท่ากับ 0 1 2 3 4 5 6 7 ไมโครกรัมของไฮดรอกซีโพรลีนต่อมิลลิกรัม และคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณคอลลาเจน (มิลลิกรัม/กรัมของเนื้อสด)} = \frac{c \times f \times 100 \times 8}{1000 \times w}$$

c = ความเข้มข้นของไฮดรอกซีโพรลีน

f = จำนวนเท่าของการเจือจางสารละลายที่ได้จากการย่อย

โดย Soluble collagen = 1

Insoluble collagen = 6

w = น้ำหนักตัวอย่างเนื้อ

### 3.4.6 หาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อต่อการเกิดเนื้อแข็งและ แถบลายสีขาวโดยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์ (Real-time PCR)

#### 3.4.6.1 การสกัดอาร์เอ็นเอ (RNA Extraction)

1) ชั่งตัวอย่างเนื้อที่บดละเอียดแล้วประมาณ 0.15 กรัม ลงในหลอดทดลอง เดิมสารละลาย Trizol (Invitrogen, Karlsruhe, Germany) ปริมาตร 1,500 ไมโครลิตร แล้วทำการปั่นด้วยเครื่อง Homogenizer เป็นเวลา 20 วินาที จำนวน 2 ครั้ง เพื่อสกัด RNA ทั้งหมดในตัวอย่าง

2) เทของเหลวในหลอดทดลองลงใน Microtube ขนาด 1,500 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3) จากนั้นดึงส่วนใสด้านบนใน Microtube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิห้อง จากนั้นเติม Chloroform 200 ไมโครลิตร ทำการเขย่าด้วยมือ ตั้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที

4) นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกส่วนใสด้านบนใน Microtube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Isopropanol 250 ไมโครลิตร และ NaCl/NaCl 250 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปเหวี่ยงด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

5) ตั้งเกตตะกอนสีขาวอยู่บริเวณด้านล่างของ Microtube ให้นำของเหลวใสทั้งหมดออก แล้วเติมด้วย 75 เปอร์เซ็นต์ ethanol นำเข้าปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วนใสทั้งหมดออกแล้วตั้งไว้ให้ ethanol ระเหยออกที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติม RNase free water 40 ไมโครลิตร (Stock RNA)

6) ทำการวัดความเข้มข้นของ RNA โดยใช้ Stock RNA จำนวน 2 ไมโครลิตร ผสมกับ RNase free water 198 ไมโครลิตร ไปวัดความเข้มข้นของ RNA ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Bio-Rad, USA) ที่ความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร เพื่อตรวจสอบคุณภาพของ RNA โดยสัดส่วนค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 1.8 ถึง 2.0 แสดงว่า RNA ที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์หรือมีคุณภาพดี

$$\text{สัดส่วนค่าการดูดกลืนแสง} = A_{260}/A_{280}$$

#### 3.4.6.2 การสลายดีเอ็นเอ (DNase step)

1) หลังจากวัดค่าความเข้มข้นของ RNA ในแต่ละตัวอย่างแล้วนำค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer (Bio-Rad, USA) ปรับให้ค่าความเข้มข้นของ RNA เป็น 1 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตร ด้วย 10X reaction buffer with MgCl<sub>2</sub> 1 ไมโครลิตร Ribolock 1 unit 1 ไมโครลิตร DNase I 1 ไมโครลิตร และปรับปริมาตร DEPC water ให้ได้ปริมาตรสุทธิ 10 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผสมให้สารละลายเข้ากัน แล้วนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงให้สารละลายตกลงมาบริเวณด้านล่าง นำ microtube ที่บรรจุสารละลาย RNA บ่มในเครื่อง Thermal Cycler (Bio-Rad, USA) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาเติมด้วย EDTA 1 ไมโครลิตร แล้วนำไปบ่มต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

#### 3.4.6.3 การเตรียม cDNA

1) ตั้งเครื่อง First-strand cDNA (cat no. 1708841, BIO-RAD, USA) จากตัวอย่าง RNA ที่ได้จากขั้นตอน DNase step ด้วย โดยการเติม random primer 1 ไมโครลิตร RNA 5 ไมโครลิตร และ Nuclease free water 6 ไมโครลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

2) จากนั้นเติมด้วย transcription mixture ซึ่งประกอบด้วย

- First strand 5X reaction buffer 4 ไมโครลิตร
- 10 mM deoxynucleoside triphosphate 2 ไมโครลิตร
- Revert Aid reverse transcriptase 1 ไมโครลิตร
- Ribolock RNase inhibitor 1 ไมโครลิตร

บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และนำเข้าเครื่อง Thermal Cycler (Bio-Rad, USA) ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

3.4.6.4 การหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อและแถบลายสีขาวด้วยเทคนิค Real-Time PCR

1) เตรียมกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) โดยนำเอา cDNA ของตัวอย่างทั้งหมดมารวมกันในปริมาณที่เท่า ๆ กัน โดยจะต้องทำการตรวจสอบปริมาณการแสดงออกของยีนมาตรฐานก่อน โดยใช้ยีน GAPDH เป็นตัวทดสอบ ถ้าตัวอย่างใดมีปริมาณการแสดงออกของยีน GAPDH เกินจากตัวอย่างอื่น (SD±5) จะไม่ถูกนำมารวมกับ cDNA อื่น (pool cDNA)

2) การเพิ่มปริมาณยีนเป้าหมายโดยใช้เครื่องพีซีอาร์ Bio-Rad CFX96 system (Bio-Rad, USA) โดยส่วนประกอบของปฏิกิริยาประกอบด้วย

- ตัวอย่าง cDNA (1:5)
- forward และ reverse primers (ตารางที่ 3.2)
- SYBR Green (SensiFast™ SYBR, BIOLINE) ซึ่งประกอบไปด้วย SYBR

Green I dye, DNA polymerase, deoxynucleoside triphosphate และ deoxyuridine triphosphate, และ stabilizers and enhancers ในปฏิกิริยาปริมาณ 10 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ขั้นตอนการทำ polymerase activation ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที การ denaturation ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที ขั้นตอนการ annealing และ extension ใช้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที จำนวนรอบ 40 รอบ (cycles) โดยแต่ละตัวอย่างทำ 2 ซ้ำ เปรียบเทียบความเข้มข้นของตัวอย่างที่วัดได้จาก Standard Curve จากโปรแกรม CFX Manager™ Software โดยผลการวิเคราะห์การแสดงออกของยีนจะนำเสนอในรูปแบบของ อัตราส่วนระหว่าง ค่า SQ (starting quantity) ของยีนที่สนใจต่อค่า SQ ของยีนอ้างอิง คือ GAPDH

ตารางที่ 3.2 Primer ที่ใช้ในการศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

Gene	Primer sequence (5' to 3')	Accession no.
fMYOD1 <sup>1</sup>	Forward: GACGGCATGATGGAGTACAG Reverse: AGCTTCAGCTGGAGGCAGTA	NM_204214.2
fMyogenin <sup>1</sup>	Forward: GGCTTTGGAGGAGAAGGACT Reverse: CAGAGTGCTGCGTTTCAGAG	NM_204184.1
fDecorin <sup>1</sup>	Forward: AAGGTTCTGCCTGGAGTTGA Reverse: TTGGCACTCTTTCCAGACCT	NM_001030747.2
fMyostatin <sup>1</sup>	Forward: AAACGGTCCCGCAGAGATTT Reverse: CAGGTGAGTGTGCGGGTATT	NM_00100146.1
fTGF-b <sup>1</sup>	Forward: AGGATCTGCAGTGGAAGTGG Reverse: AGGCCACGTAAGTAAAATGAT	JQ423909.1
fGAPDH <sup>2</sup>	Forward: AGCACCCGCATCAAAGG Reverse: CATCATCCAGCGTCCA	NM_204305
fRPL30 <sup>2</sup>	Forward: GAGTCACCTGGGTCAATAA Reverse: CCAACAACCTGTCCTGCTTT	NM_00100747

ที่มา: <sup>1</sup>Velleman and Clark (2015) <sup>2</sup>Yang *et al.* (2013)

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1) เปรียบเทียบจำนวนไก่อายุ 43 และ 51 วันที่เนื้อมีไขมันและกระดูก และการเกิดเนื้อแข็งที่ความรุนแรงระดับต่างกัน 4 ระดับ โดยใช้สถิติ Chi-square test of independent

2) เปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพเนื้อทางกายภาพ ค่าเนื้อสัมผัส องค์ประกอบทางเคมี และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อของไก่อายุ 43 และ 51 วัน โดยใช้สถิติ t-Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วิเคราะห์ความแตกต่างของคุณภาพเนื้อทางกายภาพ ค่าเนื้อสัมผัส องค์ประกอบทางเคมี และการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อของเนื้อไก่ที่มีผลมาจากระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวยที่ต่างกัน 3 ระดับ และการเกิดเนื้อแข็งที่ต่างกัน 4 ระดับ โดยใช้การทดสอบสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance (ANOVA)) ถ้าการทดสอบมีนัยสำคัญทางสถิติทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทีละคู่ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยมีแบบหุนทางสถิติในการวิเคราะห์ ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  คือ ค่าลักษณะคุณภาพเนื้อที่ศึกษา

$\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยประชากรทั้งหมด

$\alpha_i$  คือ อิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวย ( $i=1, 2, 3$ )

$\beta_j$  คือ อิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็ง ( $j= 1, 2, 3, 4$ )

$\epsilon_{ijk}$  คือ ความคลาดเคลื่อนของงานทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 4.1 น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากและองค์ประกอบของซาก

ตารางที่ 4.1 แสดงน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากและองค์ประกอบของซากในไก่กระตังที่อายุ 43 และ 51 วัน พบว่าน้ำหนักมีชีวิตและน้ำหนักซากในไก่กระตังที่อายุต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) โดยในไก่ที่อายุ 51 วันมีน้ำหนักมีชีวิตและน้ำหนักซากมากกว่าไก่ที่อายุ 43 วัน และพบว่าในไก่ที่อายุมากกว่ามีน้ำหนักของอก สะโพก น่อง และปีกมากกว่าไก่ที่อายุน้อยกว่า ( $p < 0.001$ ) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ซากและเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบของซากมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ของสะโพกที่พบว่าในไก่ที่อายุ 51 วันมีเปอร์เซ็นต์สะโพกมากกว่าไก่ที่อายุ 43 วัน ( $p < 0.001$ ) Young *et al.* (2001) รายงานว่าเปอร์เซ็นต์ของอกและสะโพกของไก่ที่อายุ 51 วันสูงกว่าไก่ที่อายุ 42 วัน ( $p < 0.05$ ) คือมีเปอร์เซ็นต์อกเท่ากับ 43.6 และ 41.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์สะโพกเท่ากับ 35.6 และ 32.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แต่เปอร์เซ็นต์ของปีกและน่องแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) Coban *et al.* (2014) พบว่าเปอร์เซ็นต์น่องติดสะโพก (whole leg) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่อายุ 42 และ 56 วัน ( $p < 0.001$ ) โดยเปอร์เซ็นต์น่องติดสะโพกของไก่ที่อายุ 56 วันสูงกว่าไก่ที่อายุ 42 วัน คือ 41.4 และ 39.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์อกและปีกแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งเมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มขึ้นจะมีการพัฒนาและสร้างกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น โดยในไก่จะมีการเพิ่มจำนวนของเส้นใยกล้ามเนื้อในช่วงเวลาก่อนฟักจึงทำให้น้ำหนักของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นหลังจากการฟัก (Coban *et al.* 2014) Chen *et al.* (2007) อ้างโดย Coban *et al.* (2014) ได้รายงานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของพื้นที่เส้นใย (fibril area) กล้ามเนื้อหน้าอกและอายุน้ำหนักตัว น้ำหนักอก และเปอร์เซ็นต์ของอก คือ 0.87 0.74 0.74 และ 0.79 ตามลำดับ Baéza *et al.* (2012) รายงานว่าพื้นที่หน้าตัดของเส้นใย (fibril cross-sectional area) มีค่าเพิ่มขึ้น 49 เปอร์เซ็นต์เมื่ออายุเพิ่มขึ้นจาก 42 วันเป็น 56 วัน ในขณะที่ Coban *et al.* (2014) พบว่าการที่ไก่มีอายุเพิ่มขึ้นจาก 42 วันเป็น 56 วันมีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ในกล้ามเนื้ออกและกล้ามเนื้อสะโพก (Biceps femoris)

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากและองค์ประกอบของซากในไก่กระทองอายุ 43 และ 51 วัน

ลักษณะ	43 วัน	51 วัน	p-value
น้ำหนักมีชีวิต (กรัม)	3124.55±241.70 <sup>b</sup>	3563.56±619.40 <sup>a</sup>	0.000
น้ำหนักซาก (กรัม)	2580.68±172.57 <sup>b</sup>	2935.00±510.50 <sup>a</sup>	0.000
เปอร์เซ็นต์ซาก (%)	82.68±1.93	82.38±1.69	0.291
องค์ประกอบของซาก			
อก (กรัม)	778.26±88.29 <sup>b</sup>	886.69±184.47 <sup>a</sup>	0.000
สะโพก (กรัม)	467.52±44.06 <sup>b</sup>	555.36±102.33 <sup>a</sup>	0.000
น่อง (กรัม)	336.22±31.51 <sup>b</sup>	383.33±68.27 <sup>a</sup>	0.000
ปีก (กรัม)	256.86±18.17 <sup>b</sup>	290.47±42.19 <sup>a</sup>	0.000
อก (%)	30.06±2.05	30.06±2.27	0.991
สะโพก (%)	18.31±0.90 <sup>b</sup>	18.94±1.70 <sup>a</sup>	0.000
น่อง (%)	13.05±0.62	13.09±1.12	0.783
ปีก (%)	9.89±0.51	9.98±0.84	0.373

#### 4.2 จำนวนไก่อายุ 43 และ 51 วันที่มีการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวในแต่ละระดับความรุนแรงในเนื้ออก

