# ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองไทย และคุณภาพซาก

# THE EXPRESSION OF MEAT QUALITY RELATED GENES OF THAI NATIVE PIGS AND CARCASS QUALITY


**เนตรอนงค์ ผลเกตุ**

**NETANONG PHONKATE**


**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิชาสัตวศาสตร์**

**คณะเทคโนโลยีการเกษตร**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**พ.ศ. 2564**


**KMITL-2021-AG-M-031-335**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# THE EXPRESSION OF MEAT QUALITY RELATED GENES OF THAI NATIVE PIGS AND CARCASS QUALITY

**NETANONG PHONKATE**

**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**

**2021**

**KMITL-2021-AG-M-031-335**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 2021**

**FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองไทยและคุณภาพซาก |
| **นักศึกษา** | เนตรอนงค์ ผลเกตุ |
| **รหัสประจำตัว** | 61604031 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | สัตวศาสตร์ |
| **พ.ศ.** | 2564 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | รศ.ดร.รณชัย สิทธิไกรพงษ์ |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** | ผศ.ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์ |

## บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซาก คุณภาพเนื้อ และปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละลักษณะที่ศึกษา สุกรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นสุกรพื้นเมืองไทยเพศผู้ตอนจากภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ จำนวน 41 ตัว มีน้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 21.23 ± 6.10 กิโลกรัม สุกรพื้นเมืองทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม สุกรแต่ละกลุ่มได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 12 14 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ สุกรแต่ละตัวถูกเลี้ยงในกรงขังเดี่ยว ระหว่างการเลี้ยงให้อาหารแบบเต็มที่ มีน้ำให้กินตลอดเวลา บันทึกสมรรถภาพการผลิตทุกสามสัปดาห์จนสุกรมีน้ำหนักได้ประมาณ 60 กิโลกรัม หลังจากนั้นนำสุกรทุกตัวเข้าฆ่าและชำแหละซาก ทำการเก็บข้อมูลคุณภาพซาก เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*, LD) เพื่อศึกษาคุณภาพเนื้อและปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ ผลการศึกษาพบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกันมีสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก คุณภาพเนื้อ และปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ คือ Calpain1 (CAPN1), Calpain2 (CAPN2), Calpastatin (CAST), Matrix Metalloproteinase (MMP2) และ Tissue Inhibitors of Matrix Metalloproteinases (TIMP1) รวมถึงยีนที่ควบคุมการสร้างชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ คือ Myosin Heavy Chain isoforms (MyHC) ทั้ง 4 ชนิด MyHC-I MyHC-IIa MyHC-IIb และ MyHC-IIx ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นปริมาณโปรตีนในเนื้อที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสุกรที่กินอาหารโปรตีน 14 และ 16 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนในเนื้อสูงกว่าเมื่อเทียบกับสุกรที่กินอาหารโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสุกรพื้นเมืองไทยที่กินอาหารโปรตีน 18 เปอร์เซ็นต์มีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสุกรที่กิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำกว่า ดังนั้นสามารถใช้อาหารที่มีระดับโปรตีนในอาหาร 14 เปอร์เซ็นต์เลี้ยงสุกรพื้นเมืองได้ดีเพราะมีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัวถูกกว่า เนื้อมีปริมาณไขมันแทรกและปริมาณโปรตีนสูงกว่ากลุ่มอื่น

ผลการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ศึกษาพบว่า $pH_{45}$ มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณการแสดงออกของของยีน MyHC-IIa ค่า $pH_{24}$ มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่า b* และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกแต่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวซาร์โคเมียร์ ค่า L* มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกแต่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวซาร์โคเมียร์และปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIa และพบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณการแสดงออกของยีน CAST MMP2 TIMP1 และ MyHC-I ปริมาณการแสดงออกของยีน CAST มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณการแสดงออกของยีน TIMP1 MyHC-IIa แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับ MyHC-IIx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | The Expression of Meat Quality Related Genes of Thai Native Pigs and Carcass Quality |
| **Student** | Miss. Netanong Phonkate |
| **Student ID.** | 61604031 |
| **Degree** | Master of Science |
| **Program** | Animal Science |
| **Year** | 2021 |
| **Thesis Advisor** | Assoc. Prof. Dr. Ronachai Sitthigripong |
| **Thesis Co-Advisor** | Asst. Prof. Dr. Chanporn Chaosap |


# ABSTRACT

The objectives of this research were to study the influence of dietary protein levels on the expression of meat quality related genes of Thai native pigs, carcass quality, productive performance, and meat quality. Thai native pigs in this study were derived from 3 regions of Thailand consisted (1) northern native pigs from Mae Hong Son province, (2) northeast native pigs from Ubon Ratchathani province, and (3) southern native pigs from Nakhon Si Thammarat province. There were 41 Thai native castrated male pigs with average initial body weight 21.23 ± 6.10 kg. All pigs were randomly divided into 4 feeding groups and each group of pigs were fed with different protein levels 12, 14, 16, and 18 percent. Each pig was raised in an individual cage. They were fed ad libitum and water was supplied all time. The pig performances were recorded every 3 weeks until they reached 60 kg body weight. All of them were slaughtered and carcass quality data were collected. The *Longissimus dorsi* (LD) muscle from each carcass was collected for meat quality traits and the expression of meat tenderness related genes. The results showed that productive performance, carcass quality, meat quality and the expression of meat tenderness related genes which were Calpain1 (CAPN1), Calpain2 (CAPN2), Calpastatin (CAST), Matrix Metalloproteinase (MMP2), and Tissue Inhibitors of Matrix Metalloproteinases (TIMP1) including the genes that define muscle fiber types: Myosin Heavy Chain isoforms (MyHC) which were MyHC-I, MyHC-IIa, MyHC-IIb, and MyHC-IIx of Thai native pigs fed with different protein levels diet were not statistically significant different ($P > 0.05$), except protein percentages were statistically significant different ($P < 0.05$). Pigs were fed diets with 14 and 16 % protein diets had the highest meat protein content compared to pigs fed diet with 12 % protein diets. In addition, the



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

feed cost per gain (FCG) values of each pig group were statistically significant different ($P < 0.05$). Pig fed with 12 and 14 % protein diet had the lowest FCG value. Therefore, the optimum dietary protein level for raising Thai native pigs might be protein 14 % in diet because of its lower feed cost and higher protein and fat in meat.

The results of the correlation between the studied characteristics showed that $pH_{45}$ was negatively correlated with the expression of MyHC-IIa gene. $pH_{24}$ was negatively correlated with b* value and the cooking loss percentage, but there was positively correlated with a sarcomere length. There was negatively correlated between L* value with the cooking percentage, but there was positively correlated with sarcomere length and the expression of MyHC-IIa gene. The expression of CAPN1 and CAPN2 gene positively correlated with the expression of CAST MMP2 TIMP1 and MyHC-I gene. The expression of CAST was negatively correlated the expression of TIMP1 and MyHC-IIa gene, however, was negatively correlated with MyHC-IIx.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.รณชัย สิทธิไกรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.จันทร์พร เจ้าทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำ ประสบการณ์ที่มีประโยชน์ ตรวจทานแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับบนี้สำเร็จลุล่วงได้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ดังนี้ รศ.ดร.จุฑารัตน์ เศรษฐกุล รศ.ดร.กนกรัตน์ ศรีกิจเกษมวัฒน์ และ ผศ.ดร.น.สพ.จำลอง มิตรชาวไทย ที่กรุณาสละเวลาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำชี้แนะต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พรรณิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ ที่กรุณาสละเวลาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำชี้แนะจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท และขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร กรมปศุสัตว์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ข้อมูล สถานที่ และบุคลากรในการทำวิจัยในครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณกมล ฉวีวรรณ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร และ คุณวิไลวรรณ แทนธานี นักวิชาการของศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกรที่ให้การช่วยเหลือและชี้แนะตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการ ค.144 ที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีและปริญญาโทสาขาวิชาสัตวศาสตร์ สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตรและสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตรทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิจัยตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาและสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุนช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เนตรอนงค์ ผลเกตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง VIII

สารบัญภาพ IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3

1.4 สมมุติฐานของปัญหา 4

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 พันธุ์สุกร 5

2.2 ความต้องการโปรตีนของสัตว์ 8

2.3 คุณภาพซาก 12

2.4 คุณภาพเนื้อ 18

2.5 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ 26

2.6 ยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ 29

2.7 การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณเนื้อ 35

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 40

3.1 สัตว์ทดลอง 40

3.2 อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ 40

3.3 วิธีการทดลอง 40

3.4 อุปกรณ์และสารเคมี 41

3.5 การเก็บข้อมูล 45

3.6 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล 51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล 53

4.1 อิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองไทย 53

4.2 อิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารต่อคุณภาพซากของสุกรพื้นเมืองไทย 55

4.3 อิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย 56

4.4 อิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย 59

4.5 อิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารต่อการแสดงออกของยีน Myosin Heavy Chain isoforms 60

4.6 ผลการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ศึกษา 62

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 65

5.1 สรุปผลการทดลอง 65

5.2 ข้อเสนอแนะ 65

บรรณานุกรม 66

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 79

ภาคผนวก ข 80

ภาคผนวก ค 81

ประวัติผู้เขียน 84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า


2.1 ความต้องการโปรตีนของสุกรแต่ละช่วง 10
2.2 การศึกษาระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร 13
2.3 ลักษณะคุณภาพซากสุกรพื้นเมืองไทย 17
2.4 ลักษณะคุณภาพซากสุกรพื้นเมืองไทยเปรียบเทียบกับสุกรขุน 17
2.5 สัดส่วนจากการตัดแต่งซากแบบสากล (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซาก) 18
2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสุกรพื้นเมือง (พันธุ์กระโดน) 21
2.7 ลักษณะคุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองเปรียบเทียบกับสุกรขุน 25
2.8 คุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองสาธารณรัฐเซอร์เบียร์และสุกรพื้นเมืองประเทศโปแลนด์ 25
2.9 คุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิด 27
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยวิธี Histochemistry และวิธี Real-time PCR 29
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนในกลุ่มคาลเปนและความนุ่มเนื้อของสุกรพันธุ์ดูรอคและสุกรลูกผสม 38
2.12 สหสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนกลุ่ม MMPs กับคุณภาพเนื้อ 39
3.1 จำนวนสุกรจากที่จากแหล่งต่าง ๆ และได้รับอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน 40
3.2 ส่วนประกอบอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรพื้นเมือง 41
3.3 Primer ที่ใช้ในการศึกษาลักษณะความนุ่มของเนื้อสุกร 50
3.4 Primer ที่ใช้ในการศึกษาชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ 51
4.1 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองไทย 55
4.2 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อคุณภาพซากสุกรพื้นเมืองไทย 56
4.3 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อคุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองไทย 58
4.4 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย 60
4.5 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อการแสดงออกของยีน Myosin Heavy Chain isoforms 62
4.6 สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ศึกษา 64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 2.1 สุกรป่า 5
ภาพที่ 2.2 สุกรพื้นเมืองไทยในแต่ละภูมิภาค 8
ภาพที่ 2.3 อัตราการเจริญเติบโตของสัตว์ 9
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างกล้ามเนื้อ 22
ภาพที่ 2.5 ซาร์โคเมียร์ 23
ภาพที่ 2.6 จำลองกลไกการทำงานของเอนไซม์คาลเปน 31
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างจำลองของโปรตีนคาลปาสเตตินและเอนไซม์คาลเปน 32
ภาพที่ 2.8 จำลองการการทำงานของเอนไซม์ MMPs และ TIMPS 34
ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นและจำรอบของปฏิกิริยา PCR 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