จากการนับจำนวนไก่ที่เกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวในแต่ละระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในเนื้ออกไก่อายุ 43 และ 51 วัน พบว่าจำนวนไก่ที่เกิดความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในแต่ละระดับแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (chi-square  $p>0.05$ ) ซึ่งสัดส่วนของการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวในแต่ละระดับความรุนแรงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่าที่อายุ 51 วันมี WS2 และ WS3 มากกว่าที่อายุ 43 วันเท่ากับ 3.2 และ 5.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณของ WS0 และ WS1 ลดลง (ตารางที่ 4.2) ผลการศึกษา สอดคล้องกับรายงานของ Radaelli *et al.* (2017) ที่ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแถบลายสีขาวและการเกิดเนื้อแข็งโดยได้ทำการทดลองในไก่เนื้อเพศผู้และเพศเมียที่ได้รับอาหารต่างกัน 2 กลุ่มคือให้กินอาหารอย่างเต็มที่และให้กินอย่างจำกัดเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ที่อายุ 13 ถึง 21 วัน พบว่าในช่วงอายุ 14 21 28 และ 35 วันมีปริมาณการเกิด การเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นตามอายุคือ 18.8 28.1 75.1 และ 96.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ( $p<0.001$ ) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าที่อายุ 21 วัน กลุ่มที่จำกัดอาหารเกิดการเสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อต่ำกว่ากลุ่มที่กินอย่างเต็มที่อย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าเท่ากับ 6.3 และ 50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ( $p<0.01$ ) แต่เมื่ออายุเพิ่มขึ้นที่อายุ 28 ถึง 46 วันพบว่าไก่ที่ได้รับอาหารแตกต่างกันมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสื่อมสลายของเส้นใยกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และมีมากกว่าไก่ที่อายุน้อยและยังสอดคล้องกับรายงานของ Malila *et al.* (2018) ที่ทำการศึกษาปริมาณการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในไก่สายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ จำนวน 183 ตัว โดยแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ไก่อายุ 6 สัปดาห์ที่มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.5 กิโลกรัม จำนวน 41 ตัว กลุ่มที่ 2 ไก่อายุ 6 สัปดาห์ที่มีน้ำหนักมากกว่า 2.5 กิโลกรัม จำนวน 59 ตัว และกลุ่มที่ 3 ไก่ที่อายุ 7 สัปดาห์ที่มีน้ำหนักมากกว่า 2.5 กิโลกรัม จำนวน 83 ตัว พบว่าในเนื้ออกไก่ที่อายุ 6 สัปดาห์ทั้งสองกลุ่มมีจำนวนของเนื้ออกไก่ที่ไม่เกิดแถบลายสีขาวทั้งหมด 4 ตัว และไม่พบตัวอย่างของอกไก่ที่เกิด WS3 ส่วนในเนื้ออกไก่ที่อายุ 7 สัปดาห์พบว่าเนื้ออกไก่เกิดแถบลายสีขาวจำนวนเพิ่มขึ้นและมีความรุนแรงมากกว่าในเนื้ออกไก่ที่อายุ 6 สัปดาห์ Griffin *et al.* (2017) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความผิดปกติของกล้ามเนื้อบริเวณ *P. major* และ *P. minor* ของไก่ตั้งแต่อายุ 2 ถึง 46 วัน จำนวน 27 ตัวต่อวัน พบว่าเมื่อไก่มีอายุ 16 วันที่กล้ามเนื้อ *P. major* เริ่มมีการเกิดลักษณะของแถบลายสีขาวเกิดขึ้นและเมื่อไก่มีอายุเพิ่มมากขึ้นลักษณะของแถบลายสีขาวจะปรากฏชัดมากขึ้นที่ผิวของกล้ามเนื้อ และเมื่อไก่ที่อายุ 23 วันที่กล้ามเนื้อ *P. major* เริ่มมีการปรากฏลักษณะของเนื้อแข็งเกิดขึ้นโดยมีลักษณะสีที่ซีด (pale) มากและมีส่วนนูนที่บริเวณส่วนปลาย และพบว่าการเกิดเนื้อแข็งที่ระดับรุนแรงตั้งแต่ไก่ที่มีอายุ 30 วันขึ้นไป จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อไก่อายุเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณการเกิดและความรุนแรงของแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาของ Radaelli *et al.* (2017) และ Malila *et al.* (2018) จะเห็นได้ว่านอกจากปัจจัยอันเนื่องมาจากอายุแล้วยังมีปัจจัยอื่น เช่น การจำกัดอาหาร และน้ำหนักตัวของไก่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นนอกจากปัจจัยของอายุแล้วยังมีปัจจัยอื่นร่วมด้วยในการเกิดลักษณะของแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งที่กล้ามเนื้อของไก่

ตารางที่ 4.2 จำนวนและร้อยละของเนื้ออกไก่อายุ 43 และ 51 วันที่เกิดเนื้อแข็ง (WB) และแถบลายสีขาว (WS) ในแต่ละระดับความรุนแรง

age	WB				Chi-square	WS				Chi-square
	0	1	2	3		0	1	2	3	
43 n	21	15	4	16	0.649	17	25	13	1	2.721
(%)	37.5	26.8	7.1	28.6		30.4	44.6	23.2	1.8	
51 n	52	34	10	29	0.885)	36	47	33	9	(p=0.437)
(%)	41.6	27.2	8.0	23.2		28.8	37.6	26.4	7.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 อิทธิพลของอายุต่อลักษณะคุณภาพเนื้อทางกายภาพของเนื้ออกไก่

จากการศึกษาอิทธิพลของอายุต่อลักษณะคุณภาพเนื้อทางกายภาพพบว่าค่า  $pH_{3}$ ,  $pH_{24}$  และค่า  $a^*$  มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในไก่ที่มีอายุ 43 วัน มีค่า  $pH_{3}$  และ  $pH_{24}$  สูงกว่าไก่ที่อายุ 51 วัน แต่มีค่า  $a^*$  ที่อายุ 43 วันน้อยกว่าไก่ที่อายุ 51 วัน ในขณะที่ค่า  $L^*$  ค่า  $b^*$  ค่า  $c^*$  ค่า  $h^{\circ}$  การสูญเสียไอน้ำระหว่างเก็บรักษา การสูญเสียไอน้ำระหว่างปรกสุก และค่าแรงตัดผ่านเนื้อแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.3) ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับรายงานของ Coban *et al.* (2014) ที่ทำการศึกษาลักษณะคุณภาพเนื้อในไก่สายพันธุ์ Ross 308 เพศผู้ที่มีอายุ 42 และ 56 วัน พบว่าในไก่ที่อายุ 56 วันมีค่า  $pH_u$  ต่ำกว่าไก่ที่อายุ 42 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 6.02 และ 6.15 ตามลำดับ แต่มีความขัดแย้งที่ค่า  $a^*$  พบว่าในไก่ที่อายุ 42 วันมีค่ามากกว่าไก่ที่อายุ 56 วัน 3.12 และ 2.01 ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) Glamoclija *et al.* (2015) ทำการศึกษาค่า pH ที่เวลาต่างกัน 3 ช่วงเวลาคือ 15 นาที 24 และ 48 ชั่วโมงหลังสัตว์ตายในไก่สายพันธุ์ Ross 308 ที่อายุ 42 และ 50 วัน พบว่าอายุที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่า  $pH_{24}$  และ  $pH_{48}$  มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) โดยในไก่ที่มีอายุ 42 มีค่า  $pH_{24}$  และ  $pH_{48}$  สูงกว่าในไก่ที่อายุ 50 วัน คือที่  $pH_{24}$  มีค่า 6.19 และ 5.85 ตามลำดับ และใน  $pH_{48}$  มีค่า 6.20 และ 5.85 ตามลำดับ ค่า pH ที่ต่ำลงในสัตว์ที่อายุมากเป็นผลมาจากการพัฒนาของกล้ามเนื้ออย่างเต็มที่ (mature muscle) เมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้นทำให้มีการเผาผลาญไกลโคเจนภายหลังสัตว์ตายได้ดีกว่าในสัตว์ที่อายุน้อยจึงส่งผลให้ค่า pH ของเนื้อต่ำลง (Sandercock *et al.* 2001) Renerre (1990) อ้างโดย Park and Kim (2021) พบว่าสีของเนื้อจะเปลี่ยนไปตามอายุของสัตว์เนื่องจากมีปริมาณของไมโอโกลบินซึ่งเป็นโปรตีนที่เป็นเม็ดสีในเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุมากขึ้นจึงเป็นผลให้ค่า  $a^*$  หรือค่าความเป็นสีแดงของเนื้อเพิ่มสูงขึ้นตามอายุ

### 4.4 อิทธิพลของอายุต่อเนื้อสัมผัสในเนื้อดิบและเนื้อสุก

ในการศึกษาอิทธิพลของอายุต่อการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสในเนื้ออกไก่ดิบพบว่าค่าความเหนียวและค่าแรงการเคี้ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในไก่ที่อายุ 51 วัน มีค่าความเหนียวและค่าแรงการเคี้ยวมากกว่าไก่ที่อายุ 43 วัน อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มว่าที่ไก่อายุ 51 วันจะมีค่ามากกว่าไก่ที่อายุ 43 วัน ( $p = 0.069$ ) และค่าการยึดเกาะในไก่ที่อายุ 51 วันมีแนวโน้มที่จะต่ำกว่าในไก่ที่อายุ 43 วัน ( $p = 0.057$ ) ค่าความยืดหยุ่นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และผลของอิทธิพลของอายุมีผลต่อการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อสุกแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นค่าการยึดเกาะที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในไก่อายุ 51 วันมีค่าการยึดเกาะมากกว่าไก่ที่อายุ 43 วัน (ตารางที่ 4.4) สอดคล้องกับรายงานของ Lyon *et al.* (1984) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อไก่ที่อายุ 7 9 10 และ 11 สัปดาห์ พบว่าไม่พบความแตกต่างในค่าความแข็งและค่าแรงการเคี้ยวที่อายุ 7

ถึง 10 สัปดาห์ แต่เมื่ออายุ 11 สัปดาห์พบว่ามีความแข็งและค่าแรงการเคี้ยวมากกว่าอายุอื่นอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนค่าการยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ ในขณะที่ค่าการยืดเกาะมีค่าลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) Mir *et al.* (2017) อธิบายว่าการที่อายุเพิ่มขึ้นทำให้การเพิ่มจำนวนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีมากขึ้นและส่งผลให้เส้นใยคอลลาเจนเกิดการเชื่อมโยงข้ามระหว่างโมเลกุลของคอลลาเจน (cross-linking collagen) ในกล้ามเนื้อมากขึ้นจึงเป็นผลให้เนื้อสัตว์มีความเหนียวเพิ่มขึ้น โดยในสัตว์ที่อายุน้อยโมเลกุลของคอลลาเจนจะมีพันธะที่ทำหน้าที่เชื่อม โมเลกุลของคอลลาเจนแต่ละ โมเลกุลเข้าด้วยกัน (intermolecular crosslink) ในปริมาณที่ต่ำจึงทำให้เนื้อมีความนุ่มแต่เมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณของพันธะที่ทำหน้าที่เชื่อม โมเลกุลของคอลลาเจนแต่ละ โมเลกุลเข้าด้วยกันสูงขึ้นกว่าสัตว์ที่อายุน้อยจึงทำให้เนื้อมีความเหนียวประกอบกับการที่เนื้อสัตว์มีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเพิ่มมากขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้นซึ่งปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในกล้ามเนื้อและคอลลาเจนมีผลต่อความนุ่มของเนื้อสัตว์ ถ้ากล้ามเนื้อที่มีปริมาณของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและคอลลาเจนสูงจะส่งผลให้ความนุ่มของเนื้อนั้นจะต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุให้เนื้อสัตว์มีความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น (ชัยณรงค์ กัณธพนิต. 2529; Juturasitha. 2004)

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ของลักษณะคุณภาพทางเนื้อกายภาพของเนื้ออกไก่อายุ 43 และ 51 วัน

trait	43 days	51 days	p-value
n	56	125	
pH <sub>3</sub>	6.32±0.10 <sup>a</sup>	6.17±0.15 <sup>b</sup>	0.000
pH <sub>24</sub>	6.16±0.11 <sup>a</sup>	5.98±0.10 <sup>b</sup>	0.000
color			
L*	52.97±4.44	53.59±4.29	0.376
a*	1.30±0.71 <sup>b</sup>	1.64±1.01 <sup>a</sup>	0.015
b*	12.29±3.01	12.62±2.93	0.483
c*	12.39±3.07	12.86±3.20	0.365
h°	84.99±4.25	83.53±5.83	0.063
drip loss (%)	1.63±0.67	1.73±0.85	0.428
cooking loss (%)	14.50±4.11	15.83±5.51	0.140
shear force (kg.)	4.26±1.09	4.50±1.28	0.264

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ของลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้ออกไก่ ที่อายุ 43 และ 51 วัน

trait	43 days	51 days	p-value
n	56	125	
raw breast meat			
hardness (N)	32.15±14.16	39.13±20.25	0.069
springiness (mm x 10)	9.99±0.00	9.98±0.11	0.277
gumminess (N)	13.45±8.39 <sup>b</sup>	18.36±12.19 <sup>a</sup>	0.018
chewiness (J)	13.44±8.39 <sup>b</sup>	18.36±12.19 <sup>a</sup>	0.019
cohesiveness	0.42±0.08	0.38±0.15	0.057
cooked breast meat			
hardness (N)	43.75±13.39	39.35±14.38	0.105
springiness (mm x 10)	9.99±0.00	9.98±0.01	0.197
gumminess (N)	20.79±6.82	21.41±7.38	0.647
chewiness (J)	20.79±6.82	21.41±7.38	0.647
cohesiveness	0.46±0.07 <sup>b</sup>	0.55±0.09 <sup>a</sup>	0.000

#### 4.5 อิทธิพลของอายุต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่

จากการศึกษาผลของอายุต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่พบว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน โปรตีน คอเลสเตอรอลที่ละลายได้ คอเลสเตอรอลที่ละลายไม่ได้ คอเลสเตอรอลรวม และความสามารถในการละลายของคอเลสเตอรอลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อย่างไรก็ตาม ปริมาณไขมันในเนื้อพบว่าในเนื้ออกไก่ที่อายุ 51 วันมีปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ที่อายุ 43 วัน ( $p=0.093$ ) (ตารางที่ 4.5) ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Baéza *et al.* (2012) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเนื้ออกไก่ที่อายุ 35 42 49 56 และ 63 วัน พบว่าปริมาณความชื้นลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น โดยที่อายุ 42 วันมีปริมาณความชื้นมากกว่าเนื้ออกไก่ที่อายุ 56 วัน คือ 73.9 และ 73.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ( $p<0.01$ ) ในขณะที่ปริมาณ โปรตีนและไขมันเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยที่อายุ 35 วัน โปรตีนต่ำที่สุด คือ 23.5 เปอร์เซ็นต์และที่อายุ 63 วันมีปริมาณ โปรตีนสูงที่สุด คือ 24.9 เปอร์เซ็นต์ ( $p<0.05$ ) แต่เมื่อเทียบปริมาณ โปรตีนที่อายุ 42 และ 56 วันพบว่าทั้งสองอายุมีปริมาณ โปรตีนไม่ต่างกันคือ 24.2 และ 24.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนปริมาณไขมันพบว่าที่อายุ 42 วันมีปริมาณน้อยกว่าเนื้ออกไก่ที่อายุ 56 วัน คือ 1.42 และ 1.92 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ( $p<0.01$ ) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Michalczuk *et al.* (2016) โดยทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่ในไก่สายพันธุ์ Cobb 500 ที่อายุ 5 ถึง 9 สัปดาห์ โดยพบว่าปริมาณไขมันในเนื้ออกไก่ที่อายุ 6 สัปดาห์มีปริมาณน้อยกว่าเนื้ออกไก่ที่อายุ 8 สัปดาห์ 2.41 และ 3.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และปริมาณความชื้นในเนื้ออกไก่ที่อายุ 6 สัปดาห์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณมากกว่าเนื้ออกไก่ที่อายุ 8 สัปดาห์ คือ 73.9 และ 73.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมันนั้นเกี่ยวข้องกับการที่อายุเพิ่มขึ้นจะมีการพัฒนาของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นตามซึ่งส่งผลให้มีการพัฒนาของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในชั้นกล้ามเนื้อ เช่น คอลลาเจน และอีลาสติน (Park and Kim, 2021) ซึ่งจัดเป็นกลุ่มของโปรตีนที่มีอยู่ในเส้นใยกล้ามเนื้อจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นและปริมาณความชื้นลดลง นอกจากนี้การที่สัตว์อายุเพิ่มมากขึ้นจะมีการสะสมของไขมันเพิ่มขึ้นจึงเป็นผลให้ปริมาณของไขมันในเนื้อเพิ่มมากขึ้นตามมาด้วย (Baéza *et al.* 2012; Michalczuk *et al.* 2016) ในส่วนของปริมาณคอลลาเจนในเนื้อนั้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์อายุเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณของสารไพริดีโนลีน (pyridinoline) ซึ่งเป็นสารประกอบของการเชื่อมกัน在线ใยคอลลาเจน (Coró *et al.* 2003 อ้างโดย อังสุมา แก้วคุดและคณะ. 2563) Wattanachant *et al.* (2004) อ้างโดย อังสุมา แก้วคุดและคณะ. (2563) พบว่าเนื้อของไก่พื้นเมืองมีปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดมากกว่า และปริมาณของคอลลาเจนที่ละลายได้น้อยกว่าในเนื้อของไก่กระทง ( $p < 0.01$ ) เนื่องมาจากการที่ไก่พื้นเมืองมีอายุการเลี้ยงนานกว่าไก่กระทงคือ 16 ถึง 18 สัปดาห์และ 35 ถึง 45 วัน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุให้มีการเกิดพันธะที่เชื่อมโมเลกุลของคอลลาเจนเข้าด้วยกันในไก่พื้นเมืองสูงกว่าไก่กระทงจึงเป็นผลให้ปริมาณของคอลลาเจนที่ละลายได้ลดลงเมื่อสัตว์อายุเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ขององค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่ที่อายุ 43 และ 51 วัน

chemical composition	43 days	51 days	p-value
n	22	23	
ash (%)	1.08±0.11	1.13±0.10	0.238
Moisture (%)	76.34±1.73	75.67±2.00	0.183
protein (%)	20.98±2.00	21.81±1.67	0.140
fat (%)	1.88±0.83	2.36±1.01	0.093
soluble collagen (mg/g)	0.63±0.15	0.62±0.09	0.786
insoluble collagen (mg/g)	2.02±0.67	2.04±0.76	0.899
total collagen (mg/g)	2.65±0.63	2.66±0.74	0.934
solubility collagen (%)	25.09±8.19	25.10±7.92	0.997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 อิทธิพลของอายุต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

ผลการศึกษอิทธิพลของอายุต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ พบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน MyoD1 Myogenin Myostatin Decorin และ TGF-  $\beta$  มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 4.6) Yin *et al.* (2014) ได้ศึกษาการแสดงออกของยีน MyoD1 และยีน Myogenin ในไก่สองกลุ่ม คือกลุ่มที่น้ำหนักน้อย (LWS) และกลุ่มที่มีน้ำหนักมาก (HWS) ที่อายุ 1 ถึง 56 วัน พบว่าในไก่ที่อายุ 1 วันมีการแสดงออกของยีน MyoD1 สูงที่สุด และน้อยที่สุดในไก่ที่อายุ 56 วัน คือ 0.90 และ 0.48 ตามลำดับ ในขณะที่การแสดงออกของยีน Myogenin จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่อายุ 1 วันจนถึงอายุ 28 วัน และจะมีการแสดงออกของยีนลดลงที่อายุ 56 วัน โดยมีการแสดงออกของยีนสูงที่สุดที่อายุ 28 วันคือ 2.64 และต่ำที่สุดที่อายุ 56 วัน คือ 0.81 ( $p<0.001$ ) นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างอายุและกลุ่มของไก่ทั้งสองกลุ่ม โดยในไก่กลุ่ม LWS มีการแสดงออกของยีน MyoD1 สูงกว่าในไก่กลุ่ม HWS ที่อายุ 1 วัน แต่ที่อายุ 28 วันไก่กลุ่ม HWS จะมีการแสดงออกของยีนสูงกว่าไก่กลุ่ม LWS ( $p<0.001$ ) ในขณะที่การแสดงออกของยีน Myogenin พบว่าในไก่กลุ่ม HWS จะมีการแสดงออกของยีนสูงกว่าในไก่กลุ่ม LWS ที่อายุ 28 วัน ( $p=0.045$ ) ดังที่เขยกกล่าวไว้ในบทที่ 2 ว่ายีน Myogenin และยีน MyoD1 จะทำงานร่วมกันในขณะที่เกิดการสร้างกล้ามเนื้อจึงเป็นเหตุผลที่สนับสนุนว่าในไก่กลุ่ม HSW มีการแสดงออกของยีน MyoD1 และยีน Myogenin สูงกว่าไก่กลุ่ม LWS เนื่องจากน้ำหนักตัวและการสร้างกล้ามเนื้อของไก่กลุ่ม HSW นั้นมากกว่าในไก่กลุ่ม LWS (Yin *et al.* 2014) Dushyanth *et al.* (2016) ระบุว่ามีการแสดงออกของยีน Myostatin มีความแตกต่างกันในช่วงระยะเวลาที่เป็นตัวอ่อนและระยะหลังฟัก โดยการแสดงออกของยีนในช่วงที่เป็นตัวอ่อนสูงกว่าระยะหลังฟักเนื่องจากมีกระบวนการสร้างและพัฒนากล้ามเนื้อในระยะหลังฟักเพิ่มมากขึ้น ยีน Decorin นั้นมีความเกี่ยวข้องกับการสร้างเส้นใยคอลลาเจนในเนื้อ โดยเป็นตัวกลางของการกรอสลิงค์ของคอลลาเจน (Zhu *et al.* 2008) Juturasitha *et al.* (2008) อ้างโดย อังสุมา แก้วคตและคณะ (2563) กล่าวว่าเมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มขึ้นจะมีการเชื่อมโยงข้ามระหว่างโมเลกุลของคอลลาเจนเพิ่มขึ้นตามอายุของสัตว์จึงอาจมีความเป็นไปได้ว่าปริมาณการแสดงออกของยีน Decorin นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มขึ้น Li *et al.* (2003) ระบุว่ายีน TGF-  $\beta$  จัดเป็นยีนที่ใช้ระบุลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative trait loci; QTL) ของการเจริญเติบโต ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตหรือการเพิ่มน้ำหนักตัวของสัตว์ ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่าเมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มขึ้น มีการเจริญเติบโตมากขึ้นอาจทำให้การแสดงออกของยีน TGF-  $\beta$  เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

**ตารางที่ 4.6** ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ของปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อในเนื้ออกไก่อายุ 43 และ 51 วัน

Myogenic gene expression <sup>1</sup>	43 days	51 days	p-value
n	18	18	
MyoD1	6.14±3.02	6.40±3.62	0.803
Myogenin	6.45±3.36	6.41±3.47	0.971
Myostatin	6.26±4.15	5.90±3.26	0.763
Decorin	4.49±2.35	4.49±2.15	0.993
TGF-β	6.66±3.50	6.19±4.63	0.722

<sup>1</sup> อัตราส่วนของค่า starting quantity (SQ) ต่อปริมาณการแสดงออกของยีน GAPDH

#### 4.7 อิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อลักษณะคุณภาพเนื้อทางกายภาพ

ผลการศึกษอิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวในระดับต่าง ๆ พบว่ามีระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งที่แตกต่างกันมีผลต่อค่า pH<sub>24</sub> ค่า L\* ค่า b\* ค่า c\* การสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษา และการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยค่า pH<sub>24</sub> ที่ WB3 มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ WB0 มีค่าต่ำที่สุด ค่า L\* ที่ WB0 มีค่าสูงที่สุด ค่า b\* และค่า c\* ที่ WB3 มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระดับอื่น ๆ การสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษาที่ WB1 มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ WB0 มีค่าต่ำที่สุด และการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกที่ WB0 มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็ง ส่วนอิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวมีผลต่อคุณภาพเนื้อทางกายแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.7) การศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Baldi *et al.* (2019) ที่ทำการศึกษาคูณภาพเนื้อในเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในไก่ที่อายุ 46 วัน พบว่าค่า pH ของเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งมีค่าสูงกว่าเนื้ออกไก่ที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง ( $p < 0.05$ ) และในส่วนของการสูญเสียของเนื้อพบว่าค่า L\* และสี b\* ในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งสูงกว่าเนื้ออกไก่ที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง ( $p < 0.001$ ) และใกล้เคียงกับรายงานของ Compo *et al.* (2020) ที่ศึกษาทำการศึกษาคูณภาพเนื้อในเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในไก่ที่อายุ 42 วัน โดยแบ่งความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งเป็น 3 ระดับ คือ 0 normal 1 moderate และ 2 severe พบว่าค่า pH และ L\* ในเนื้ออกไก่ที่ WB2 มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ WB0 และ WB1 ส่วนค่า b\* พบว่าในเนื้ออกไก่ที่ WB0 มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ที่ WB1 และ WB2 Gratta *et al.* (2019) ได้ทำการเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกระหว่างเนื้ออกไก่ที่ไม่เกิดเนื้อแข็งและอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งพบว่าเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งมีการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกสูงกว่าเนื้ออกไก่ปกติ คือ 26.9 และ 22.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าเนื้ออกไก่ที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารร่างของงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ เมื่อผู้เขียนได้พิจารณาและเห็นชอบที่จะเผยแพร่เอกสารฉบับนี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อแข็งจะมีผลทำให้ค่า pH ค่า  $L^*$  ค่า  $b^*$  และการสูญเสียไอน้ำระหว่างปรุงสุกสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง เนื่องจากการเกิดเนื้อแข็งนั้นทำให้ศักยภาพไกลโคไลติกลดต่ำลงทำให้ศักยภาพในการสร้างกรดแลคติกในขบวนการไกลโคไลซิสหลังสัตว์ตายลดลงเป็นผลให้ค่า pH สูงกว่าในกลุ่มที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง (Soglia *et al.* 2016; Baldi *et al.* 2019; Compo *et al.* 2020) ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานของ Baldi *et al.* (2021) อ้างโดย Khalil *et al.* (2021) ที่พบว่าในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งมีปริมาณไกลโคเจนต่ำกว่าเนื้อที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง ( $p < 0.001$ ) ในขณะที่ค่า  $L^*$  ค่า  $b^*$  และค่า  $c^*$  ที่เพิ่มขึ้นในเนื้อที่มีการเกิดเนื้อแข็งนั้นมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อตามการเสื่อมสภาพในทางเนื้อเยื่อวิทยาที่ได้รับผลกระทบของการเกิดเนื้อแข็งที่ทำให้เกิดการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ผิวหน้าของเนื้อมีความสว่างขึ้นเป็นผลให้เนื้อมีค่า  $L^*$  สูงขึ้น (Soglia *et al.* 2016; Aguirre *et al.* 2018; Mello *et al.* 2021) และปริมาณไขมันที่สูงขึ้นจากการสะสมไขมันในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งนั้นเป็นผลทำให้ค่า  $b^*$  สูงขึ้น (Kuttappan *et al.* 2013; Petracci *et al.* 2013; Mudalal *et al.* 2015; Baldi *et al.* 2019; Mello *et al.* 2021) รวมถึงมีความสัมพันธ์กับการเกิดพังศืดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณของเมดลิตีที่ลดลง (Petracci *et al.* 2017) จึงเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าสีของเนื้อ การสูญเสียไอน้ำระหว่างเก็บรักษา และการสูญเสียไอน้ำระหว่างปรุงสุกที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวข้องกับความสามารถในการจับน้ำที่ลดลงในเนื้อที่เกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งเนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อและไมโอไฟบริลที่ทำหน้าที่ในการกักเก็บน้ำเกิดการเสื่อมสภาพลง เนื่องมาจากการที่โปรตีนที่ทำเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวกของกล้ามเนื้อ เช่น ไมโอซิน (myosin) และแอกติน (actin) มีปริมาณลดลงจึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและการจับน้ำลดลง (Petracci *et al.* 2013; Soglia *et al.* 2016)

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย (EMS±SE) และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อลักษณะคุณภาพเนื้อทางกายภาพ

trait	Degree of WB				Degree of WS			p-value	
	0	1	2	3	0	1	2	WB	WS
n	71	46	14	39	52	72	46		
pH <sub>3</sub>	6.22±0.02	6.23±0.02	6.23±0.04	6.18±0.03	6.20±0.02	6.24±0.02	6.21±0.02	0.512	0.409
pH <sub>24</sub>	6.00±0.02 <sup>b</sup>	6.03±0.02 <sup>ab</sup>	6.06±0.04 <sup>ab</sup>	6.09±0.02 <sup>a</sup>	6.04±0.02	6.06±0.02	6.02±0.02	0.037	0.276
Color									
L*	51.42±0.53 <sup>b</sup>	53.95±0.69 <sup>a</sup>	54.75±1.10 <sup>a</sup>	55.21±0.68 <sup>a</sup>	53.49±0.65	54.23±0.54	53.79±0.64	0.000	0.609
a*	1.43±0.13	1.46±0.15	1.28±0.26	1.85±0.17	1.52±0.16	1.48±0.13	1.52±0.16	0.173	0.963
b*	10.96±0.35 <sup>c</sup>	12.92±0.40 <sup>b</sup>	12.35±0.73 <sup>bc</sup>	14.49±0.45 <sup>a</sup>	13.03±0.43	12.76±0.36	12.26±0.42	0.000	0.436
c*	11.05±0.38 <sup>c</sup>	13.19±0.43 <sup>b</sup>	12.44±0.79 <sup>bc</sup>	14.74±0.48 <sup>a</sup>	13.18±0.46	13.06±0.39	12.33±0.45	0.000	0.368
h°	84.38±0.71	84.27±0.81	84.61±1.47	82.97±0.92	84.05±0.86	83.94±0.73	84.18±0.85	0.621	0.978
drip loss (%)	1.43±0.10 <sup>b</sup>	1.92±0.12 <sup>a</sup>	1.86±0.25 <sup>ab</sup>	1.76±0.17 <sup>ab</sup>	1.89±0.14	1.71±0.12	1.63±0.15	0.023	0.353
cooking loss (%)	12.72±0.77 <sup>b</sup>	15.71±0.79 <sup>a</sup>	18.23±1.59 <sup>a</sup>	16.09±0.86 <sup>a</sup>	16.22±0.88	14.80±0.72	16.03±0.91	0.003	0.306
shear force (kg.)	4.29±0.21	4.63±0.21	4.46±0.42	4.33±0.23	4.22±0.24	4.30±0.19	4.77±0.24	0.651	0.213