**1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา**

สุกรเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรทั่วโลก เพราะว่าคนส่วนใหญ่ใช้เนื้อสุกรเป็นหลักในการประกอบอาหารประจำวัน โดยเฉพาะคนไทยนิยมบริโภคเนื้อสุกรมากกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น เนื่องจากเนื้อสุกรมีคุณค่าทางอาหารสูงและไขมันแทรกอยู่ทั่วไป ทำให้น่ารับประทาน (นภาพร อภิรดีวจีเศรษฐ์. 2539) จากการสำรวจข้อมูลโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรพบว่าเกือบร้อยละ 40 ของเนื้อสัตว์ที่คนไทยบริโภค คือ เนื้อสุกร โดยคิดเป็นร้อยละ 84.75 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดที่ใช้บริโภคภายในประเทศ และในปี พ.ศ. 2564 คาดว่าความต้องการบริโภคเนื้อสุกรจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.77 ของปี พ.ศ. 2563 (สมาคมผู้เลี้ยงสุกรแห่งชาติ. 2563) ปัจจุบันจึงได้เกิดการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตสุกรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนประชากรที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นผู้ประกอบการธุรกิจสุกรจึงคำนึงถึงความต้องการของผู้บริโภคเป็นประเด็นสำคัญ มีการพัฒนาการเลี้ยงที่ดีมากขึ้นจากอดีตและมีกระบวนการผลิตที่ถูกสุขลักษณะเพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค และพบว่าในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์สุกร มีการนำสุกรจากต่างประเทศเข้ามาเลี้ยงและปรับปรุงพันธุ์จนได้สุกรที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดี มีปริมาณเนื้อแดงมากขึ้นและมีไขมันน้อย แต่กลับพบว่าสุกรที่ถูกปรับปรุงพันธุ์เหล่านี้มีคุณภาพเนื้อลดลงโดยเฉพาะด้านความนุ่มของเนื้อ (อนันต์ ศรีปราโมช. 2545; Edwards *et al.* 2003)

สำหรับสุกรพื้นเมืองไทยนับวันจะค่อย ๆ สูญหายไปจากระบบปศุสัตว์เพราะไม่มีเกษตรกรหรือผู้ประกอบการรายใดนำมาเลี้ยงและไม่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้ดีขึ้น เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตช้า มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงและมีคุณภาพซากที่ไม่ดีจึงไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมการผลิตสุกร อย่างไรก็ตามสุกรพื้นเมืองก็มีข้อได้เปรียบสุกรจากต่างประเทศ คือ สุกรพื้นเมืองมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ทนทานต่อโรค และสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารคุณภาพต่ำได้ดีกว่าสุกรจากต่างประเทศ (FAO. 2009; Phengsavanh *et al*. 2010) เนื่องด้วยสุกรพื้นเมืองเป็นสุกรที่เจริญเติบโตช้า ดังนั้นลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อของสุกรพื้นเมืองจะมีขนาดเล็กและมีความละเอียดกว่าสุกรขุนทางการค้า ซึ่งอาจจะส่งผลให้เนื้อของสุกรพื้นเมืองมีความนุ่มและมีความชุ่มฉ่ำมากกว่าสุกรขุนทางการค้า อย่างไรก็ตามความนุ่มของเนื้อสุกรขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็นพันธุ์ เพศ การจัดการก่อนและหลังสัตว์ตาย โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงหลังสัตว์ตายมีการทำงานของเอนไซม์หลากหลายชนิด ระบบเอนไซม์คาลเปนถือว่าเป็นกลุ่มเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการย่อยสลายโปรตีนกล้ามเนื้อหลังจากสัตว์ตาย มีหลายงานวิจัยกล่าวว่าระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอนไซม์คาลเปนมีผลต่อความนุ่มของเนื้อ (Huff-Lonergan *et al*. 1996; Koohmaraie and Geesink. 2006) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการทำงานของเอนไซม์แมทริกซ์ เมทาโลโปรติเนส (Matrix Metalloproteinase, MMPs) เอนไซม์นี้สามารถย่อยสลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพันได้อาจจะทำให้เนื้อนุ่มขึ้น โดยที่การสร้างและปริมาณของเอนไซม์ในระบบต่าง ๆ เหล่านี้ถูกควบคุมด้วยยีนที่อยู่บนโครโมโซมในตำแหน่งแตกต่างกัน จึงได้มีการศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ ซึ่งอาจทำให้ได้คำอธิบายเกี่ยวกับความนุ่มของเนื้อสุกรพื้นเมืองมากขึ้น นอกจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อถือว่าเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพเนื้อพบว่าภายในกล้ามเนื้อจะประกอบด้วยโปรตีนไมโอซิน (Myosin) มากที่สุด โครงสร้างประกอบด้วย Myosin heavy chain (MHC) 2 ส่วน และ Myosin light chain 4 ส่วน ซึ่งความเร็วในการยืดหดตัวนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของ MHC เนื่องจากส่วนหัวจะมี ATPase เพื่อใช้ย่อยสลาย ATP ให้เป็นพลังงานในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ ความแตกต่างของปริมาณ ATPase จึงถูกนำใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อและสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการ Histochemistry โดยจัดจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อตามความเร็วในการยืดหดตัวได้ 3 ชนิด คือ type I type IIa และ type IIb แต่เนื่องจากวิธีนี้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีจัดจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อแบบใหม่ขึ้น เช่น วิธี Electrophoresis หรือ การจัดจำแนกด้วยยีนที่ควบคุมการแสดงออกของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งวิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการวิเคราะห์ไม่นานและยังสามารถจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อได้มากกว่าวิธี Histochemistry โดยสามารถจำแนกได้ 4 ชนิด คือ MHC-I MHC-IIa MHC-IIx และ MHC-IIb Jones *et al.* (1999) พบว่าการจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อตาม MHC isoforms มีความสัมพันธ์การจำแนกตามหลักการ Histochemistry ในการศึกษาการจำแนกชนิดของ MHC ตามการแสดงออกของยีนนั้น Wimmers *et al.* (2008) พบว่าปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่จำแนกด้วยวิธี Histochemistry มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับการจำแนกด้วยวิธี Real-time PCR อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกล้ามเนื้อสัตว์จะมีชนิดและปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้คุณภาพเนื้อสัตว์แตกต่างกันไปด้วย (Karlsson *et al*. 1999; Lefaucheur and Gerrard. 2000) มีผลการวิจัยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพเนื้อกับชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดย Ryu and Kim (2005) รายงานว่าเส้นใยกล้ามเนื้อ type I มีค่าสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา การสูญเสียระหว่างการปรุงสุก และค่าความสว่าง (L*) ของสีเนื้อ ในขณะที่กล้ามเนื้อที่มีปริมาณเส้นใย type IIb จะมีค่าการสูญเสียน้ำสูงกว่า เนื่องจากมีค่า pH ที่ต่ำกว่า (Wimmers *et al*. 2008)

ดังนั้นเพื่อการอนุรักษ์และเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสุกรพื้นเมืองไทย อีกทั้งข้อมูลที่เกี่ยวกับสุกรพื้นเมืองในปัจจุบันมีน้อยมาก การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทยโดยเฉพาะความนุ่มของเนื้อและชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อและศึกษาคุณภาพซาก โดยการนำสุกรพื้นเมืองมาเลี้ยงด้วยระบบการจัดการที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และให้อาหารที่มีคุณภาพแก่สุกรโดยคาดว่าสุกรพื้นเมืองไทยอาจจะมีการเจริญเติบโตและมีคุณภาพซากดีขึ้นด้วย มีความคุ้มค่ากับการลงทุนและเป็นที่นิยมมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรรายย่อยหันมาสนใจที่จะเลี้ยงสุกรพื้นเมืองเป็นอาชีพได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก คุณภาพเนื้อและปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อและชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย รวมถึงการศึกษาต้นทุนการผลิตด้านอาหารว่ามีความคุ้มทุนมากน้อยอย่างไร ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้นับว่ามีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อจะได้นำผลการวิจัยไปเป็นแนวทางในการส่งเสริมเกษตรกรรายย่อยให้หันมาเลี้ยงสุกรพื้นเมืองให้มากขึ้นเพื่อผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจของเกษตรกร รวมทั้งการอนุรักษ์สุกรพื้นเมืองให้ดำรงพันธุ์อยู่ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและคุณภาพซากของสุกรพื้นเมืองไทย

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อและชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย

1.2.4 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อและลักษณะคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหาร 4 ระดับคือ 12 14 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก คุณภาพเนื้อ และปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแสดงออกของยีนที่ข้องกับคุณภาพเนื้อและลักษณะที่ศึกษา โดยทำการเลี้ยงสุกรพื้นเมืองไทยจากแหล่งที่มา 3 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ สุกรจากพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ภาคใต้ สุกรจากพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สุกรจากพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี เลี้ยงในคอกขังเดี่ยวเพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร กรมปศุสัตว์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และศึกษาคุณภาพเนื้อทางกายภาพและปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพอาหารสัตว์ทางกายภาพ และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหารสัตว์ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน 15 เดือน (ตุลาคม 2561 - ธันวาคม 2562)

## 1.4 สมมติฐานของปัญหา

สุกรพื้นเมืองไทยเป็นสุกรที่มีขนาดตัวเล็ก อัตราการเจริญเติบโตต่ำ ดังนั้นขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อของสุกรพื้นเมืองจะมีขนาดเล็กกว่าสุกรขุนลูกผสมทางการค้า ปัจจุบันมีผู้บริโภคจำนวนหนึ่งเริ่มสนใจในการบริโภคเนื้อสุกรพื้นเมืองมากขึ้น เพราะมีความรู้สึกว่าเนื้อสุกรพื้นเมืองมีความนุ่มและความชุ่มฉ่ำมากกว่าเนื้อสุกรขุนทางการค้า แต่เนื่องด้วยสุกรพื้นเมืองไทยเป็นสุกรที่มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ ทำให้ไม่เป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมการผลิตสุกรจนมีจำนวนลดน้อยลงเรื่อย ๆ จะพบได้ตามพื้นที่ชนบทเท่านั้น เพื่อให้สุกรพื้นเมืองมีสมรรถภาพการผลิตที่ดีขึ้นจึงทำการศึกษาระดับโปรตีนที่แตกต่างกันซึ่งจะทำให้ทราบถึงระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสุกรพื้นเมืองไทย รวมถึงระดับโปรตีนในอาหารที่ส่งผลดีต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต คุณภาพซากคุณภาพเนื้อ ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อและปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทยมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่2
# งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 สุกรพื้นเมืองไทย

สุกรแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันในถิ่นที่อยู่และรูปร่าง สุกรที่เลี้ยงกันในปัจจุบันพบว่าได้มาจากการปรับปรุงพันธุ์สุกรซึ่งเชื่อว่ามีบรรพบุรุษมาจากสุกรป่าแถบยุโรป (*Sus scrofa*) และสุกรป่าแถบเอเชีย (*Sus indica* หรือ *Sus vittatus*) สุกรถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามถิ่นที่อยู่และรูปร่าง ได้แก่ (1) *Sus scrofa* เป็นสุกรที่พบในทวีปต่าง ๆ ทั่วโลกยกเว้นทวีปออสเตรเลียและอเมริกา สุกรกลุ่มนี้มีลักษณะหัวยาวใหญ่ จมูกยาว ขายาว ไหล่ใหญ่ สะโพกเล็กและเอวเล็ก มีสีน้ำตาลหม่น หรือเทาปนแดง มีลายดำ ผิวหนังหยาบ ขนยุ่ง ไขมันน้อย แข็งแรง ว่องไว ทนทาน ดุร้าย และมีการเจริญเติบโตช้า (ภาพที่ 2.1 ก ) และ (2) *Sus indica* หรือ *Sus vittatus* สุกรเหล่านี้พบในประเทศจีน ญี่ปุ่น และทางเอเชียตะวันออก สุกรกลุ่มนี้มีรูปของกะโหลกและฟันแตกต่างจากกลุ่ม *Sus scrofa* ลักษณะหัวมีรูปร่างสี่เหลี่ยม หัวสั้น ตัวเล็ก กระดูกเล็ก มีสีดำ และขาว หรือปนกัน ผิวหนังเรียบ (ภาพที่ 2.1 ข ) ไขมันมาก และมีการเจริญเติบโตช้า (รณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2540) สุกรทั้งสองกลุ่มเป็นสุกรป่าหากินเองตามธรรมชาติ เมื่อมนุษย์มองเห็นประโยชน์จึงนำมาเลี้ยง ผสมพันธุ์ และทำการปรับปรุงพันธุ์ให้ดีขึ้นเพื่อให้มีลักษณะตรงตามความต้องการของมนุษย์ โดยปรับปรุงและพัฒนาในด้านต่าง ๆ พร้อมกัน คือ ด้านการคัดเลือกและผสมพันธุ์ ด้านการใช้อาหาร ด้านการเลี้ยงดู จัดโรงเรือนให้เหมาะสม การดูแลสุขภาพและการป้องกันและรักษาโรครวมถึงการจัดการเรื่องการจำหน่าย เพื่อการผลิตสุกรที่ให้ผลผลิตสูงตรงกับความต้องการตลาดและคุ้มกับการลงทุน (พรรณิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ. 2530)

(ก) สุกรป่าในแถบยุโรป (*Sus scrofa*) (ข) สุกรป่าในแถบเอเชีย (*Sus indica*)

**ภาพที่ 2.1** สุกรป่า

**ที่มา:** Elstelä (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุกรพื้นเมืองไทย (Thai Native Pigs) จัดเป็นสุกรประเภทมัน (Lard type) ซึ่งเป็นสุกรที่มีการเจริญเติบโตช้า มีมันมากกว่าเนื้อ รูปร่างอ้วนกลม ตัวสั้น สะโพกเล็ก และไม่เป็นที่นิยมในการบริโภค ปัจจุบันพบว่าสุกรพื้นเมืองมีจำนวนน้อยมากเนื่องจากไม่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์หรือคัดเลือกให้เป็นสุกรพันธุ์ที่ดี จะพบในบางท้องถิ่นเท่านั้น มีการเลี้ยงกันตามชนบทในหมู่บ้านที่ไม่ได้เลี้ยงสุกรเพื่อเป็นการค้าซึ่งอาจจะเลี้ยงไว้ให้กินเศษอาหารที่เหลือ บางครั้งเรียกสุกรประเภทนี้ว่า “หมูออมสิน” เพราะเปรียบเสมือนออมสินของบ้านที่สามารถนำมาบริโภคได้และแลกเปลี่ยนเป็นเงินได้เมื่อยามจำเป็น จากการที่สุกรพื้นเมืองไม่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์จึงขนาดเล็ก อัตราการเจริญเติบโตต่ำ (Average Daily Gain; ADG) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่ดี (Feed Conversion Ratio; FCR) คุณภาพซากค่อนข้างต่ำ คือ มีเนื้อแดงน้อย มันมาก และอุปนิสัยคล้ายสัตว์ป่า อย่างไรก็ตามสุกรพื้นเมืองก็มีคุณลักษณะที่ดี คือ ทนทานต่อสภาพแวดล้อมของประเทศ เลี้ยงแบบปล่อยปละละเลยได้ ทนต่อการกักขัง เลี้ยงไว้ในที่แคบ ๆ ตั้งแต่เล็กจนโตได้ ให้ลูกดก และเลี้ยงลูกเก่ง ส่วนลักษณะที่ไม่ดีของสุกรพื้นเมือง คือ หลังแอ่น ท้องยาน ขนและผิวหนังโดยทั่ว ๆ ไปมีสีดำ เมื่อชำแหละแล้วจะพบว่ามีอวัยวะภายในมาก หนังหนา เปอร์เซ็นต์เนื้อแดงต่ำ ต้องเลี้ยงนานถึง 12-15 เดือน จึงจะได้น้ำหนัก 90 กิโลกรัม และใช้อาหารถึง 6-7 กิโลกรัมในการสร้างน้ำหนักต่อ 1 กิโลกรัม (วินัย ประลมพ์กาญจ์. 2527)

Souphannavong (2016) กล่าวว่าลูกสุกรพื้นเมืองไทยมีน้ำหนักแรกคลอดเท่ากับ 0.65±0.15 กิโลกรัม และมีน้ำหนักที่อายุ 7 14 และ 21 วันเท่ากับ 1.12±0.15 1.16±0.15 และ 2.20±0.15 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตที่ 7 14 และ 21 วันเท่ากับ 70 กรัมต่อวันทั้งสามช่วงอายุ ผลการสำรวจของ Phengsavanh *et al*. (2010) พบว่าเลี้ยงสุกรพื้นเมืองทางภาคเหนือของประเทศลาว คือ สุกรพันธุ์ Lat และ Hmong ที่มีระยะเวลาในการเลี้ยง 16-20 เดือน มีอัตราการเจริญเติบโตระหว่าง 104 -140 กรัมต่อวัน Keonuchanh *et al*. (2011) พบว่าสุกรพันธุ์พื้นเมืองของประเทศลาว (หมูราด) ที่เลี้ยงแบบการให้อาหารเต็มที่เทียบกับการเลี้ยงด้วยอาหารแบบจำกัด 40 เปอร์เซ็นต์ของการกินได้อย่างเต็มที่ พบว่าสุกรพื้นเมืองที่กินอาหารเต็มที่มีอัตราการเจริญเติบโต 558 กรัมต่อวัน และสุกรที่ถูกเลี้ยงแบบจำกัดอาหารมีอัตราการเจริญเติบโตเป็น 346 กรัมต่อวัน และจากรายงานของประภาส มหินชัยและคณะ (2548) พบว่าสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองจากภาคเหนือของประเทศไทยที่มีน้ำหนักเริ่มต้นทดสอบเฉลี่ย 17.61±2.99 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 6 เดือน (192 วัน) สุกรมีน้ำหนักเท่ากับ 49.00±3.97 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 347.26±86.86 กรัมต่อวัน มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเท่ากับ 3.39±0.67 จากรายงานที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าสุกรพื้นเมืองมีอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับสุกรขุนทางการค้าซึ่งมี ADG อยู่ในช่วง 770-820 กรัมต่อวัน และ FCR อยู่ในช่วง 2.10-2.50 (ศรีสุวรรณ ชมชัย. 2541) สมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองที่ต่ำนั้นอาจจะเนื่องด้วยการเลี้ยงสุกรพื้นเมืองส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ชนบทด้วยการปล่อยให้สุกรหากินเองตามธรรมชาติที่ประกอบด้วยพืชหรือเศษเหลือทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกษตรที่หาได้ง่ายในหมู่บ้านตามฤดูกาล ทำให้ได้รับสารอาหารที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามแม้ว่าสุกรพื้นเมืองจะมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำแต่เนื้อก็เป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับผู้บริโภคในพื้นที่ชนบท นอกจากนี้สุกรพื้นเมืองยังมีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของชาวชนบทและสภาพทางเศรษกิจอีกด้วย

สุกรพื้นเมืองไทยสามารถแบ่งออกเป็นพันธุ์ต่าง ๆ ตามลักษณะที่ปรากฏอยู่ตามภูมิภาคของประเทศไทยได้ดังนี้ (พรรณิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ. 2530; สินชัย พารักษา. 2537; กลุ่มวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพ. 2558)

2.1.1 ภาคกลางและภาคใต้ สุกรที่พบมาก คือ สุกรพันธุ์ไหหลำ เป็นสุกรที่ถูกนำมาจากตอนใต้ของประเทศจีนเป็นเวลาช้านานจนเป็นที่ยอมรับว่าเป็นสุกรพันธุ์พื้นเมืองพันธุ์หนึ่งของไทย จัดเป็นหมูที่มีลักษณะทางเศรษฐกิจดีที่สุดในกลุ่มหมูพื้นเมือง สุกรพันธุ์นี้มีสีขาวปนดำ สีดำมีมากที่บริเวณไหล่ หลังและบั้นท้าย ส่วนตอนล่างของลำตัวจะมีสีขาว หัวขนาดพอดี จมูกยาวและแอ่นเล็กน้อย คางย้อย ไหล่ใหญ่ ลำตัวยาวปานกลาง ตะโพกเล็ก ขาและข้อเหนือกีบไม่ค่อยแข็งแรง (ภาพที่ 2.2 ก) มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ดีกว่าสุกรพื้นเมืองพันธุ์อื่น ๆ ทั้งหมด สามารถหาอาหารในที่สกปรกได้และกินเก่ง สุกรเพศผู้เมื่อโตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 125-150 กิโลกรัม สุกรเพศเมียโตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 90-110 กิโลกรัม น้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับส่งขายประมาณ 80 กิโลกรัม อัตราการเจริญเติบโตวันละ 235 กรัม และมีประสิทธิภาพในการสืบพันธุ์ดีมาก

2.1.2 ภาคเหนือ สุกรที่พบมากในภูมิภาคนี้ คือ สุกรพันธุ์ควาย มีสีคล้ายกับสุกรพันธุ์ไหหลำ แต่สุกรพันธุ์ควายจะมีลำตัวสีดำเป็นส่วนใหญ่ จมูกยาวตรงและสั้นกว่า มีรอยย่นตามลำตัวมากกว่า ลำตัวเล็กกว่า ส่วนขาและข้อเหนือกีบนั้นเหมือนกัน บางทีเรียกหมูตาขาว เพราะมีขอบขาวรอบ ๆ ตาดำ (ภาพที่ 2.2 ข) เติบโตช้าและอ้วนยาก เลี้ยงไว้นาน ๆ อาจจมีน้ำหนักถึง 160 กิโลกรัม สุกรเพศผู้เมื่อโตเต็มที่จะมีน้ำหนักประมาณ 90-120 กิโลกรัม สุกรเพศเมียที่โตเต็มที่จะมีน้ำหนักประมาณ 80-100 กิโลกรัม มีอัตราการเจริญเติบโตวันละ 265 กรัม

2.1.3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สุกรที่พบมาก คือ สุกรพันธุ์ราดหรือกระโดน เป็นสุกรขนาดเล็ก มีลักษณะลำตัวสีดำ และมีสีขาวแซม หูเล็กและตั้ง หน้าแหลม หัวยาวและตรง เนื้อแน่น ลำตัวสั้นเตี้ยเป็นรูปสี่เหลี่ยม (ภาพที่ 2.2 ค) มีการเจริญเติบโตช้า ว่องไว ปราดเปรียว หากินในป่าเก่ง สุกรเพศผู้โตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 90-110 กิโลกรัม สุกรเพศเมียโตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 80-90 กิโลกรัม

2.1.4 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน สุกรที่พบมากบริเวณนี้ คือ สุกรพันธุ์พวง สุกรพันธุ์นี้มีสีดำ ลำตัวยาวเกือบเท่าสุกรพันธุ์ไหหลำ ไหล่กว้าง สะโพกแคบ หลังแอ่น และมีผิวหนังหยาบมาก (ภาพที่ 2.2 ง) จึงทำให้ราคาต่ำกว่าสุกรพันธุ์อื่น ๆ มีการเจริญเติบโตดีพอสมควร ทนทานต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งแวดล้อมดีมาก สุกรเพศผู้โตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 90-120 กิโลกรัม เพศเมียโตเต็มที่มีน้ำหนักประมาณ 90-100 กิโลกรัม

(ก) สุกรพันธุ์ไหหลำ (ภาคใต้)

(ข) สุกรพันธุ์ควาย (ภาคเหนือ)

(ค) สุกรพันธุ์กระโดน (ภาคอีสานตอนล่าง)

(ง) สุกรพันธุ์พวง (ภาคอีสานตอนบน)

**ภาพที่ 2.2** สุกรพื้นเมืองไทยในแต่ละภูมิภาค

**ที่มา:** ก Rattanronchart (1995)

ข ง กลุ่มวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพ (2558)

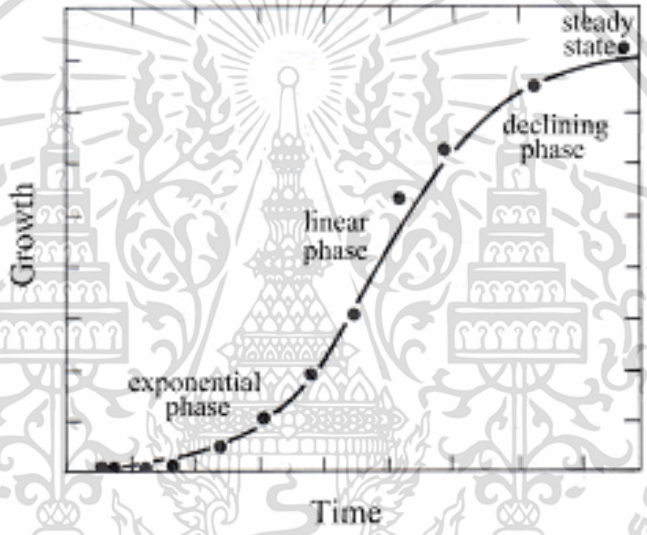
ค Vasupen *et al*. (2007a)

## 2.2 ความต้องการโปรตีนของสัตว์

ชนิด ประเภท และอายุของสัตว์ที่แตกต่างกัน จะมีความต้องการโภชนะแตกต่างกัน ซึ่งสารอาหารที่ได้จากอาหารในแต่ละวันจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในร่างกายโดย 1) นำไปใช้เพื่อการดำรงชีพ สัตว์ต้องการโภชนะชนิดต่าง ๆ เพื่อการดำรงชีพในระดับต่ำที่สุดเพียงเพื่อให้กระบวนการที่จำเป็นต่อการมีชีวิตดำเนินไปได้ซึ่งปริมาณโภชนะที่สัตว์ได้รับจะเท่ากับปริมาณโภชนะที่สัตว์ต้องใช้จะเรียกว่า “อยู่ในภาวะสมดุล” คือ ไม่มีการสูญเสียหรือสะสมโภชนะในร่างกาย 2) ความต้องการโภชนะเพื่อการเจริญเติบโต ตั้งแต่เป็นสัตว์เล็กไปจนถึงวัยหนุ่มสาวจะมีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็วมากและจะช้าลงเมื่ออายุมากขึ้น แล้วจึงหยุดการเจริญเติบโตเมื่อโตเต็มวัยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ภาพที่ 2.3) 3) ความต้องการโภชนะเพื่อการสืบพันธุ์ ถ้าหากได้รับโภชนะไม่เพียงพอในระยะที่มีการเจริญเติบโตจะทำให้สัตว์เข้าสู่วัยหนุ่มสาวช้าลง 4) ความต้องการโภชนะเพื่อการสร้างผลผลิต และ 5) ความต้องการโภชนะเพื่อการสะสมไขมัน การขุนสัตว์ที่โตเต็มวัยหรือปลดระวาง การสะสมของไขมันส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่เนื้อเยื่อสะสมไขมัน (Adipose tissue) อยู่ตามใต้ผิวหนัง และอวัยวะภายใน การสะสมของไขมันในลักษณะเช่นนี้เป็นการเปลี่ยนอาหารที่มีประสิทธิภาพต่ำและสิ้นเปลืองอาหารมาก ดังนั้นการขุนสัตว์จึงควรมีขีดจำกัด คือ ไม่ควรให้สัตว์มีขนาดใหญ่มากจนเกินไปเพราะปริมาณอาหารที่ใช้ไปเพื่อเปลี่ยนเป็นไขมันเป็นการเปลี่ยนอาหารที่มีต้นทุนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ การขุนสัตว์ที่มีน้ำหนักตัวมากจะเกิดการสะสมไขมันใต้ผิวหนังมากทำให้จำหน่ายได้ราคาต่ำ




**ภาพที่ 2.3** อัตราการเจริญเติบโตของสัตว์
**ที่มา:** ลดาวัลย์ พวงจิต. (2550)

สัตว์ต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต สืบพันธุ์ และให้ผลผลิตทั้งเนื้อ นม และ ไข่ นอกจากนี้ยังใช้เพื่อซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โปรตีนมีหน้าที่หลายประการในร่างกาย เช่น เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในกล้ามเนื้อและอวัยวะต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำนม เนื้อเยื่อ ผม ขน เขา เป็นองค์ประกอบของเลือด ฮอร์โมน และเอนไซม์ เป็นต้น ร่างกายของสิ่งมีชีวิตชั้นสูงไม่สามารถสังเคราะห์โปรตีนขึ้นมาได้เองจึงจำเป็นต้องได้รับจากการกินอาหาร ถ้าในอาหารมีปริมาณโปรตีนไม่เพียงพอจะส่งผลให้สัตว์เกิดภาวะขาดโปรตีนและมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงหรือสูญเสียน้ำหนักตัว สัตว์แต่ละช่วงอายุมีความต้องการโปรตีนแตกต่างกัน เช่น ลูกสัตว์ที่ยังเล็กหรืออยู่ในระยะเจริญเติบโตจะมีความต้องการโปรตีนมากกว่าสัตว์ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ยกเว้นในกรณีที่ร่างกายต้องการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอหรือในระยะให้ผลผลิต เช่น ช่วงให้น้ำนม ตั้งท้อง ก็จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการโปรตีนสูงขึ้นรวมถึงมีเมตาบอลิซึมสูงขึ้นด้วย (แสงเดือน จุ้ยเพชร. 2548; Pond *et al.* 1995)

**2.2.1 ความต้องการโปรตีนของสุกร (Protein requirement of swine)**

ความต้องการโปรตีนในการดำรงชีพจะมีเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะใช้ในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสัตว์ สำหรับโปรตีนส่วนเกินจะถูกเผาผลาญให้เป็นพลังงานโดยไม่มีการสะสมไว้ในร่างกาย ดังนั้นการให้โปรตีนในปริมาณสูงเกินไปจะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสัตว์แต่จะทำให้ต้นทุนค่าอาหารสูงขึ้นจึงควรให้โปรตีนในระดับที่ใกล้เคียงกับระดับความต้องการขั้นต่ำมากที่สุด ความต้องการโปรตีนในสุกรที่มีอายุน้อยหรืออยู่ในช่วงของการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตจะมีความต้องการโปรตีนสูงและมีคุณภาพดี คือ มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วนตามที่ความต้องการ ซึ่งความต้องการโปรตีนในอาหารจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อสุกรมีอายุและน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น (อุทัย คันโธ. 2529)

เนื่องจากโปรตีนมีความสำคัญต่อสัตว์โดยมีหน้าที่หลายประการดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นอาหารที่ให้แก่สุกรจึงควรมีโปรตีนในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของสุกร โดยความต้องการโปรตีนของสุกรขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ (1) ปริมาณหรือโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (Availability) (2) ระยะการผลิตของสุกร (3) สมดุลของกรดอะมิโน และความสัมพันธ์กับโภชนะอื่น ๆ ในอาหาร และ (4) กระบวนการผลิตที่อาจจะมีผลต่อคุณภาพของโปรตีนที่นำไปประกอบสูตรอาหาร สูตรอาหารที่ใช้จึงควรมีระดับโปรตีนที่เหมาะสมกับระยะการผลิตของสุกร ความต้องการโปรตีนของสุกรในแต่ละช่วงดังแสดงในตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ความต้องการโปรตีนของสุกรแต่ละช่วง

| สุกรแต่ละระยะ | น้ำหนัก (กก) | ปริมาณอาหารที่กิน (กก/วัน) | โปรตีนในอาหาร (%) | ความต้องการโปรตีน (กก/วัน) |
|---|---|---|---|---|
| ระยะรุ่น-ขุน | 5-10 | 0.50 | 23.70 | 0.12 |
| | 10-20 | 1.00 | 20.90 | 0.21 |
| | 20-50 | 1.85 | 18.00 | 0.33 |
| | 50-80 | 2.57 | 15.50 | 0.40 |
| | 80-120 | 3.07 | 13.20 | 0.41 |
| สุกรตั้งท้อง | 125-200 | 1.85 | 12.00 | 0.22 |
| สุกรระยะให้นม | 175-200 | 5.25 | 18.00 | 0.94 |
| พ่อพันธุ์ | 120-200 | 2.00 | 13.00 | 0.26 |