<sup>a, b, c</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในแต่ละแถวแนวนอนของแต่ละปัจจัย

#### 4.8 อิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในเนื้ออกไก่ดิบและเนื้ออกไก่สุก

ผลการศึกษาพบว่าอิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวในแต่ละระดับมีผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้ออกไก่ดิบและเนื้ออกไก่สุกมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความเหนียวและค่าแรงการเคี้ยวในเนื้ออกไก่สุกที่เกิดลักษณะของเนื้อแข็งมีแนวโน้มที่จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.054$ ) (ตารางที่ 4.8) การศึกษาในครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Soglia *et al.* (2016) ที่ทำการศึกษการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งและเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งร่วมกับแถบลายสีขาวในเนื้อไก่ที่อายุ 52 วัน พบว่าเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งและเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งร่วมกับแถบลายสีขาวมีค่าความแข็งและค่าความเหนียวมากกว่าเนื้ออกไก่ปกติ ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่นในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งร่วมกับแถบลายสีขาวมีค่ามากกว่าเนื้ออกไก่ที่เกิดเพียงเนื้อแข็งและเนื้ออกไก่ปกติ ส่วนค่าแรงการเคี้ยวมีค่ามากที่สุด ในเนื้ออกไก่ที่เกิดเพียงลักษณะของเนื้อแข็ง และมีค่าน้อยที่ในอกไก่ที่ปกติ ( $p < 0.05$ ) และการศึกษาของ Compo *et al.* (2020) พบว่าเนื้ออกไก่ดิบที่ WB2 และ WS2 มีค่าการยืดเกาะมากที่สุดเมื่อเทียบกับระดับอื่น ๆ ในส่วนของเนื้ออกไก่สุกนั้นพบว่าเนื้ออกไก่ที่ WB2 มีค่าการยืดเกาะมากที่สุดเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ที่ WB0 และ WB1 ( $p < 0.05$ ) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับเส้นใยกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มากขึ้นในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาว (Wattanachant *et al.* 2004 อ้างโดย Soglia *et al.* 2016) รวมถึงการเกิดพังผืดในกล้ามเนื้อที่เกิดความผิดปกติ (Baldi *et al.* 2019) จึงเป็นสาเหตุให้เนื้ออกไก่มีความแข็งและมีความเหนียวเพิ่มมากขึ้น

**ตารางที่ 4.8** ค่าเฉลี่ย (EMS±SE) และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในเนื้อดิบและเนื้อสุก

trait	Degree of WB				Degree of WS			p-value	
	0	1	2	3	0	1	2	WB	WS
n	71	46	14	39	52	72	46		
raw breast meat									
hardness (N)	31.72±3.41	37.23±3.54	28.70±7.06	37.11±3.70	36.55±3.93	30.82±3.34	33.70±3.77	0.491	0.458
springiness (mm x 10)	9.99±0.01	9.98±0.01	10.00±0.03	9.97±0.02	9.99±0.02	9.99±0.01	9.97±0.02	0.689	0.539
gumminess (N)	14.40±1.88	15.64±1.85	16.90±3.83	16.01±2.04	16.73±2.10	13.83±1.80	16.66±2.08	0.919	0.407
chewiness (J)	14.34±1.83	15.63±1.80	16.92±3.73	15.75±1.99	16.72±2.05	13.82±1.75	16.43±2.02	0.916	0.410
cohesiveness	0.41±0.02	0.38±0.02	0.41±0.04	0.42±0.02	0.38±0.02	0.39±0.02	0.43±0.02	0.685	0.352
cooked breast meat									
hardness (N)	38.61±2.47	45.17±2.65	37.20±5.07	42.89±3.07	42.13±2.86	39.67±2.41	41.10±3.06	0.244	0.758
springiness (mm x 10)	9.99±0.00	9.98±0.01	9.99±0.00	9.97±0.00	9.99±0.00	9.99±0.00	10.00±0.03	0.289	0.191
gumminess (N)	19.14±1.18	22.95±1.22	17.78±2.41	22.47±1.39	21.48±1.34	19.09±1.14	21.19±1.40	0.054	0.256
chewiness (J)	19.14±1.18	22.95±1.22	17.78±2.41	22.46±1.39	21.48±1.34	19.09±1.14	21.18±1.40	0.054	0.256
cohesiveness	0.51±0.02	0.50±0.02	0.51±0.03	0.50±0.02	0.51±0.02	0.49±0.02	0.51±0.02	0.947	0.444

#### 4.9 อิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

จากตารางที่ 4.9 พบว่าอิทธิพลของการเกิดเนื้อแข็งในแต่ละระดับความรุนแรงมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ยกเว้นปริมาณโปรตีนที่พบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยในเนื้ออกไก่ที่ WB3 มีปริมาณไขมันที่น้อยที่สุด ขณะที่ปริมาณความชื้น และปริมาณไขมันมีปริมาณมากที่สุดในเนื้ออกไก่ที่ WB3 และมีปริมาณน้อยที่สุดที่ WB0 ในเนื้ออกไก่ที่ WB0 และ WB1 มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้และความสามารถในการละลายของคอลลาเจนมากกว่าที่ WB 2 และ WB3 ในขณะที่ WB3 มีปริมาณของคอลลาเจนที่ไม่ละลาย และปริมาณคอลลาเจนรวมมากที่สุด ส่วนความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวส่งผลให้ปริมาณ โปรตีนและไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยในเนื้ออกไก่ที่ WS2 มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด แต่มีปริมาณไขมันมากที่สุดเมื่อเทียบกับ WS0 และ WS2 (ตารางที่ 4.8) ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Baldi *et al.* (2019) ที่ทำการศึกษานเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวในไก่ที่อายุ 42 วันต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้ออกไก่ พบว่าในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งมีปริมาณกรดไขมันเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ปกติ คือ 1.26 และ 1.58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) ส่วนในเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวมีปริมาณไขมันแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ปกติ ( $p > 0.05$ ) ในขณะที่ปริมาณไขมันในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้ออกไก่ปกติ คือ 2.12 และ 1.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Soglia *et al.* (2016) ที่พบว่าในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งมีปริมาณความชื้น ไขมัน และคอลลาเจนทั้งหมดมากกว่าในไก่อกไก่ที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง ในขณะที่ปริมาณไขมัน และ โปรตีนลดลง ( $p < 0.001$ ) การเปลี่ยนแปลงทางองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อนั้นเกิดจากการเสื่อมสภาพของกล้ามเนื้อและการสร้างเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อขึ้นใหม่ รวมถึงการสะสมของพังผืดทำให้ระดับไขมันและคอลลาเจนสูงขึ้น และการเสื่อมสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อนั้นยังส่งผลให้ปริมาณ โปรตีนลดลงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้การเสื่อมสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้ออาจส่งผลให้มีพื้นที่สำหรับให้เซลล์ไขมัน (adipocytes) มีการเพิ่มจำนวนและขยายตัวได้มากขึ้นทำให้เนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) เข้าไปแทนที่ในส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกิดการเสื่อมสภาพจึงเป็นเหตุให้มีการสะสมของไขมันในเนื้อมากขึ้น (Kuttappan *et al.* 2012; Kuttappan *et al.* 2013; Sihvo *et al.* 2014; Russo *et al.* 2015; Soglia *et al.* 2016, Baldi *et al.* 2018; Gratta *et al.* 2019) Baldi *et al.* (2019) อธิบายว่าปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการสะสมของของเหลว (fluid accumulation) ที่เกิดจากภาวะบวมน้ำ (edema) ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดกระบวนการอักเสบของกล้ามเนื้อที่เกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาว Oliveira *et al.* (2021) ที่ทำการศึกษากการเกิดเนื้อแข็งในไก่ที่อายุ 45 วัน โดยแบ่งระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกเป็น 3 ระดับคือ 0 : normal 1 : moderate และ 2 : severe ต้องค้ประกอบของคอลลาเจนในเนื้อพบว่ามีในเนื้ออกไก่ที่ WB1 และ WB2 มีปริมาณคอลลาเจนที่ไม่ละลาย และปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดมากกว่าเนื้ออกไก่ที่ WB0 ( $p < 0.05$ ) การเกิดพังผืดในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวนั้นอาจทำให้ปริมาณของคอลลาเจนเพิ่มขึ้น (Soglia *et al.* 2016) รวมถึงลักษณะการสร้างใหม่ของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นช้ากว่าการเสื่อมสภาพจึงทำให้เกิดการแทนที่ของโปรตีนด้วยเนื้อเยื่อคอลลาเจน (collagenous tissue) (Maharjan *et al.* 2019) หรือเกิดการแทรกซึมของคอลลาเจน (collagen infiltration) ในกล้ามเนื้อ (Velleman. 2015; Daughtry *et al.* 2017 อ้าง โดย Ferreira *et al.* 2020) ก็อาจส่งผลให้ปริมาณของคอลลาเจนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าคอลลาเจนที่ละลายได้และความสามารถในการละลายของคอลลาเจนมีปริมาณลดลงที่ WB2 และ WB3 ขณะที่คอลลาเจนที่ไม่ละลายมีปริมาณสูงขึ้น WB2 และ WB3 เช่นกัน ซึ่งความสามารถในการละลายของคอลลาเจนจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของคอลลาเจนที่ละลายได้ หากเนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงก็จะมีความสามารถในการละลายของคอลลาเจนสูง แต่ถ้าเนื้อที่มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ต่ำก็จะทำให้ความสามารถในการละลายของคอลลาเจนต่ำด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นสาเหตุให้การละลายได้ของคอลลาเจนต่ำลงที่ WB2 และ WB3 ตามปริมาณของคอลลาเจนที่ละลายได้ที่ลดลง

**ตารางที่ 4.9** ค่าเฉลี่ย (EMS±SE) และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

chemical composition	Degree of WB				Degree of WS			p-value	
	0	1	2	3	0	1	2	WB	WS
n	12	12	7	10	12	19	10		
ash (%)	1.15±0.03 <sup>a</sup>	1.10±0.02 <sup>a</sup>	1.11±0.03 <sup>a</sup>	1.02±0.03 <sup>b</sup>	1.12±0.03	1.12±0.02	1.05±0.03	0.021	0.141
moisture (%)	74.40±0.43 <sup>c</sup>	76.03±0.39 <sup>b</sup>	76.67±0.51 <sup>b</sup>	77.97±0.43 <sup>a</sup>	76.30±0.40	76.00±0.32	76.50±0.45	0.000	0.651
protein (%)	22.25±0.50	21.67±0.45	21.07±0.60	20.70±0.50	22.16±0.47 <sup>a</sup>	21.76±0.37 <sup>a</sup>	20.36±0.53 <sup>b</sup>	0.188	0.047
fat (%)	1.52±0.15 <sup>c</sup>	1.86±0.13 <sup>b</sup>	2.14±0.18 <sup>b</sup>	2.70±0.15 <sup>a</sup>	1.66±0.14 <sup>b</sup>	1.93±0.11 <sup>b</sup>	2.57±0.15 <sup>a</sup>	0.000	0.000
soluble collagen (mg/g)	0.68±0.03 <sup>a</sup>	0.71±0.03 <sup>a</sup>	0.49±0.04 <sup>b</sup>	0.54±0.03 <sup>b</sup>	0.59±0.03	0.61±0.02	0.62±0.03	0.000	0.758
insoluble collagen (mg/g)	1.66±0.19 <sup>b</sup>	1.85±0.16 <sup>b</sup>	1.94±0.22 <sup>b</sup>	2.71±0.17 <sup>a</sup>	1.94±0.16	1.94±0.13	2.24±0.19	0.001	0.409
total collagen (mg/g)	2.34±0.18 <sup>b</sup>	2.57±0.16 <sup>b</sup>	2.43±0.21 <sup>b</sup>	3.25±0.17 <sup>a</sup>	2.53±0.16	2.56±0.13	2.86±0.19	0.005	0.369
solubility collagen (%)	31.01±1.98 <sup>a</sup>	28.61±1.73 <sup>a</sup>	21.29±2.30 <sup>b</sup>	17.48±1.82 <sup>b</sup>	25.34±1.72	24.85±1.44	23.61±2.01	0.000	0.806

<sup>a, b, c</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในแต่ละแถวของแต่ละปัจจัย

#### 4.10 อิทธิพลของระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

จากการศึกษาอิทธิพลของการเกิดเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวในแต่ละระดับความรุนแรงมีผลทำให้ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.10) การศึกษาครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับรายงานของ Velleman and Clark (2015) ที่ทำการศึกษาในไก่ 3 สายพันธุ์คือ สายพันธุ์ A และ สายพันธุ์ B เป็นไก่สายพันธุ์ที่โตเร็วซึ่งมีการเกิดเนื้อแข็ง ส่วนสายพันธุ์ C เป็นไก่สายพันธุ์ที่โตช้าซึ่งไม่เกิดเนื้อแข็ง พบว่าปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อของกลุ่มของไก่ที่เกิดเนื้อแข็งในสายพันธุ์ A มีปริมาณการแสดงออกของยีน MYOD1 Myogenin Decorin Myostatin และ TGF- $\beta$  สูงกว่าไก่ที่ไม่เกิดเนื้อแข็งในสายพันธุ์ A และสายพันธุ์ C ส่วนไก่สายพันธุ์ B นั้นพบว่ามีเพียงปริมาณการแสดงออกของยีน Myogenin ของไก่ที่เกิดเนื้อแข็งที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง และยังพบว่าในไก่กลุ่มที่เกิดเนื้อแข็งของสายพันธุ์ B มีปริมาณการแสดงออกของยีนทุกตัวยกเว้น Myostatin ที่มีปริมาณสูงกว่าสายพันธุ์ C ขณะเดียวกัน Clark and Velleman (2017) ก็พบว่าการแสดงออกของยีน MyoD1 และยีน Myogenin มีปริมาณเพิ่มขึ้นในเนื้ออกที่เกิดเนื้อแข็งเมื่อเทียบกับเนื้ออกปกติในไก่สายพันธุ์ A ( $p < 0.05$ ) และยังพบว่าในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งในสายพันธุ์ A นั้นมีเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเนื้ออกปกติโดยสันนิษฐานว่าเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดเล็กที่พบนั้นอาจจะเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่ถูกสร้างขึ้นใหม่แทนเส้นใยกล้ามเนื้อที่เสียหายจากการเสื่อมสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยการกระตุ้นของยีน MyoD1 ที่ทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนเซลล์จากนั้นก็เริ่มเพิ่มการแสดงออกของยีน Myogenin เมื่อเซลล์เริ่มมีการเปลี่ยนสภาพเป็น myotubes เพื่อที่จะสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อขึ้นมาใหม่ (Hasty *et al.* 1993; Rudnicki *et al.* 1993; Smith *et al.* 1994; Cornelison and Wold, 1997 อ้าง โดย Clark and Velleman, 2017) ขึ้นมาแทนที่เส้นใยกล้ามเนื้อเดิมที่เสียหายจากการเกิดการเสื่อมสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการแสดงออกของยีน MyoD1 และยีน Myogenin เพิ่มขึ้นในเนื้อที่เกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ Clark and Velleman (2017) ยังกล่าวไว้อีกว่าการที่กล้ามเนื้อหน้าอกที่เกิดเนื้อแข็งมีเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดเล็กที่เกิดจากการสร้างกล้ามเนื้อใหม่จำนวนมากนั้นอาจเป็นผลมาจากการถูกยับยั้งการพัฒนาของเส้นใยกล้ามเนื้อในเนื้อที่เกิดเนื้อแข็ง ซึ่งก็มีความสอดคล้องกับรายงานของ Velleman and Clark (2015) ที่พบว่ามีการแสดงออกของยีน Myostatin และยีน TGF- $\beta$ 1 เพิ่มขึ้นในกล้ามเนื้ออกที่เกิดเนื้อแข็งเมื่อเทียบกับกล้ามเนื้ออกที่ไม่เกิดเนื้อแข็ง และ Mutryn *et al.* (2015) ยังรายงานว่าในเนื้ออกไก่ที่เกิดการเสื่อมสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อมีการแสดงออกของยีน TGF- $\beta$ 3 มากกว่าในเนื้ออกไก่ที่ปกติ ซึ่งทั้งยีน Myostatin และยีน TGF- $\beta$  จะเป็นตัวยับยั้งการสร้างกล้ามเนื้อใหม่โดยจะยับยั้งการเพิ่มจำนวนและการเปลี่ยนสภาพของเซลล์เพื่อทดแทนเส้นใยกล้ามเนื้อที่

เสียหายจากการเกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อ (Massaqué *et al.* 1986; Amthor *et al.* 2002; McCroskery *et al.* 2003 อ้างโดย Clark and Velleman. 2017) Velleman and Clark (2015) พบว่าเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งในสายพันธุ์ A นั้นมีการแสดงออกของยีน Decorin สูงกว่าในเนื้ออกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งในสายพันธุ์ B รวมถึงในเนื้ออกไก่ที่ปกติในสายพันธุ์ B และสายพันธุ์ C ด้วย เนื่องจากว่าในกล้ามเนื้อของอกไก่ที่เกิดเนื้อแข็งในสายพันธุ์ A นั้นมีการครอสลิงก์กันของเส้นใยคอลลาเจนในระดับที่สูงกว่าสายพันธุ์ B และในเนื้ออกที่ปกติ ซึ่งยีน Decorin นั้นมีบทบาทในการช่วยให้เส้นใยคอลลาเจนมีขนาดเท่ากันและมีการจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมออีกทั้งยังเป็นตัวกลางในการครอสลิงก์ของคอลลาเจนอีกด้วย (Zhu *et al.* 2008) ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นสาเหตุให้เนื้อที่เกิดความผิดปกติของกล้ามเนื้อที่มีการแสดงออกของยีน Decorin เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.10** ค่าเฉลี่ย (EMS±SE) และอิทธิพลของระดับความรุนแรงของเนื้อแข็งและแถบลายสีขาวต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ

Myogenic gene expression n	Degree of WB				Degree of WS			p-value	
	0	1	2	3	0	1	2	WB	WS
	10	12	6	8	10	17	9		
MyoD1	4.38±1.08	6.74±0.89	5.85±1.26	5.69±1.10	4.33±0.99	6.97±0.78	5.69±1.08	0.398	0.117
Myogenin	4.76±1.19	6.24±0.98	6.81±1.40	8.20±1.22	6.36±1.10	7.55±0.87	5.60±1.19	0.296	0.420
Myostatin	4.44±1.29	6.72±1.07	6.79±1.52	5.19±1.32	4.83±1.19	6.27±0.94	6.27±1.29	0.452	0.586
Decorin	3.48±0.72	5.43±0.59	5.42±0.85	3.61±0.74	3.59±0.67	4.64±0.53	5.22±0.73	0.077	0.240
TGF-β	4.72±1.28	7.70±1.05	7.08±1.49	4.69±1.30	4.80±1.18	6.79±0.93	6.57±1.28	0.167	0.377

<sup>1</sup> อัตราส่วนของค่า starting quantity (SQ) ต่อปริมาณการแสดงออกของยีน GAPDH

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 อายุไม่มีผลต่อระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็ง อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณการเกิดแถบลายสีขาวในแต่ละระดับความรุนแรงนั้นมีปริมาณการเกิดที่ใกล้เคียงกัน โดยการเกิดแถบลายสีขาวที่ WS2 และ WS3 ของไก่ที่อายุ 51 วันมีปริมาณมากกว่าไก่ที่อายุ 43 วัน 3.2 และ 5.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

5.1.2 อายุไม่มีผลต่อลักษณะคุณภาพเนื้อทางกายภาพ ยกเว้นค่ากรด-ด่างที่ลดลงเพิ่มอายุเพิ่มขึ้น ค่าสีแดง ค่าความเหนียว และค่าแรงการเคี้ยวในเนื้อไก่ดิบและค่าการยึดเกาะในเนื้อไก่สุกเพิ่มขึ้นในเนื้ออกไก่ที่อายุ 53 วัน และไม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ ยกเว้นปริมาณไขมันที่มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น รวมทั้งปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ คือ MyoD1 Myogenin Myostatin Decorin และ TGF- $\beta$  ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเนื้ออกไก่ที่อายุ 43 และ 51 วัน

5.1.3 ระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า pH<sub>24</sub> ค่า L\* ค่า c\* การสูญเสีย น้ำระหว่างเก็บรักษา และการสูญเสีย น้ำระหว่างปรุงสุกมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า b\* มีค่าลดลงเมื่อระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งเพิ่มขึ้น ในส่วนขององค์ประกอบทางเคมีพบว่าเมื่อระดับความรุนแรงของการเกิดเนื้อแข็งเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นไขมัน คอลลาเจนที่ไม่ละลาย และคอลลาเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเถ้า คอลลาเจนที่ละลายได้ และความสามารถในการละลายของคอลลาเจนลดลง ในขณะที่ค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อดิบและเนื้อสุก และปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.1.4 ระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อคุณภาพกายภาพ ค่าเนื้อสัมผัสในเนื้อดิบและเนื้อสุก องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกล้ามเนื้อ ยกเว้นปริมาณโปรตีนที่ต่ำลงเมื่อระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อการเกิดแถบลายสีขาวในระดับความรุนแรงที่สูงขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เมื่อไก่อมีอายุเพิ่มขึ้นลักษณะของการเกิดแถบลายสีขาวในเนื้ออกไก่นั้นปรากฏลักษณะของริ้วลายที่เห็นได้ชัดเจนผิวของเนื้อหน้าอกซึ่งอาจทำให้ผู้บริโภคไม่พึงพอใจในการเลือกซื้อจึงควรมีการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อการเลือกซื้อเนื้ออกไก่ที่เกิดแถบลายสีขาวในกล้ามเนื้อ

5.2.2 การทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่าระดับความรุนแรงของการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งส่งผลให้ปริมาณไขมันในเนื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของไขมันในเนื้ออาจส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันต่าง ๆ ในเนื้อเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะถ้าปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งเป็นไขมันที่พบได้ในเนื้อสัตว์และมีความเกี่ยวข้องกับคอเลสเตอรอล (cholesterol) ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อร่างกายได้ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาในเรื่องของปริมาณกรดไขมันและปริมาณคอเลสเตอรอลเพื่อที่จะได้ทราบอย่างชัดเจนว่าการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในกล้ามเนื้อมีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมันและคอเลสเตอรอลหรือไม่

5.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งไม่ได้มาจากปัจจัยของอายุเพียงอย่างเดียวดังนั้นจึงควรศึกษาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ปัจจัยจากสายพันธุ์ ระดับพลังงานในอาหาร การจำกัดอาหาร เพื่อให้ทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งมากกว่ากัน และสามารถนำไปเป็นประโยชน์ต่อการหาวิธีลดปริมาณการเกิดแถบลายสีขาวและเนื้อแข็งในเนื้อได้

## บรรณานุกรม

- กองบำรุงพันธุ์สัตว์. 2546. พันธุ์สัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด.
- กลุ่มวิจัยเศรษฐกิจการปศุสัตว์. 2563. 4. ไก่เนื้อ สถานการณ์การผลิต และการตลาดไก่เนื้อประจำเดือนมิถุนายน 2563. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://extension.dld.go.th>. [20 มีนาคม 2563].
- ครวญ บัวศิริ มงคล เทพรัตน์ และธัญจิรา เทพรัตน์. 2561. “การพัฒนาการผลิตไก่เบตงในเชิงพาณิชย์ของเกษตรกรในอำเภอคลองหอยโข่งจังหวัดสงขลา.” วารสารเกษตรพระวรุณ. 15(1): 130-137.
- ชัยณรงค์ กันธพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- ประกากร ธาราฉาย. 2560. เอกสารประกอบการสอนวิชาการผลิตสัตว์ปีก. เชียงใหม่ : ภาควิชาสัตวศาสตร์ (สัตว์ปีก) คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ผกาแก้ว ทาระเกด บัญญัติ เหล่าไพบุลย์ และสัจจ กัณหาเรียง. 2563. “ความสัมพันธ์ของรูปแบบยีน MyoD ต่อน้ำหนักตัว และอัตราการเจริญเติบโตในไก่พื้นเมืองไทยพันธุ์ประดู่หางดำมข. 55 ไก่พื้นเมืองลูกผสมและไก่เนื้อ.” วารสารแก่นเกษตร. 48(3) : 527-534.
- มกอช. 6700-2548. 2548. เนื้อไก่. เล่มที่ 22. กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ตัณชัย จตุรติธา. 2547. การจัดการเนื้อสัตว์. เชียงใหม่ : โรงพิมพ์มิ่งเมือง.
- สายใจ กองเพชร และดำเนิน เสาะสืบงาม. 2563. “การเปรียบเทียบผลผลิตซากของไก่เนื้อที่เลี้ยงเชิงพาณิชย์สี่สายพันธุ์ที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทย.” วารสารสัตวแพทยศาสตร์ มข. 30(2) : 95-104.
- สุทธิพงษ์ อูริยะพงศ์สรรค์. 2537. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. ขอนแก่น : ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อังสุมา แก้วคต ณิชภัทรา ภมรสุตร ณิชววรรณ คงกระพัน ฉันทวีรัตน์ คุ้มครอง และอัจฉรา ชัยน. 2563. “การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ซาก ปริมาณคอเลสเตอรอลและคอแลลาเจนในเนื้อไก่ไข่ที่อายุ 75 และ 80 สัปดาห์.” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 51(1) : 55-65.
- Aberle, E.D., Forrest, J.C., Gerrard, D.E. and Mills, E.W. 2001. **Principles of Meat Science.** 4<sup>th</sup> ed. Dubuque, LA : Kendall Hunt Pub.
- Aguirre, M.E., Owens, C.M., Miller, R.K. and Alvarado, C.Z. 2018. “Descriptive sensory and instrumental texture profile analysis of woody breast in marinated chicken.” **Poultry Science.** 97 : 1456–1461.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Allen, C.D., Fletcher, D.L., Northcutt, J.K. and Russell, S.M. 1998. “The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life.” **Poultry Science**. 77 : 361–366.
- Amirinia, C., Seyedabadi, H.R., Amirmozafari, N., Torshizi, R.V., Chamani, M., Aliabad, A.J. and Abbasi, M.A. 2011. “Association of transforming growth factor- $\beta$ 3 gene polymorphism with growth and body composition traits in Iranian commercial broiler lines.” **African Journal of Biotechnology**. 10(10) : 1784-1788.
- An Aviagen Brand. 2022. **Ross**. [Online]. Available : <https://ap.aviagen.com/brands/ross/products/ross-308>. [2022, July 1].
- AOAC. 1999. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 2<sup>nd</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17<sup>th</sup> ed. (Horwitz, W. ed.). Washington D.C.
- Baéza, E., Arnould, C., Jiali, M., Chartrin, P., Gigaud, V., Mercierand, F., Durand, C., Méteau, K., Le Bihan-Duval, E., and Berri, C. 2012. “Influence of increasing slaughter age of chickens on meat quality, welfare, and technical and economic results.” **Journal of Animal Science**. 90 : 2003-2013.
- Bailey, A.J. and Light N.D. 1989. **Connective tissue in meat and meat products**. London : Elsevier Applied Science.
- Baldi, G., Soglia, F., Mazzoni, M., Sirri, F., Canonico, L., Babini, E., Laghi, L., Cavani, C., and Petracci, M. 2018. “Implications of white striping and spaghetti meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers.” **Animal**. 12(1) : 164-173.
- Baldi, G., Soglia, F., Laghi, L., Tappi, S., Rocculi, P., Tavaniello, S., Prioriello, D., Mucci, R., Maiorano, G., and Petracci, M. 2019. “Comparison of quality traits among breast meat affected by current muscle abnormalities.” **Food Research International**. 115 : 369-376.
- Barbut, S., Zhang, L., and Marcone, M. 2005. “Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets.” **Poultry Science**. 84 : 797–802.
- Berkes, C.A. and Tapscott, S.J. 2005. “MyoD and the transcriptional control of myogenesis: review.” **Seminars in Cell & Developmental Biology**. 16(4-5) : 585-595.