**ที่มา**: ดัดแปลงจาก NRC (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.2 การศึกษาระดับโปรตีนในสูตรอาหารสุกร**

ต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์เป็นค่าอาหาร โภชนะประเภทโปรตีนถือเป็นหนึ่งในส่วนผสมที่มีราคาแพงและสำคัญที่สุด ส่งผลให้นักวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญในการศึกษาระดับโภชนะในอาหารที่เหมาะสมโดยเฉพาะการศึกษาระดับโปรตีนในอาหารสัตว์ ซึ่งเป็นโภชนะที่มีความสำคัญต่อการให้ผลผลิตของสัตว์ไม่ว่าจะเป็นเนื้อสัตว์ การให้นม และการให้ไข่ นอกจากจะเป็นสูตรอาหารที่ให้ประสิทธิผลดีแล้วจะต้องเป็นสูตรอาหารที่ไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงเกินไปอีกด้วย

การศึกษาระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารสำหรับสุกรพบว่ามีงานวิจัยที่ให้ความสำคัญในด้านนี้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งการศึกษาระดับโปรตีนที่เหมาะสมต่อสุกรขุนลูกผสมทางการค้าหรือสุกรพื้นเมืองไทยและสุกรพื้นเมืองไทยลูกผสม ตารางที่ 2.2 การศึกษาของพรรณิภา สินะนนท์และคณะ (2524) ทำการศึกษาระดับโปรตีนโดยใช้สุกรพันธุ์ลาร์จไวท์ เพศผู้ที่มีน้ำหนักตัวระหว่าง 25-60 กิโลกรัม ให้สุกรกินอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน คือ 14 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสุกรมีสมรรถภาพการผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

สำหรับการศึกษาระดับโปรตีนในอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรพื้นเมืองไทยลูกผสม จากรายงานของปรัชญา ปรัชญลักษณ์และคณะ (2534) พบว่าสุกรลูกผสม (ดูร็อค × เหมยซาน) สามารถเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำที่สุด คือ 14 เปอร์เซ็นต์ ในระยะที่สุกรมีน้ำหนัก 20-60 กิโลกรัม และ 12 เปอร์เซ็นต์ ในระยะ 60-100 กิโลกรัมได้ โดยที่สุกรยังคงมีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร และระยะเวลาในการเลี้ยงไม่แตกต่างจากการใช้อาหารที่มีระดับโปรตีนสูงกว่า

Vasupen *et al.* (2007 b) ศึกษาระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรพื้นเมืองไทย (พันธุ์กระโดน) ที่มีน้ำหนักตัวเริ่มต้น 6.50-7.00 กิโลกรัมจนมีน้ำหนักสุดท้ายประมาณ 11.30-12.90 กิโลกรัม เลี้ยงสุกรด้วยอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 14 16 18 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสุกรพันธุ์กระโดนที่กินอาหารโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโต (ADG) และน้ำหนักสุดท้ายสูงที่สุด ($P < 0.05$) มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (FCR) และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่ำกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนต่ำ เนื่องจากสุกรพื้นเมืองไทยในการศึกษานี้อยู่ในระยะลูกสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและต้องการระดับโปรตีนในอาหารขั้นต่ำ 18 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อสุกรได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูง (20 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงจึงส่งผลให้ลูกสุกรมีการเจริญเติบโตดีกว่าลูกสุกรที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำ (อุทัย คันโธ. 2529)

การศึกษาของภัทรผกา ใจปินตา (2550) ทำการศึกษาผลของระดับโปรตีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองและสุกรลูกผสมพื้นเมืองที่มีน้ำหนักตัว 30-60 กิโลกรัม โดยใช้สุกรทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ สุกรพื้นเมือง และสุกรพื้นเมืองลูกผสม (พื้นเมือง × มิตรสัมพันธ์ (เหมยซาน × ดูร็อค) และสุกรพื้นเมือง × เปียแตรง) พบว่าระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน คือ 11 และ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลทางสถิติต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองและสุกรพื้นเมืองลูกผสม (P > 0.05) ยกเว้นประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารของสุกรพื้นเมืองที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงดีกว่าสุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P < 0.01)

ทศพล มูลมณีและคณะ (2560) ทำการทดสอบสูตรอาหารที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (สุกรพื้นเมือง × เหมยซาน× เปียแตรง) ที่มีน้ำหนักระหว่าง 30-60 กิโลกรัม พบว่าอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน คือ 14 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารและต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมแตกต่างกันทางสถิติ (P < 0.05) โดยสุกรที่กินอาหารที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมดีกว่าสุกรที่กินอาหารโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสุกรในการทดสอบครั้งนี้อยู่ในช่วงที่มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ สุกรต้องการสารอาหารเพียงเพื่อดำรงชีวิตเป็นส่วนใหญ่ ต้องการสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อย ถึงแม้ว่าสุกรจะได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงก็อาจจะมากเกินความจำเป็น จึงอาจจะมีการนำไปสลายเพื่อให้เกิดเป็นพลังงาน ส่วนโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยจะถูกขับออกนอกร่างกาย

## 2.3 คุณภาพซาก (Carcass quality)

### 2.3.1 ความหมายของซาก (carcass)

ซาก หมายถึง ซากสัตว์ที่เหลือแต่ส่วนของร่างกายซึ่งได้ผ่านกระบวนการฆ่าและนำเลือด อวัยวะภายในออกแล้ว โดยซากที่เหลือจะมีองค์ประกอบหลักส่วนใหญ่เป็น เนื้อแดง ไขมัน เอ็น และกระดูก

ลักษณะซากเป็นลักษณะที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เพราะมีมูลค่าทางการตลาดสูง มีปัจจัยที่สำคัญหลายปัจจัยที่จะส่งผลให้ได้ซากที่มีคุณภาพ เช่น พันธุ์ อายุสัตว์ น้ำหนักเข้าฆ่า การจัดการก่อนฆ่าและอาหาร เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการจะพิจารณาว่ามีคุณภาพซากดีหรือไม่นั้น สามารถพิจารณาได้จากสัดส่วนเนื้อแดงและไขมันในซาก ซึ่งควรมีสัดส่วนกล้ามเนื้อหรือเนื้อแดงต่อไขมันสูง รวมถึงเนื้อต้องมีคุณภาพดีด้วย (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2** การศึกษาระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในสูตรอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร

| พันธุ์สุกร | ลักษณะที่ศึกษา | | | | | P-value | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระดับโปรตีน (%) | 14 | 16 | 18 | | | |
| ลาร์จไวท์ | ADG | 0.549 | 0.551 | 0.565 | | ns | พรรณิภา สินะนนท์ และคณะ (2524) |
| | FCR | 2.98 | 2.92 | 2.92 | | ns | |
| | FI (กก/วัน) | 1.62 | 1.62 | 1.62 | | ns | |
| | ค่าอาหาร (บาท/ตัว) | 404.96 | 411.39 | 446.82 | | - | |
| | ระดับโปรตีน (%) | 14 | 16 | 18 | | | |
| ดูร็อค x เหมยซาน | ADG | 0.530 | 0.587 | 0.606 | | ns | ปรัชญา ปรัชญลักษณ์ (2534) |
| | FCR | 3.46 | 3.12 | 3.27 | | ns | |
| | FI (กก/วัน) | 2.08 | 2.09 | 2.18 | | ns | |
| | ต้นทุน (บาท/กก) | 16.45 | 16.10 | 18.20 | | - | |
| | ระดับโปรตีน (%) | 14 | 16 | 18 | 20 | | |
| กระโดน | น้ำหนักสุดท้าย | 11.3$^{a}$ | 11.8$^{ab}$ | 12.1$^{ab}$ | 12.9$^{b}$ | < 0.05 | Vasupen *et al*. (2007) |
| | ADG | 0.12$^{a}$ | 0.134$^{ab}$ | 0.148$^{ab}$ | 0.161$^{b}$ | < 0.05 | |
| | FCR | 2.00$^{b}$ | 1.90$^{ab}$ | 1.60$^{a}$ | 1.60$^{a}$ | < 0.05 | |
| | ต้นทุน (บาท/กก) | 19.80 | 19.40 | 16.70 | 17.30 | - | |
| | ระดับโปรตีน (%) | 11 | 13 | | | | |
| พื้นเมือง | น้ำหนักสุดท้าย | 60.87 | 60.82 | | | ns | ภัทรผกา ใจปินตา (2550) |
| | ADG | 0.30 | 0.37 | | | <0.05 | |
| | FCR | 3.64 | 3.06 | | | <0.05 | |
| | FI (กก/วัน) | 1.09 | 1.12 | | | ns | |
| | ต้นทุน (บาท/กก) | 27.37 | 22.86 | | | - | |
| ลูกผสมพื้นเมือง[1] | น้ำหนักสุดท้าย | 62.22 | 62.22 | | | ns | ภัทรผกา ใจปินตา (2550) |
| | ADG | 0.49 | 0.43 | | | ns | |
| | FCR | 3.19 | 3.37 | | | ns | |
| | FI (กก/วัน) | 1.51 | 1.46 | | | ns | |
| | ต้นทุน (บาท/กก) | 23.99 | 25.17 | | | - | |
| ลูกผสมพื้นเมือง[2] | น้ำหนักสุดท้าย | 62.17 | 61.54 | | | ns | ภัทรผกา ใจปินตา (2550) |
| | ADG | 0.59 | 0.61 | | | ns | |
| | FCR | 3.49 | 3.37 | | | ns | |
| | FI (กก/วัน) | 2.00 | 1.98 | | | ns | |
| | ต้นทุน (บาท/กก) | 26.24 | 25.17 | | | - | |
| | ระดับโปรตีน (%) | 14 | 16 | | | | |
| RPPM[3] | น้ำหนักตัวสุดท้าย | 61.05 | 60.75 | | | ns | ทศพล มูลมณี และคณะ (2560) |
| | ADG | 0.77 | 0.68 | | | < 0.05 | |
| | FCR | 3.12 | 3.51 | | | < 0.05 | |
| | FI (กก/วัน) | 2.40 | 2.40 | | | ns | |
| | ค่าอาหาร(บาท/กก) | 38.68 | 44.13 | | | < 0.05 | |

[1]ลูกผสมพื้นเมือง = พื้นเมือง x มิตรสัมพันธ์ (เหมยซาน × ดูร็อค) : [2]ลูกผสมพื้นเมือง = พื้นเมือง x เปียแตรง: [3]RPPM = พื้นเมือง x เหมยซาน x เปียแตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพิจารณาว่าซากมีคุณภาพดี หรือไม่นั้นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่สำคัญ ดังนี้ (จุฑารัตน์ ศรีพรหมมา. 2528)

2.3.1.1 สัดส่วนของปริมาณกล้ามเนื้อและไขมันในซาก ซากที่มีคุณภาพดีต้องมีอัตราส่วนของกล้ามเนื้อต่อไขมันสูงหรือมีปริมาณเนื้อแดงในซากสูง

2.3.1.2 คุณภาพเนื้อ ซึ่งเนื้อที่มีคุณภาพที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติที่ดีในด้านคุณภาพการบริโภค (Eating quality) เช่น สีของเนื้อควรมีสีชมพูอมเทา มีกลิ่นและรสชาติดี ลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อมีเส้นใยที่ละเอียดและมีความแน่นไม่เหลว เป็นต้น

2.3.1.3 คุณภาพของไขมัน หลักการพิจารณาคุณภาพของไขมันได้แก่ สี ความหนาแน่นและกลิ่น ไขมันที่มีคุณภาพดีจะต้องไม่มีสีที่ผิดปกติ ไขมันจะต้องไม่เหลวซึ่งจะทำให้เสียคุณสมบัติที่ดีในการเก็บรักษาและการทำผลิตภัณฑ์

**2.3.2 หลักเกณฑ์การประเมินคุณภาพซากสุกร**

การประเมินคุณภาพซากสุกรได้แก่ การหาสัดส่วนของปริมาณเนื้อแดงต่อปริมาณไขมัน ซากสุกรที่มีคุณภาพดีต้องมีปริมาณเนื้อแดงสูงและไขมันน้อย วิธีการวัด คือ การชำแหละซากแต่ละส่วนออกมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณเนื้อแดงและไขมัน หรือวิธีการอื่น ๆ ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การวัดความหนาไขมันสันหลัง (Backfat thickness) การวัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (Loin area) และวิธีการวัดแบบ Lenden-Speck-Quotient (LSQ) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีความแม่นยำที่แตกต่างกัน (จุฑารัตน์ ศรีพรหมมา และ ทรงศักดิ์ ตันพิพัฒน์. 2529; นันทนา นิรมิตเจียรพันธุ์. 2531) การวัดและการประเมินคุณภาพซากสุกรมีขั้นตอนและวิธีการดังต่อไปนี้ (วินัย ประลมพ์กาญจน์. 2527; ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529; จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)

(1) น้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่า ต้องอดอาหารสุกรก่อนฆ่า 24 ชั่วโมง

(2) น้ำหนักซาก (Carcass weight) หมายถึง น้ำหนักของสุกรหลังจากที่ฆ่าแล้ว โดยที่ไม่รวมเลือด ขน หัว และอวัยวะภายใน ยกเว้นไตที่ยังคงติดอยู่กับซาก การตัดหัวสุกรจะตัดให้ส่วนคางติดอยู่กับซาก น้ำหนักซากที่ได้เรียกว่าน้ำหนักซากอุ่น (Hot carcass weight) ถ้าจะเปลี่ยนเป็นน้ำหนักซากเย็น (Chilled carcass weight) ต้องหักน้ำหนักของซากอุ่นออก 3 เปอร์เซ็นต์

(3) เปอร์เซ็นต์ซาก (Dressing หรือ Killing-out percentage) หมายถึง อัตราส่วนน้ำหนักซากเย็นต่อน้ำหนักสุกรมีชีวิต คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสูตรต่อไปนี้ (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ซาก} = \frac{\text{น้ำหนักซากเย็น}}{\text{น้ำหนักสุกรมีชีวิต}} \times 100$$

(4) น้ำหนักชิ้นส่วน จะมีความแตกต่างกันแต่ละระบบในการนำชิ้นส่วนต่าง ๆ มาใช้ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงของซาก เช่น การจัดเกรดซากตามระบบมาตรฐานของกระทรวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกษตรแห่งสหรัฐอเมริกา (USDA) คือ การตัดแต่งชิ้นส่วนใหญ่จากซากสุกรจะได้ส่วนต่าง ๆ 4 ชิ้นส่วนหลัก (Four lean cuts) คือ สะโพก (Ham) สันนอก (Loin) สันคอ (Boston) และไหล่ (Picnic) และการจัดเกรดซากตามระบบยุโรป (EU system) คือ การตัดแต่งชิ้นส่วนเนื้อแดงจากเนื้อทั้งหมด 5 ชิ้นส่วนหลัก ได้แก่ สะโพก (Ham) สันนอก (Loin) สันคอ (Boston) ไหล่ (Picnic) และสามชั้น (Belly)

(5) ความหนาไขมันสันหลัง (Backfat thickness) ผ่าซากสุกรตามยาวออกเป็นสองซีกซ้ายและขวาเท่า ๆ กัน แล้ววัดความหนาของไขมันสันหลังแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของความหนาของไขมันจากการวัดทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งไขมันสันหลังตรงกับกระดูกซี่โครงซี่แรก (First rib) ตำแหน่งไขมันสันหลังตรงกับกระดูกซี่โครงซี่สุดท้าย (Last rib) และตำแหน่งไขมันสันหลังตรงกับกระดูกสันหลังข้อสุดท้าย (Last lumbar)

(6) พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (Loin area) คือ การวัดพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันโดยวัดจากกล้ามเนื้อสันที่ตัดขวางจากซี่โครงซี่ที่ 10 ซึ่งวิธีการ คือ ใช้ตารางพลาสติกทาบเพื่อวัดพื้นที่หรือลอกสำเนาโดยกระดาษแก้วแล้วนำส่วนที่วาดได้มาประมาณค่าพื้นที่ ซึ่งพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณเนื้อแดงของซาก

(7) ความยาวซาก (Carcass length) เป็นวิธีการประเมินปริมาณเนื้อแดงโดยวิธีการวัดจากซากสุกรซีกซ้ายหรือซีกขวาที่แขวนไว้ทำได้โดยวัดความยาวจากกระดูกเชิงกราน (Ischium bone) ส่วนหน้าสุดของขาหลังไปตามแนวกระดูกสันหลังมายังกระดูกคอชิ้นแรก (Atlas bone)

**2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพซากสุกร**

คุณภาพซากของสัตว์จะดีหรือไม่ดีมีปัจจัยหลายประการเข้ามาเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ (วินัย ประลมพ์กาญจน์. 2527; จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539; สัญชัย จตุรสิทธา. 2547)

(1) ลักษณะทางพันธุกรรม เป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับยีนซึ่งได้แก่ ชนิดของสัตว์ที่นำมาเป็นอาหาร โดยจะมีทั้งสัตว์ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เช่น นก ไก่ เป็ด กระต่าย สุกร โค เป็นต้น ซึ่งสัตว์ที่ต่างชนิดกันก็จะมีลักษณะความแตกต่างกันทั้งปริมาณและความแข็งแรงของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันปริมาณและชนิดไขมันที่แตกต่างกัน รวมถึงพันธุ์สัตว์แม้จะเป็นสัตว์ชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ก็จะส่งผลต่อคุณภาพซากที่แตกต่างกัน

(2) ลักษณะเฉพาะของตัวสัตว์เอง

1) เพศ สัตว์เพศผู้และสัตว์เพศเมียจะมีฮอร์โมนบางชนิดที่แตกต่างกันซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพซาก เพศจะมีอิทธิพลต่อขนาดตัวของสัตว์ สัตว์เพศผู้มักมีขนาดใหญ่กว่าเพศเมีย เป็นผลมาจากฮอร์โมน เช่น ฮอร์โมนเพศผู้ (Androgen) จะกระตุ้นให้ร่างกายสะสมเนื้อแดง (โปรตีน) ในปริมาณสูงและมีปริมาณไขมันแทรกภายในและระหว่างมัดกล้ามเนื้อต่ำกว่าเพศเมีย ส่วนฮอร์โมนเพศเมียจะช่วยกระตุ้นความอยากอาหารทำให้มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเร็ว ดังนั้นสัตว์เพศผู้ที่ไม่ถูกตอนจะมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักตัวมากกว่าเพศเมีย มีการสร้างกล้ามเนื้อมากกว่าสัตว์เพศผู้ที่ถูกตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัตว์เพศผู้ถูกส่งฆ่าในขณะที่มีขนาดหรือมีน้ำหนักเท่ากันจึงพบว่าซากมีปริมาณเนื้อแดงสูงและมีปริมาณไขมันต่ำกว่าสุกรเพศผู้ตอนและเพศเมีย

2) อายุ สุกรที่มีอายุน้อยหรือน้ำหนักตัวน้อย จะมีปริมาณเนื้อแดงสูง ปริมาณไขมันน้อย เนื้อนุ่มและสีของเนื้อซีดกว่าสัตว์ที่มีอายุมาก

3) ตำแหน่งของกล้ามเนื้อบริเวณต่าง ๆ ในตัวสัตว์จะมีผลต่อคุณภาพซากที่แตกต่างกันไป กล้ามเนื้อบางมัดจะมีลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อละเอียด มีปริมาณไขมันแทรกมากและมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันน้อย เช่น สันคอและสันใน เป็นต้น

(3) การจัดการ ดูแลสัตว์ เช่น อุณหภูมิและสภาพโรงเรือน สภาพโรงเรือนมีผลทำให้อุณหภูมิภายในคอกแตกต่างกัน ปกติอุณภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ทำให้สัตว์อยู่ได้อย่างสบาย ถ้าอุณหภูมิในคอกสูงกว่าระดับนี้จะมีผลทำให้การสะสมของโปรตีนต่ำลง แต่มีการสะสมไขมันสูงขึ้น เนื่องจากสุกรไม่ต้องใช้พลังงานสำหรับทำให้ร่างกายอุ่นขึ้นจึงสะสมพลังงานในรูปไขมันต่อวันได้สูงกว่า

**2.3.4 ปัจจัยของพันธุ์และสายพันธุ์ที่มีผลต่อคุณภาพซาก**

พันธุ์ของสุกรเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการผลิตสุกรทั้งในด้านสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ การคัดเลือกสายพันธุ์ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคเป็นหลัก เช่น กลุ่มผู้บริโภคในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกาต้องการบริโภคสุกรที่มีไขมันน้อย ได้แก่ สุกรพันธุ์ลาร์จไวท์ (Large white) หรือพันธุ์ยอร์คเชียร์ (Yorkshire) และพันธุ์แลนด์เรซ (Landrace) เป็นต้น ขณะที่ผู้บริโภคในเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น ไต้หวัน และเกาหลี ต้องการบริโภคเนื้อที่มีไขมันแทรกมาก เช่น พันธุ์ดูร็อค (Duroc) เป็นต้น (Ngapo *et al*. 2007)

สำหรับสุกรพื้นเมืองเป็นสุกรที่มีไขมันค่อนข้างมากมีเนื้อแดงน้อย จากข้อมูลพบว่าองค์การอาหารเพื่อการเกษตรแห่งสหประชาชาติได้พยายามรวบรวมข้อมูลด้านพันธุ์สุกรพื้นเมืองที่ยังมีเหลือเลี้ยงอยู่ในประเทศไทยรวมทั้งข้อมูลจากรายงานวิจัยที่เคยมีการตีพิมพ์ไว้ พบว่าหน่วยงานของภาครัฐได้ทำการศึกษาไว้ตั้งแต่ พ.ศ. 2501 ณ สถานีบำรุงพันธุ์สัตว์ทับกวาง กรมปศุสัตว์ จังหวัดสระบุรี ข้อมูลลักษณะซากของสุกรพื้นเมืองและส่วนประกอบของซากดังแสดงในตารางที่ 2.3 (FAO. 1995 อ้างโดย วินัย ประลมพ์กาญจน์ และ ผกาพรรณ สกุลมั่น. 2543)

จากการศึกษาลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทยโดยจตุพร คูณแก้ว (2551) ทำการศึกษาอิทธิพลของพันธุ์และเพศต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมือง (สุกรราด) กับสุกรขุนลูกผสม (ลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ × ดูร็อค) สุกรเพศผู้มีน้ำหนักมีชีวิตเท่ากับ 83.42 และเพศเมียเท่ากับ 87.33 กิโลกรัม ใช้สุกรทั้งหมด 24 ตัว แบ่งเป็น 2 กลุ่มแต่ละกลุ่มประกอบด้วย สุกรเพศผู้ตอนและเพศเมียอย่างละ 6 ตัว จากการศึกษาพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศต่อทุกลักษณะที่ศึกษา ส่วนการศึกษาลักษณะซากโดยเปรียบเทียบทางสายพันธุ์พบว่าสุกรพื้นเมืองมีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันน้อยกว่า ($P < 0.01$) มีความยาวซากน้อยกว่า ($P < 0.01$) และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของไขมันสันหลังมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) เมื่อเทียบกับสุกรขุนลูกผสม สำหรับเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วนตัดแต่งพบว่าสุกรขุนลูกผสมมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงไม่รวมสัน(ไม่รวมสันนอกและสันใน) เนื้อสันใน เนื้อสันนอก เนื้อแดงรวมและกระดูกมากกว่าสุกรราดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และสุกรราดมีเปอร์เซ็นต์มันเปลวและไขมันมากกว่าสุกรขุนลูกผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) ส่วนเปอร์เซ็นต์สามชั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 2.4 และ 2.5)

**ตารางที่ 2.3** ลักษณะคุณภาพซากสุกรพื้นเมืองไทย

| ลักษณะ | พันธุ์สุกร | | |
|---|---|---|---|
| | ราด | ไหหลำ | ควาย |
| เปอร์เซ็นต์ซาก | 78.70 | 74.60 | 76.50 |
| ความหนาไขมันสันหลัง (ซม.) | 6.10 | 4.90 | 4.70 |
| พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (ตร.นิ้ว) | 3.90 | 4.40 | 4.10 |
| เนื้อแดง (%) | 32.40 | 40.60 | 41.30 |
| ไขมัน (%) | 50.00 | 39.40 | 36.50 |
| กระดูก (%) | 5.60 | 7.70 | 6.90 |
| หนัง (%) | 11.90 | 12.10 | 15.20 |

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก วินัย ประลมพ์กาญจน์ และผกาพรรณ สกุลมั่น (2543)

**ตารางที่ 2.4** ลักษณะคุณภาพสุกรพื้นเมืองไทยเปรียบเทียบกับสุกรขุน

| ลักษณะ | พันธุ์ | | เพศ | | P-Value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ราด | ลูกผสม | ผู้ตอน | เมีย | พันธุ์ | เพศ | พันธุ์*เพศ |
| น้ำหนักซากอุ่น (กก.) | 65.20 | 69.53 | 69.79 | 64.94 | ns | ns | ns |
| ความยาวซาก (ซม.) | 66.75 | 72.42 | 70.08 | 69.08 | ** | ns | ns |
| ความหนาไขมันสันหลัง (ซม.) | 4.44 | 2.53 | 3.54 | 3.42 | ** | ns | ns |
| พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (ตร.ซม) | 29.29 | 55.54 | 40.70 | 44.12 | ** | * | ns |
| เปอร์เซ็นต์ซากเย็น | 72.22 | 73.45 | 72.01 | 73.66 | ns | ns | ns |

**ที่มา:** ดัดแปลงจาก จตุพร คูณแก้ว (2551)

ns คือ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย * $P < 0.05$ และ ** $P < 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.5** สัดส่วนจากการตัดแต่งซากแบบสากล (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซาก)

| ลักษณะ | พันธุ์ | | เพศ | | P-Value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ราด | ลูกผสม | ผู้ตอน | เมีย | พันธุ์ | เพศ | พันธุ์*เพศ |
| เนื้อแดงไม่รวมสัน | 21.09 | 28.05 | 23.96 | 25.17 | ** | ns | ns |
| เนื้อสันใน | 0.71 | 1.04 | 0.85 | 0.90 | ** | ns | ns |
| เนื้อสันนอก | 3.24 | 6.87 | 4.82 | 5.29 | ** | ns | ns |
| เนื้อแดงรวม | 25.04 | 35.95 | 29.63 | 31.36 | ** | ns | ns |
| มันเปลว | 1.58 | 0.34 | 1.12 | 0.80 | ** | ns | ns |
| ไขมัน | 14.17 | 7.08 | 10.31 | 10.94 | ** | ns | ns |
| กระดูก | 6.37 | 7.86 | 7.31 | 6.92 | ** | ns | ns |
| สามชั้น | 13.44 | 12.68 | 12.91 | 13.21 | ns | ns | ns |

**ที่มา** : ดัดแปลงจาก จตุพร คูณแก้ว (2551)

ns คือ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย * $P < 0.05$ และ ** $P < 0.01$

จากการศึกษาคุณภาพซากของสุกรพื้นเมืองและสุกรขุนลูกผสมแสดงให้เห็นว่าสุกรที่มีพันธุ์ต่างกันจะมีคุณภาพซากที่แตกต่างกัน ซึ่งคุณภาพซากสุกรมีอัตราพันธุกรรมปานกลางถึงสูงทำให้ถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ไปยังรุ่นต่อไปได้ดีกว่าลักษณะที่มีอัตราพันธุกรรมต่ำ ส่งผลให้สุกรแต่ละพันธุ์และแต่ละสายพันธุ์มีลักษณะซากที่แตกต่างกันไป (พงษ์ชาญ ณ ลำปาง. 2543)

## 2.4 คุณภาพเนื้อ (Meat quality)

คุณภาพของเนื้อสุกร หมายถึง ลักษณะต่าง ๆ ของเนื้อสุกรที่แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติตามความต้องการของผู้บริโภคและความเหมาะสมสำหรับการแปรรูปทำผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรรูปแบบต่าง ๆ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเนื้อมีหลายปัจจัยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ (1) ปัจจัยก่อนสัตว์ตาย (Pre-slaughter factor) เช่น สายพันธุ์ เพศ อายุ ชนิดกล้ามเนื้อ อาหาร การจัดการภายในฟาร์มและการขนส่ง เป็นต้น และ (2) ปัจจัยภายหลังสัตว์ตาย (Post-slaughter factor) เช่น กระบวนการฆ่า การลดลงของค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ระยะเวลาการบ่มและการจัดการเนื้อภายหลังสัตว์ตาย เป็นต้น (ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529; พรรณิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ. 2530)

### 2.4.1 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด - ด่างในเนื้อสุกรจะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์สัตว์ เพศ และความเครียดซึ่งส่งผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในกล้ามเนื้อสัตว์หลังการฆ่า หลังจากสัตว์ตายจะไม่มีออกซิเจนมายังเซลล์กล้ามเนื้อดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการคลายตัวของกล้ามเนื้อจะมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายไกลโคเจนที่เรียกว่า Glycolysis ผ่านกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ATP เป็นจำนวนน้อยและเกิดกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในกล้ามเนื้อ โดยปกติหลังจากที่สุกรถูกฆ่าจะมีค่า pH ประมาณ 7 และหลังจากสัตว์ตายแล้วประมาณ 6-12 ชั่วโมงจะมีค่า pH ประมาณ 5.6-5.8

การลดลงของค่า pH ในเนื้อสัตว์ที่ไม่ปกติมี 2 ลักษณะ คือ (1) ลักษณะของเนื้อซีด เหลว และฉ่ำน้ำ (Pale Soft Exudative (PSE)) เกิดจากกระบวนการ Glycolysis ที่รวดเร็วทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติกสูงพบว่า pH จะลดลงเหลือ 5.3-5.7 ภายในเวลา 1 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตายซึ่งเป็นการลดลงของค่า pH ในขณะที่อุณหภูมิของซากยังสูงอยู่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกล้ามเนื้อสุกรคือ โปรตีนเกิดเสียสภาพ (Denature) ไม่สามารถรักษาคุณสมบัติในการจับน้ำทำให้เนื้อไม่สามารถอุ้มน้ำได้ส่งผลให้น้ำไหลออกมาจากกล้ามเนื้อ เซลล์เกิดการหดตัวอย่างหลวม ๆ ไม่สามารถเกาะกันคงรูปได้จึงเห็นหน้าตัดของเนื้อมีสีซีด เหลว และไม่คงรูป (สัญชัย จตุรสิทธา. 2547) และ (2) เนื้อที่มีลักษณะคล้ำ แข็งและแห้ง (Dark Firm Dry (DFD)) เกิดจากการที่เนื้อมีปริมาณไกลโคเจนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สะสมในกล้ามเนื้อมีอยู่น้อยในขณะที่เริ่มฆ่าสัตว์ หลังจากที่สัตว์ตายจะมีการเปลี่ยนแปลงในกล้ามเนื้อโดยกระบวนการ Glycolysis แบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดผลผลิตสุดท้าย คือ กรดแลคติกในปริมาณน้อย ทำให้ pH สุดท้ายของเนื้อมีค่ามากกว่า 6.1 มีผลทำให้คุณสมบัติบางประการของเนื้อแตกต่างจากเนื้อปกติทั่ว ๆ ไปคือ โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำได้ดี ทำให้เฟอรัสอิออนจับตัวกับโมเลกุลของน้ำได้ดี เส้นใยกล้ามเนื้อจึงมีความหนาแน่นทำให้ออกซิเจนจากภายนอกไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปตามผิวของกล้ามเนื้อได้ง่าย จึงก่อให้เกิดสีคล้ำแข็งและแห้งที่ผิวหน้าของกล้ามเนื้อ การที่เนื้อแห้งเมื่อมีแสงมากระทบแต่มีการกระจายแสงน้อยทำให้เห็นเนื้อมีสีคล้ำ (สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์. 2537)

**2.4.2 สีของเนื้อ (Color)**

สีของเนื้อเป็นความรู้สึกประการแรกที่ผู้บริโภคสามารถสัมผัสได้จึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงกับผู้บริโภคในการพิจารณาเลือกซื้อหรือไม่ซื้อเนื้อ สีของเนื้อจะแตกต่างกันตาม เพศ อายุ ตลอดจนชิ้นส่วนที่มาจากอวัยวะที่ต่างกัน ซึ่งสีของเนื้อที่ปรากฏออกมาเกิดจากโปรตีนประกอบด้วย ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ที่เป็นสารสีในเลือด พบว่าในเนื้อสัตว์มีฮีโมโกลบินและสารสีอื่น ๆ อยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ พบไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งเป็นสารสีในเนื้อมีอยู่ในกล้ามเนื้อประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ของสารสีทั้งหมด (Aberle *et al*. 2001) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของไมโอโกลบินจะส่งผลให้เนื้อมีสีแตกต่างกัน จากการจับของธาตุเหล็กที่อยู่ตรงกลางโครงสร้างโมเลกุลไมโอโกลบินกับสารอื่นซึ่งจะทำให้เนื้อมีสีที่เปลี่ยนไป เช่น การจับกับออกซิเจนจะกลายเป็นออกซีไมโอโกลบิน (Oxymyoglobin) ทำให้เนื้อมีสีแดงสด แต่หากเก็บเนื้อไว้ในที่ไม่มีออกซิเจนจะเกิดการออกซิไดซ์ไปเป็นเมทไมโอโกลบิน (Metmyoglobin) จะทำให้เนื้อมีสีคล้ำ (Listrat *et al.* 2016) ปริมาณของไมโอโกลบินในเนื้อจะผันแปรตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ชนิดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัตว์ เช่น เนื้อโคมีสีเนื้อที่แดงสดกว่าเนื้อสุกร อายุสัตว์ สัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีไมโอโกลบินน้อยกว่าสัตว์ที่มีอายุมาก เป็นต้น