Bourne, M.C. 1978. “Texture profile analysis.” **Food Technology**. 32 : 62-66.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Burghagen, M. 1999. **Collagen in food chemistry**. 2<sup>nd</sup> ed. (Belitz, H.D. and Groseh, W., eds.). Berlin : Springer-verlag.
- Clark, D.L. and Vellemen, S.G. 2017. “Spatial influence on breast muscle morphological structure, myofiber size, and gene expression associated with the wooden breast myopathy in broilers.” **Poultry Science**. 95 : 2930-2945.
- Coban, O., Lacin, E., Aksu, M.I., Kara, A., and Sabuncouglu, N. 2014. “The impact of slaughter age on performance, carcass traits, properties of cut-up pieces of carcasses, and muscle development in broiler chickens.” **European Poultry Science**. 78 : 1399-1409.
- Compo, M.M., Mur, L., Guerrero, A., Barahona, M., Resconi, V.C., Magalhaes, D.R., Lisbinski, E., Boito, B., Oliveira, I.M., and Olleta, J.L. 2020. “Differentiating breast myopathies through color and texture analysis in broiler.” **Foods**. 9(6) : 824-835.
- Cruz, R.F.A., Vieira, S.L., Kindlein, L., Kipper, M., Cemin, H.S., and Rauber, S.M. 2017. “Occurrence of white striping and wooden breast in broiler fed grower and finisher diets with increasing lysine level.” **Poultry Science**. 96 : 501-510.
- Davis, R.L., Weintraub, H., and Lassar, A.B. 1987. “Expression of a single transfected cDNA converts fibroblasts to myoblasts.” **Cell**. 51(6) : 987–1000.
- Dushyanth, K., Bhattacharya, T.K., Shukla, R., Chatterjee, R.N., Sitaramamma, T., Paswan, C., and Guru Vishnu, P. 2016. “Gene Expression and Polymorphism of Myostatin Gene and its Association with Growth Traits in Chicken.” **Animal Biotechnology**. 27 : 269-277.
- FAO. 2019. **Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets**. Rome : CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO. 2022. **Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets**. Rome : CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Ferreira, T.Z., Kindlein, L., Flees, J.J., Shortnacy, L.K., Vieira, S.L., Nascimento, V.P., Meloche, K.J., and Jessica, D.S. 2020. “Characterization of pectoralis major muscle satellite cell population heterogeneity, macrophage density, and collagen infiltration in broiler chickens affected by wooden breast” **Frontiers in Physiology**. 11 : 529-540.
- Friedman, H.H., Whitney, J.E., and Szczesniak, A.S. 1963. “The texturometer-a new instrument for objective texture measurement.” **Journal of Food Science**. 28 : 390-396.
- Gracia, R.G., Freitas, L.W., Schwingel, A.W., Farias, R.M., Caldara, F.R., Gabriel, A.M.A., Graciano, J.D., Komiyama, C.M., and Almeida Paz, I.C.L. 2010. “Incidence and physical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- properties of PSE chicken meat in a commercial processing plant.” **Brazilian Journal of Poultry Science**. 12(4) : 233-237.
- Glamoclija, N., Starcevic, M., Janjic, J., Ivanovic, J., Boskovic, M., Djordjevic, J., Markovic, R., and Baltic M. Z. 2015. “The effect of breed line and age on measurements of pH-value as meat quality parameter in breast muscles (*m. pectoralis major*) of broiler chickens.” **Procedia Food Science**. 5 : 89-92.
- Gratta, F., Fasolato, L., Birolo, M., Zomeno, C., Novelli, E., Petracchi, M., Pascual, A., Xiccato, G., and Trocino, A. 2019. “Effect of breast myopathies on quality and microbial shelf life of broiler meat.” **Poultry Science**. 98 : 2641-2651.
- Griffin, J.R., Moraes, L., Wick, M., and Lilburn, M.S. 2018. “Onset of white striping and progression into wooden breast as defined by myopathic changes underlying *Pectoralis major* growth. Estimation of growth parameters as predictors for stage of myopathy progression.” **Avian Pathology**. 47(1) : 2-13.
- Groshong, A.M. and Blevins, J.S. 2014. “Chapter Two- Insights into the biology of *Borrelia burgdorferi* gained through the application of molecular genetics.” 41-143. in Sariaslani, S. and Gadd, G.M. **Advances in Applied Microbiology**. California : Academic Press.
- Hill, F. 1966. “The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages.” **Journal of Food Science**. 31(2) : 161-166.
- Juturasitha, S. 2004. **Meat Management**. Chiang Mai : Mingmuang Press.
- Kerry, J. and Ledward, D. 2002. **Meat Processing: Improving Quality**. New York : CRC Press.
- Khalil, S., Saenbungkhor, N., Kesnava, K., Sivapirunthep, p., Sitthigripong, R., Jumanee, S., and Chaosap, C. 2021. “Effects of guanidinoacetic acid supplementation on productive performance, pectoral myopathies, and meat quality of broiler chickens.” **Animals**. 11(11) : 3180.
- Kissel, C., Soares, A.L., Rossa, A., and Shimokomaki, M. 2009. “Functional properties of PSE (*Pale, Soft, Exudative*) broiler meat in the production of mortadella.” **Brazilian Archives of Biology and Technology**. 52 : 213-217.
- Kurnoth, T., Salomon, F., and Gille, U. 1994. “Quantitative changes in the capillary supply of selected muscles of turkeys, ducks, rats and swine during postnatal development.” **Anatomia Histologia Embryologia**. 23 : 21-39.

- Kuttappan, V.A., Brewer, V.B., Apple, J.K., Waldroup, P.W., and Owens, C.M. 2012a. “Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets.” **Poultry Science**. 91 : 2677–2685.
- Kuttappan, V.A., Lee, Y.S., Erf, G.F., Meullenet, J.F.C., McKee, S.R., and Owens, C.M. 2012b. “Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping.” **Poultry Science**. 91 : 1240-1247.
- Kuttappan, V.A., Shivaprasad, H.L., Shaw, D.P., Valentine, B.A., Hargis, B.M., Clark, F.D., McKee, S.R., and Owens, C. M. 2013. “Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles.” **Poultry Science**. 92 : 331–338.
- Kuttappan, V. A., Hargis, B.M., and Owens, C.M. 2016. “White striping and woody Breast myopathies in the modern poultry industry: a review.” **Poultry Science**. 95 : 2724-2733.
- Lawrie, R. 1981. **Developments in Meat Science-2**. London and New Jersey : Applied Science.
- Lesiow, T., Szmanko, T., Korzeniowska, M., Bobak, L., and Oziemblowski, M. 2009. “Influence of the season of the year on some technological parameters and ultrastructure of PSE, normal and DFD chicken breast muscles.” 21-25, in **Proceedings XIX. European Symposium on the Quality of Poultry Meat**. Finland : Turku.
- Li, H., Deeb, N., Zhou, H., Mitchell, A.D., Ashwell, C.M., and Lamont, S.J. 2003. “Chicken quantitative trait loci for growth and body composition associated with transforming growth factor- $\beta$  genes.” **Poultry Science**. 82 : 347-356.
- Li, K., Zhao, Y.Y., Kang, Z.L., Wang, P., Han, M.Y., Xu, X.L., and Zhou, G.H. 2015. “Reduced functionality of PSE-like chicken breast meat batter resulting from alterations in protein conformation.” **Poultry Science**. 94 : 111–122.
- Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L. Picard. B., and Bugeon, J. 2016. **How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality**. [Online]. Available : <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2016/3182746/>. [2016, March 20].
- Lorenzi, M., Mudalal, S., Cavani, C., and Petracchi, M. 2014. “Incidence of white striping under commercial conditions in medium and heavy broiler chickens in Italy” **The Journal of Applied Poultry Research**. 23 : 754-758.

- Lullo, G.A.D., Sweeney, S.M., Korkko, J., Ala-Kokko, L., and San Antonio, J.D. 2002. "Mapping the ligand-binding sites and disease-associated mutations on the most abundant protein in the human, type I collagen." **Journal of Biology Chemistry.** 277(6) : 4223-4231.
- Lyon, C. E., Hamm, D., Hudspeth, J. P., and Benoff, F. H. 1984. "Effects of age and sex on the texture profile of hot stripped broiler breast meat." **Poultry Science.** 63 : 2508-2510.
- Maharjan, P., Owens, C.M., and Coon, C. 2020. "In-vivo Intramuscular collagen synthesis, muscle fiber growth and histomorphology of *Pectoralis major* of a fast-growing broiler strain *Gallus gallus domesticus*." **Frontiers in Veterinary Science.** 6 : 470-481.
- Malila, Y., U-chupaj, J., Srimarut, Y., Chaiwiwattrakul, P., Uengwetwanit, T., Arayamethakorn, S., Punyapornwithaya, V., Sansamur, C., Kirschke, C.P., Huang, L., Tapaamorndech, S., Petracci, M., Rungrassamee, W., and Visessanguan, W. 2018. "Monitoring of white striping and wooden breast cases and impacts on quality of breast meat collected from commercial broilers (*Gallus gallus*)." **Asian-Australasian Journal Animal Science.** 31(11) : 1807-1817.
- Mazzoni, M., Petracci, M., Meluzzi, A., Cavani, C., Clavanzani, P., and Sirri, F. 2015. "Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat." **Poultry Science.** 94 : 123-130.
- McPherron, A.C., Lawler, A.M., and Lee, S.J. 1997. "Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF- $\beta$  superfamily member." **Nature Journal.** 387 : 83-90.
- Mello, J.L.M., Souza, R.A., Ferrari, F.B., Cavalcanti, E.N.F., Oliveira, R.F., Fidelis, H.A., Pereira, M.R., Villegas-Cayllahua, E.A., Giampietro-Ganeco, A., Dutra, D.R., Souza, P.A., and Borba, H. 2021. "Quality of breast meat from broiler chickens raised in Brazil affected by white striping myopathy." **Research, Society and Development.** 10(2) : 2-12.
- Michalczyk, M., Józwiak, A., Damaziak, K., Zdanowska-Sasiadek, Z., Marzec, A., Gozdowski, D., and Strzalkowska, N. 2016. "Age-related changes in the growth performance, meat quality, and oxidative processes in breast muscles of three chicken genotypes." **Turkish Journal of Veterinary and Animal Science.** 40 : 389-398.
- Mir, N.A., Rafiq, A., Kumar, F., Singh, V., and Shukla, V. 2017. "Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review." **Journal of Food Science and Technology.** 54 : 2997-3009.

- Mudalal, S., Babini, E., Cavani, C., and Petracci, M. 2014. “Quantity and functionality of protein fractions in chicken breast fillets affected by white striping.” **Poultry Science**. 93 : 2108–2116.
- Mudalal, S., Lorenzi, M., Soglia, F., Cavani, C., and Petracci, M. 2015. “Implication of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat.” **Animal Consortium**. 9 : 728-734.
- Mutryn, M.F., Brannick, E.M., Fu, W., Lee, W.R., and Abasht, B. 2015. “Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing.” **BMC Genomics**. 16 : 399-418.
- National Chicken Council. 2022. **Statistics and research: U.S. Broiler Performance**. [Online]. Available : <https://www.nationalchickencouncil.org/about-the-industry/statistics/u-s-broiler-performance/>. [2022, July 1].
- NRC. 1994. **Nutrient requirements of chickens**. Ninth Revised Edition. In, NRC Ed., Nutrient requirements of poultry. ISBN 0-309-59632-7, 19-34. Washington, USA: National Academic Press.
- Oliveira, R.F., Mello, J.L.M., Ferrari, F.B., Cavalcanti, E.N.F., Souza, R.A., Pereira, M.R., Giampietro-Ganaco, A., Villegas-Cayllahua, E.A., Fidelis, H.A., Fávero, M.S., Amoroso, L., Souza, P.A., and Borba, H. 2021. “Physical, chemical and histological characterization of *Pectoralis major* muscle of broiler affected by wooden breast myopathy.” **Animals**. 11 : 596-611.
- Park, S.Y. and Kim, H.Y. 2021. “Effects of marketing ages on the physicochemical properties and sensory aspects of cured broiler chicken breast meat.” **Foods**. 10 : 2152-2164.
- Petracci, M. and Cavani, C. 2012. “Muscle growth and poultry meat quality issues.” **Nutrients**. 4(1): 1–12.
- Petracci, M., Mudalal, S., Bonfiglio, A., and Cavani, C. 2013. “Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens.” **Poultry Science**. 92:1670–1675.
- Petracci, M., Mudalal, S., Babini, E., and Cavani, C. 2016. “Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat.” **Italian Journal of Animal Science**. 13(1) : 179-183.

- Petracci, M., Soglia, F., and Berri, C. 2017. "Chapter 3 : Muscle metabolism and meat quality abnormalities." 51-75. in Bandcira, N. **Poultry Quality Evaluation**. United Kingdom : Wood head.
- Petracci, M., Soglia, F., Madruga, M., Carvalho, L., Ida, E., and Estévez, M. 2019. "Wooden breast, white Striping, and spaghetti meat: causes, consequences and consumer perception of emerging broiler meat abnormalities." **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 18(2): 565-583.
- Price, J.F. and Schweigert, B.S. 1971. **The Science of Meat and Meat Product**. 2<sup>nd</sup> ed. San Francisco : W.H. Freeman.
- Qiao, M., Fletcher, D.L., Smith, D.P., and Northcutt, J.K. 2002. "Effects of raw broiler breast meat color variation on marination and cooked meat quality." **Poultry Science**. 81 : 276-280.
- Radaelli, G., Piccirillo, A., Birolo, M., Bertotto, D., Gratta, F., Ballarin, C., Vascellari, M., Xiccato, G., and Trocino, A. 2017. "Effect of age on the occurrence of muscle fiber degeneration associated with myopathies in broiler chickens submitted to feed restriction." **Poultry Science**. 96 : 309-319.
- Ribeiro, J.S., Silva, L.K.R., and Silva, M.V. 2021. "Natural Antioxidants Used in Meat Products." 2-29. in Ekiert, H. M., Ramawat, K.G., and Arora, J. **Plant Antioxidants and Health**. New York city : Springer Cham.
- Rudnicki, M.A., Schnegelsberg, P.N.J., Stead, R.H., Braun, T., Arnold, H.H., and Jaenisch, R. 1993. "MyoD or Myf-5 is required for the formation of skeletal muscle." **Cell**. 75(7) : 1351–1359.
- Rühland, C., Schönherr, E., Robenek, H., Hansen, U., Lozzo, R.V., Bruckner, P., and Seidler, D.G. 2007. "The glycosaminoglycan chain of Decorin plays an important role in collagen fibril formation at the early stages of fibrillogenesis." **The FEBS Journal**. 274 : 4246-4255.
- Russo, E., Drigo, M., Longoni, C., Pezzotti, R., Fasoli, P., and Recordati, C. 2015. "Evaluation of white striping prevalence and predisposing factors in broilers at slaughter." **Poultry Science**. 94 : 1843–1848.
- Sandercock, D.A., Hunter, R.R., Nute, G.R., Mitchell, M.A., and Hocking, P.M. 2001. "Acute heat stress induced alterations in blood acid-base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: implication of meat quality." **Poultry Science**. 80: 418-425.

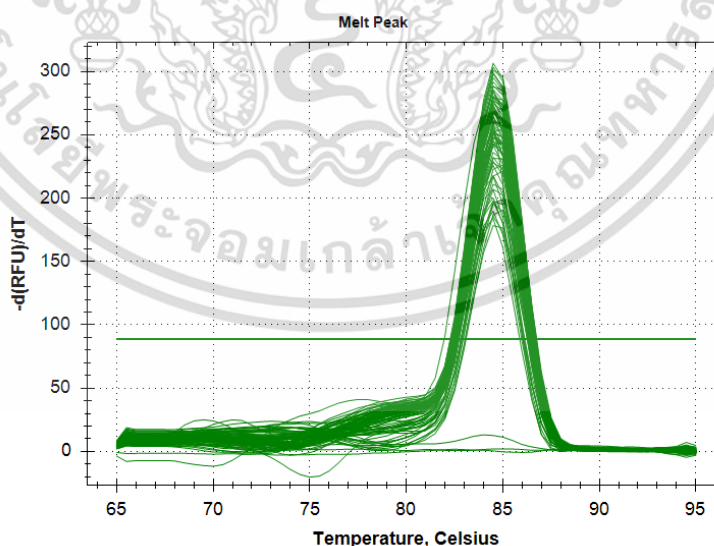
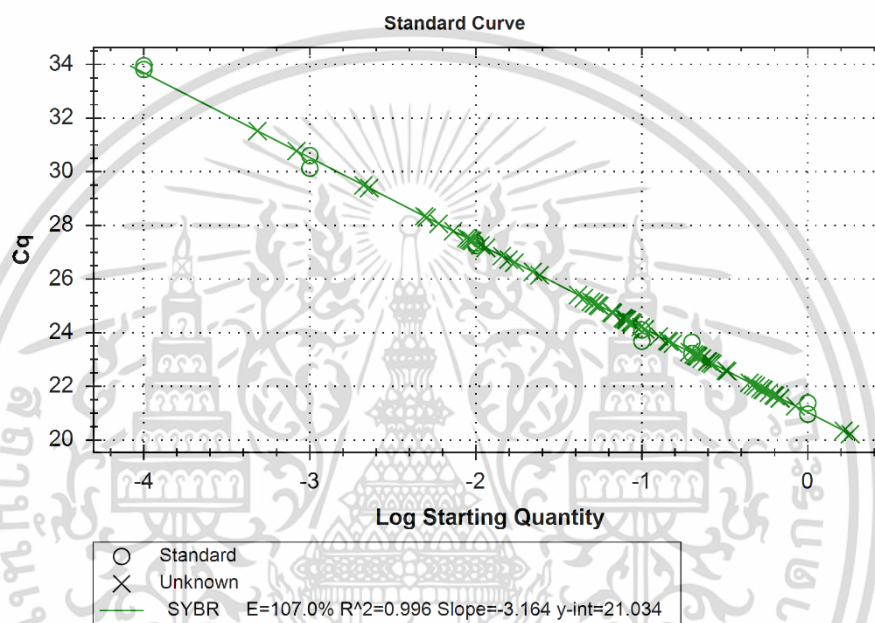
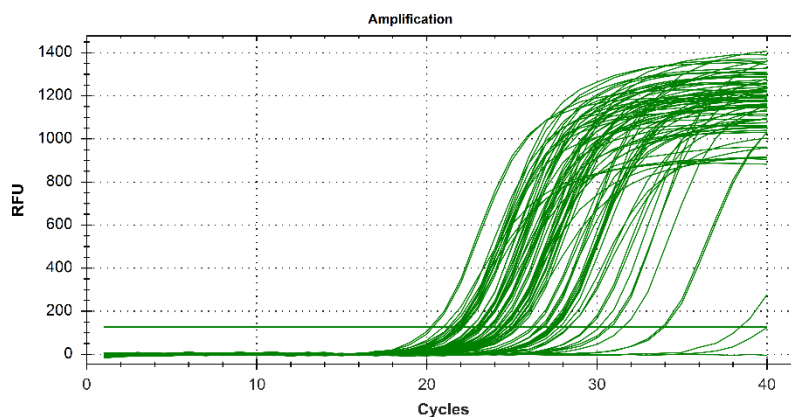
- Sihvo, H.K., Immonen, K., and Puolanne, E. 2014. “Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers.” **Veterinary Pathology.** 51(3) : 619-623.
- Sobczak-Kupiec, A., Drabczyk, A., Florkiewicz, W., Glab, M., Kudlacik-Kramarczyk, S., Slota, D., Tomala, A., and Tyliczszak, B. 2021. “Review of the Applications of Biomedical Compositions Containing Hydroxyapatite and Collagen Modified by Bioactive Components.” **Materials.** 14 : 2096-2147.
- Soglia, F., Mudalal, S., Babini, E., Nunzio, M.D., Mazzoni, M., Sirri, F., Cavani, C., and Petracci, M. 2016. “Histology, composition, and quality traits of chicken *Pectoralis major* muscle affected by wooden breast abnormality.” **Poultry Science.** 95 : 651-659.
- Soglia, F., Silva, A.K., Lião, L.M., Laghi, L., and Petracci, M. 2019. “Effect of broiler breast abnormality and freezing on meat quality and metabolites assessed by <sup>1</sup>H-NMR spectroscopy.” **Poultry Science.** 98 : 7139-7150.
- Taweechue, K., Lertwatcharasarakul, P., Limjindaporn, T., Tumwasorn, S., and Rukkamsuk, T. 2014. “The Myostatin gene : Sequence variation and its application in animal breeding.” **Journal of Kasetsart Veterinarians.** 24(3) : 127-140.
- Tijare, V.V., Yang, F.L., Kuttappan, V.A., Alvarado, C.Z., Coon, C.N., and Owens, C.M. 2016. “Meat quality of broiler breast fillets with white striping and wooden breast muscle myopathies.” **Poultry Science.** 95 : 2167-2173.
- Trocino, A., Piccirillo, A., Birolo, M., Radaelli, G., Bertotto, D., Filiou, E., Petracci, M., and Xiccato, G. 2015. “Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and woody breast in broiler chickens.” **Poultry Science.** 94 : 2996–3004.
- Varmaghany, S., Jafari, H. and Ahmadpanah, J. 2020. “Evaluation of cardiac status, ascites related factors and growth performance of five commercial strains of broiler chickens.” **Animal Science.** 43(1) : 1-12.
- Velleman, S. G. and Clark, D. L. 2015. “Histopathologic and myogenic gene expression changes associated with wooden breast in broiler breast muscles.” **Avian Diseases.** 59(3) : 410–418.
- Western Sydney Hawkesbury, University. 1997. **Meat and Milk Processing Workshop, Monday 26<sup>th</sup> May-Friday 18<sup>th</sup> July.** Western Sydney : Australia.

- Wilkins, L.J., Brown, S.N., Phillips, A.J., and Warriss, P.D. 2000. "Variation in the colour of broiler breast fillets in the UK." **British Poultry Science**. 41(3) : 308–312.
- Woelfel, R.L., Owens, C.M., Hirschler, E.M., Martinez-Dawson, R., and Sams, A.R. 2002. "The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant." **Poultry Science**. 81 : 579–584.
- Yang, F., Lei, X., Rodriguez-Palacios, A., Tang, C., and Yue, H. 2013. "Selection of reference genes for quantitative real-time PCR analysis in chicken embryo fibroblasts infected with avian leukosis virus subgroup J." **BMC Research Notes**. 6 : 402-407.
- Ye, X., Brown, S.R., Nones, K., Coutinho, L.L., Dekkers, J.C.M., and Lamont, S.J. 2007. "Associations of myostatin gene polymorphisms with performance and mortality traits in broiler chickens." **Genetics Selection Evolution**. 39(1) : 73-89.
- Yin, H., Zhang, S., Gilbert, E.R., Siegel, P.B., Zhu, Q., and Wong, E.A. 2014. "Expression profiles of muscle genes in postnatal skeletal muscle in lines of chicken divergently selected for high and low body weight." **Poultry Science**. 93 : 147-154.
- Young, L.L., Northcutt, J.K., Buhr, R.J., Lyon, C.E., and Ware, G.O. 2001. "Effects of age, sex, and duration of postmortem aging on percentage yield of parts from broiler chicken carcasses." **Poultry Science**. 80 : 376-379.
- Zhang, L. and Barbut, S. 2007. "Rheological characteristics of fresh and frozen PSE, normal and DFD chicken breast meat." **British Poultry Science**. 46(6) : 687-693.
- Zhang, G., Ding, F., Wang, J., Dai, G., Xie, K., Zhang, L., Wang, W., and Zhou, S. 2011. "Polymorphism in exon of the Myostatin gene and its relationship with body weight traits in the Bian chicken." **Biochemical Genetics**. 49(1) : 9-19.
- Zhu, W., Robey, P.G., and Boskey, A.L. 2008. "Chapter 9 – The regulatory role of matrix proteins in mineralization of bone." 191-240. in Marcus, R. **Osteoporosis**. 3<sup>rd</sup> ed. California : Academic Press.



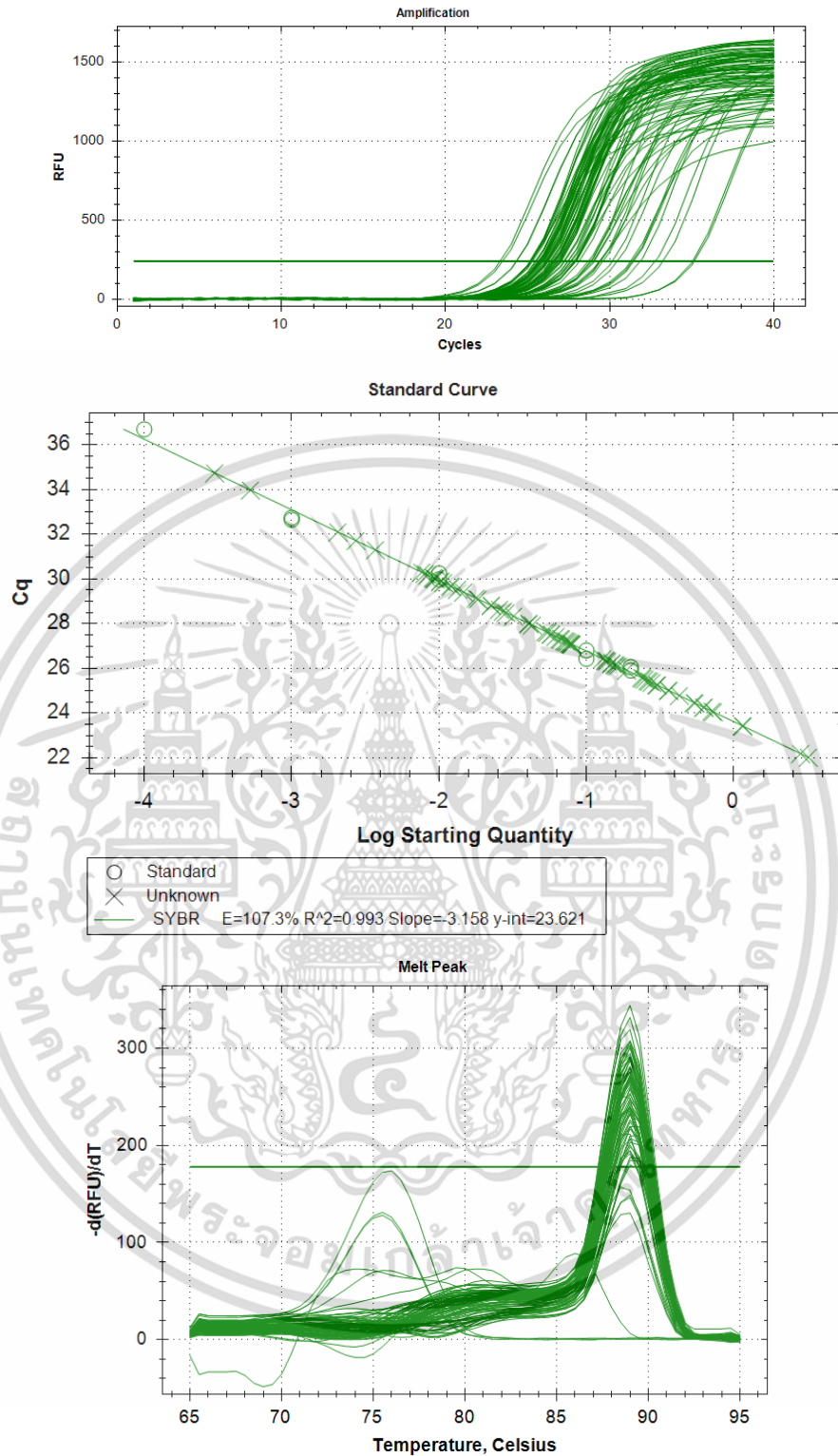
## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



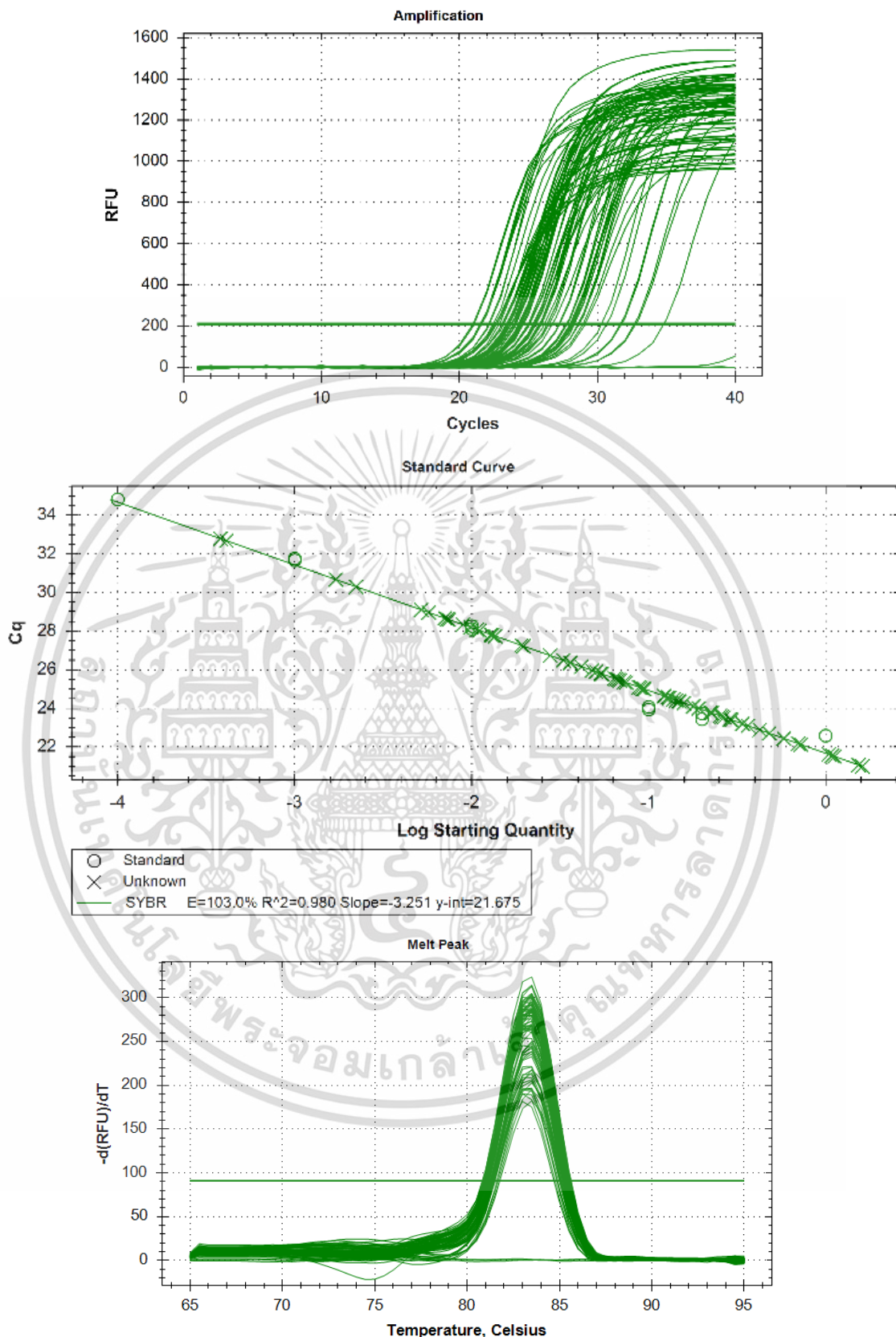
ภาพภาคผนวกที่ 1 ปฏิบัติการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ (amplification) กราฟมาตรฐาน (Standard Curve) และกราฟระหว่างสัญญาณการเรืองแสงที่ลดลงต่อเวลาในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิ (melt peak) ของยีน MyoD1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



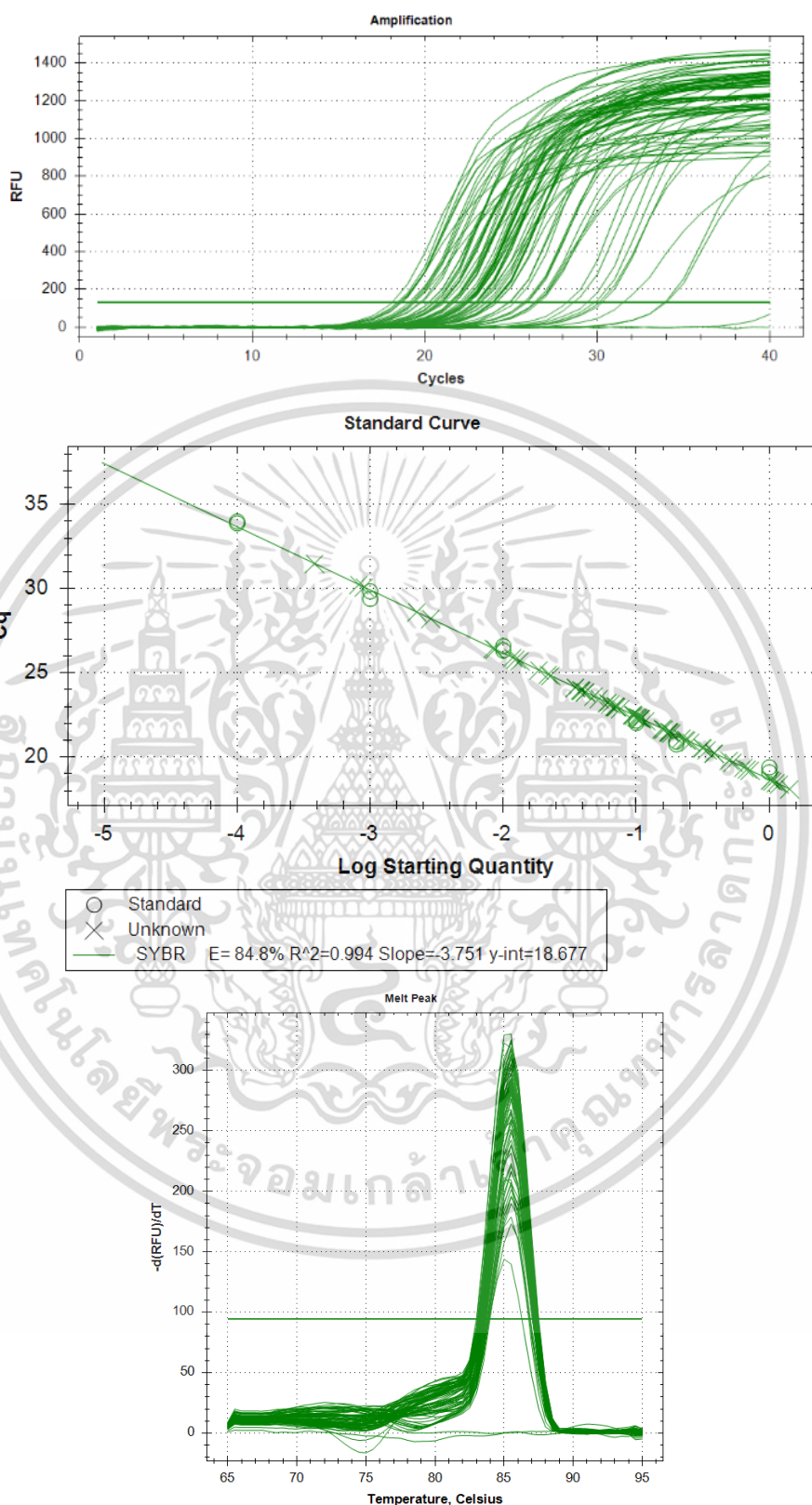
ภาพภาคผนวกที่ 2 ปฏิบัติการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ (amplification) กราฟมาตรฐาน (Standard Curve) และกราฟระหว่างสัญญาณการเรืองแสงที่ลดลงต่อเวลาในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิ (melt peak) ของยีน Myogenin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



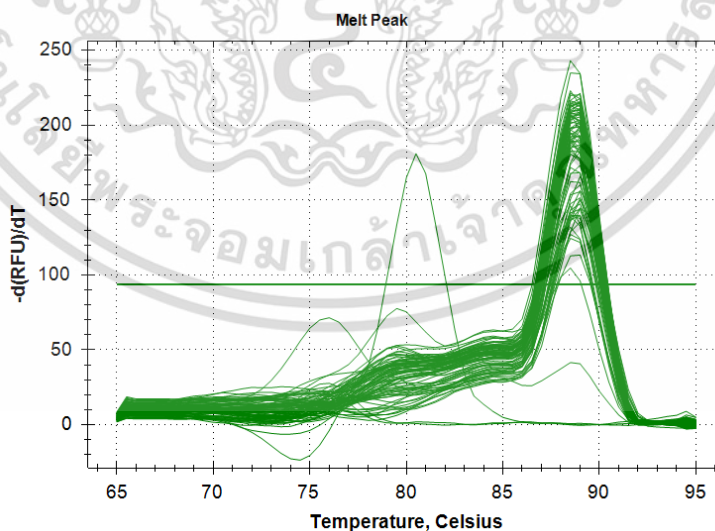
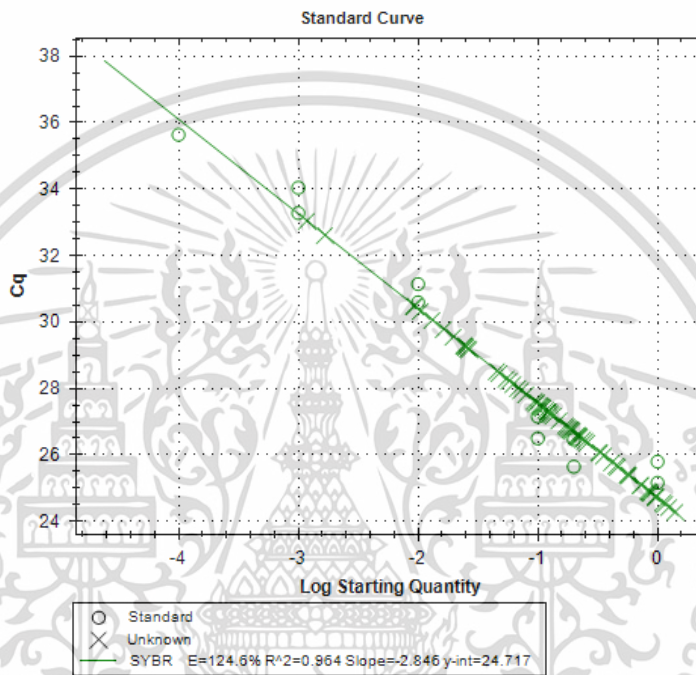
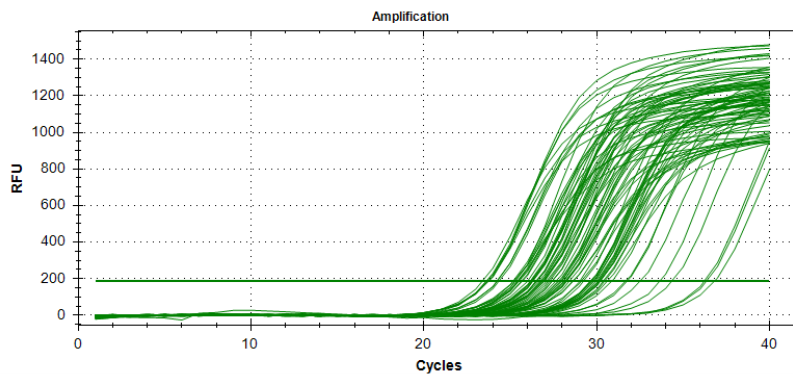
ภาพภาคผนวกที่ 3 ปฏิบัติการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ (amplification) กราฟมาตรฐาน (Standard Curve) และกราฟระหว่างสัญญาณการเรืองแสงที่ลดลงต่อเวลาในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิ (melt peak) ของยีน Myostatin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



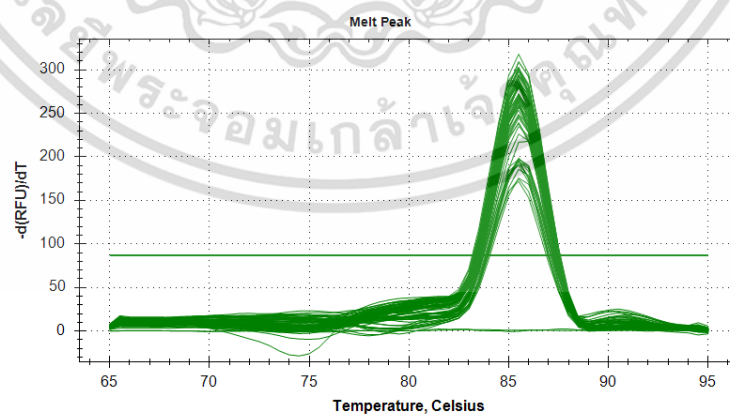
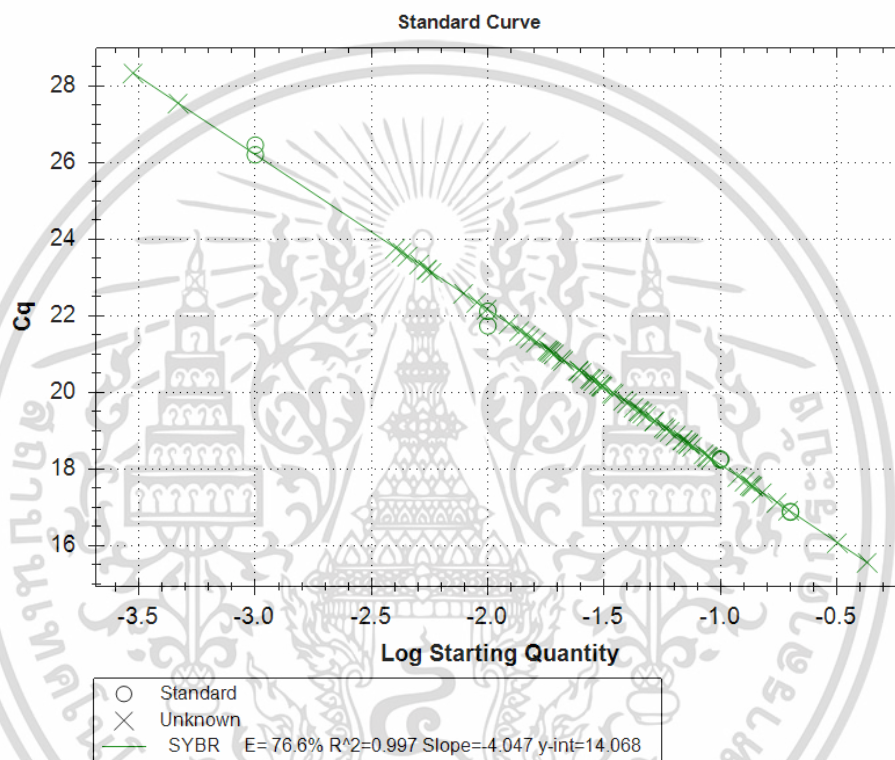
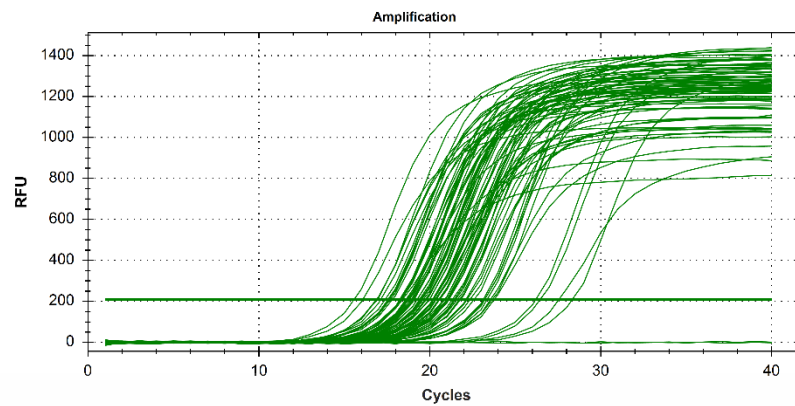
ภาพภาคผนวกที่ 4 ปฏิบัติการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ (amplification) กราฟมาตรฐาน (Standard Curve) และกราฟระหว่างสัญญาณการเรืองแสงที่ลดลงต่อเวลาในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิ (melt peak) ของยีนDecorin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ 5 ปฏิบัติการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ (amplification) กราฟมาตรฐาน (Standard Curve) และกราฟระหว่างสัญญาณการเรืองแสงที่ลดลงต่อเวลาในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิ (melt peak) ของยีน Transforming growth factor  $\beta$  (TGF- $\beta$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ 6 ปฏิบัติการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอ (amplification) กราฟมาตรฐาน (Standard Curve) และกราฟระหว่างสัญญาณการเรืองแสงที่ลดลงต่อเวลาในขณะที่มีการเพิ่มอุณหภูมิ (melt peak) ของยีน GAPDH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวศุภกัญญา จูมณี
วัน เดือน ปีเกิด	27 กันยายน 2539
ที่อยู่	39/40 ตำบลบางเมืองใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270
ประวัติการศึกษา	2561 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิชาการ	Jumanee, S., Chaosap, C., Sivapirunthep, P., Klompanya, A., Setakul, J., and Sitthigripong, R. 2022. "Influence of age on the incidence of wooden breast and white striping, carcass composition, meat physicochemical property, texture profile, and chemical composition of broiler chickens." <b>International Journal of Agricultural Technology</b> . 18(1) : 193-204. Khalil, S., Saenbungkhor, N., Kesnava, K., Sivapirunthep, p., Sitthigripong, R., Jumane, S., and Chaosap, C. 2021. "Effects of guanidinoacetic acid supplementation on productive performance, pectoral myopathies, and meat quality of broiler chickens." <b>Animals</b> . 11(11) : 3180.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้