การวัดค่าสีของเนื้อในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้เครื่องมือในการวัดสี ก่อนการวัดสีจะต้องมีการเตรียมเนื้อโดยการตัดเนื้อให้สัมผัสอากาศประมาณ 30-45 นาที มีการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสง จากนั้นจึงทำการวัดสี ค่าที่ได้จะแสดงเป็นค่า L* (Lightness) คือ ค่าความสว่าง a* (Redness) และ b* (Yellowness) โดยค่า L* สามารถบ่งบอกคุณภาพเนื้อเบื้องต้นได้ เช่น การเกิดเนื้อซีด นิ่มและมีน้ำเยิ้ม (PSE) หรือเนื้อสีเข้ม แข็งและแห้ง (DFD) เป็นต้น โดยปกติแล้วค่า L* ของเนื้อสุกรจะมีค่าประมาณ 54 ส่วนเนื้อที่มีลักษณะเป็น PSE จะมีค่า L* อยู่ที่ 60-66 และเนื้อที่เป็น DFD จะมีค่า L* ประมาณ 42-48 (ศุภลักษณ์ สรภักดี. 2560; Adzitey and Huda. 2011)

**2.4.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำในเนื้อสัตว์ (Water holding capacity)**

ความสามารถในการทำให้น้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกล้ามเนื้อยังคงอยู่ภายในกล้ามเนื้อ ถ้าโปรตีนในเนื้ออุ้มน้ำไว้ไม่ดีจะมีการสูญเสียน้ำทำให้เนื้อค่อนข้างแห้งไม่ชวนบริโภค เป็นปัจจัยสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติต่าง ๆ ของเนื้อ เช่น สี รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำของเนื้อ ซึ่งในกล้ามเนื้อมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนที่มีความสำคัญในจับน้ำในเนื้อ คือ กลุ่ม Myofibrillar protein การที่โปรตีนสามารถจับน้ำได้เนื่องจากขั้วของโปรตีนจับกับขั้วตรงข้ามที่อยู่ในโมเลกุลของน้ำนั่นเอง ซึ่งโมเลกุลของน้ำนั้นจะมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน เนื้อที่มีคุณภาพดี คือเนื้อที่มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของเนื้อสูง โดยจะมีความสัมพันธ์กับ pH ในเนื้อสัตว์ เนื้อที่มีค่า pH ต่ำจะมีค่าการอุ้มน้ำต่ำด้วยเช่นกัน ถ้าเนื้อมีค่า pH สูงจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูง ซึ่งเนื้อสัตว์ที่มีคุณสมบัติของการอุ้มน้ำต่ำพบว่าจะเกิดการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาและระหว่างการปรุงสุก ทำให้เนื้อมีลักษณะแห้งและหยาบ (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539; Heyer. 2004)

**2.4.4 ความชุ่มฉ่ำ (Juiciness)**

เป็นคุณสมบัติที่มีความเกี่ยวข้องกับประสาทสัมผัสในการรับประทาน ซึ่งความชุ่มฉ่ำของเนื้อเกิดจากปริมาณน้ำในเนื้อที่ปล่อยออกมาหลังจากมีการฉีกขาด (การเคี้ยว) ความชุ่มฉ่ำของเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมันแทรกในเนื้อ ถ้ามีปริมาณไขมันแทรกมากในเนื้อจะทำให้เกิดความชุ่มฉ่ำในการรับประทาน รวมถึงค่า pH หากเนื้อมีค่า pH สุดท้ายสูงหลังการปรุงสุกแล้วเนื้อยังสามารถจับน้ำได้ดีทำให้มีปริมาณน้ำเหลืออยู่ในเนื้อมาก แต่ถ้าหาก pH สุดท้ายของเนื้อต่ำ การจับน้ำของเนื้อหลังจากการปรุงสุกจะไม่ดีทำให้น้ำเหลือในปริมาณน้อย นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้การปรุงสุก และรูปแบบการปรุงสุกก็ส่งผลต่อความชุ่มฉ่ำของเนื้อเช่นกัน (Kerry and Ledward. 2002)

**2.4.5 องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)**

คุณค่าทางโภชนะของเนื้อขึ้นอยู่กับปริมาณของโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรท ไวตามิน และเกลือแร่ โดยทั่วไปองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อส่วนใหญ่ คือ น้ำและโปรตีน (74 และ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ)โดยที่องค์ประกอบทางเคมีมีแตกต่างกันออกไปตามส่วนต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อ และมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น อายุ พันธุ์ และเพศที่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อสัตว์ แสดงในตารางที่ 2.6 (พร้อมลักษณ์ สมบูรณ์ปัญญากุล. 2555; Vasupen *et al*. 2007a)

**ตารางที่ 2.6** องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสุกรพื้นเมือง (พันธุ์กระโดน)

| ลักษณะที่ศึกษา | เพศผู้ | เพศเมีย | P-Value |
|---|---|---|---|
| น้ำหนักเข้าฆ่า (กก.) | 23.20 | 26.10 | ns |
| องค์ประกอบทางเคมี (%) | | | |
| ความชื้น | 79.22 | 78.04 | ns |
| เถ้า | 1.03 | 1.14 | ns |
| โปรตีน | 22.70 | 22.70 | ns |
| ไขมัน | 8.62 | 8.85 | ns |

**ที่มา** : ดัดแปลงจาก Vasupen (2007 a)

ns คือ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P > 0.05)

**2.4.6 ความนุ่มของเนื้อ (Tenderness)**

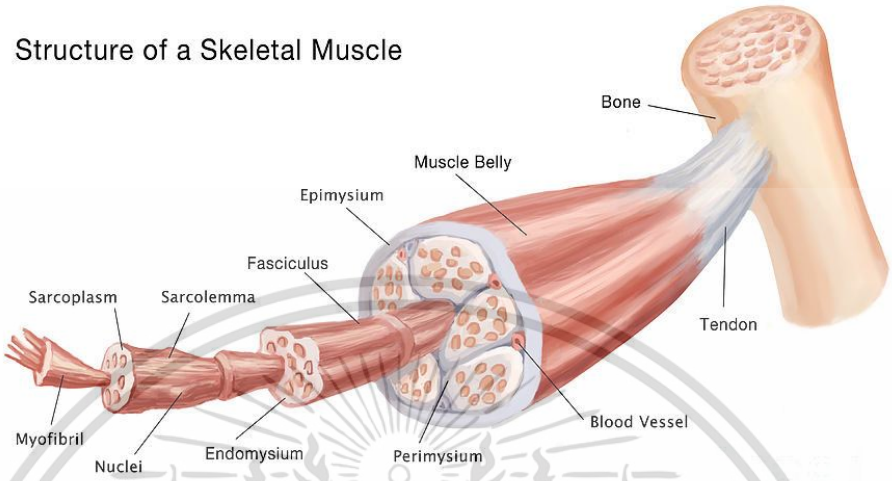
เนื้อจะมีความนุ่มมากหรือน้อยมีอิทธิพลจากปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดสัตว์ พันธุ์ อายุ ชนิดของกล้ามเนื้อ ปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตาย เป็นต้น ความนุ่มของเนื้อเป็นผลจากปริมาณและโครงสร้างของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ถ้ากล้ามเนื้อส่วนใดมีปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากกล้ามเนื้อส่วนนั้นจะมีความนุ่มต่ำมีความเหนียวมาก เพราะดัชนีของความนุ่มคือ ปริมาณโปรตีนคอลลาเจน (เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน) ส่วนอิลาสติน (Elastin) และเรติคิวลิน (Recticulin)ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีผลต่อความนุ่มน้อยกว่าคอลลาเจน (Collagen) เนื้อเยื่อเกี่ยวพันประเภทคอลลาเจนจะพบบริเวณกล้ามเนื้อที่ใช้งานเป็นประจำ เช่น กล้ามเนื้อน่องหรือไหล่ (สัญชัย จตุรสิทธา. 2543)

**2.4.7 ปัจจัยที่มีผลต่อความนุ่มของเนื้อ**

2.4.7.1 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) มีกระจายอยู่ในแทบจะทุกแห่งในตัวสัตว์ เพราะทำหน้าที่เชื่อมกล้ามเนื้อให้ติดอยู่กับกระดูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกล้ามเนื้อจะห่อหุ้มตั้งแต่กล้ามเนื้อทั้งก้อนลงไปจนถึงหน่วยที่เล็กที่สุดของกล้ามเนื้อ โดยชั้นนอกสุด คือ เอพิไมเซียม (Epimysium) ชั้นถัดมาเป็นเพอริไมเซียม (Perimysium) และชั้นในสุดเรียกว่า เอ็นโดไมเซียม (Endomysium) ซึ่งทำหน้าที่ในการห่อหุ้มและมีการแทรกตัวเข้าไปภายในกล้ามเนื้อจนถึงระดับเส้นใยกล้ามเนื้อทำให้เกิดโครงสร้างที่เหนียวและแข็งแรง (ภาพที่ 2.4) ปริมาณและคุณภาพของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันนับว่ามีอิทธิพลสูงต่อความนุ่มและความน่ารับประทานของเนื้อสัตว์ ถ้ากล้ามเนื้อทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก เช่น ขาและไหล่ก็จะมีความเหนียวสูงกว่ากล้ามเนื้อที่ไม่ได้ทำงาน เช่น เนื้อสันนอกและสันใน เป็นต้น เนื่องจากมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในปริมาณสูง (สัญชัย จตุรสิทธา. 2543; อภิชญา พึ่งสุข. 2559)




**ภาพที่ 2.4** โครงสร้างกล้ามเนื้อ

**ที่มา:** Sutton. (2014)

องค์ประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อมากที่สุดคือ คอลลาเจน (Collagen) ปริมาณคอลลาเจนในเนื้อบ่งบอกถึงปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งมีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อโดยเนื้อที่มีคอลลาเจนมากจะเหนียว ปริมาณคอลลาเจนในกล้ามเนื้อสัตว์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันและจะเพิ่มขึ้นตามอายุสัตว์ โดยคอลลาเจนบางส่วนสามารถละลายได้เมื่อได้รับความร้อนเรียกว่า “Soluble collagen” ส่วนคอลลาเจนที่ไม่สามารถละลายได้เรียกว่า “Insoluble collagen” ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมดเรียกว่า “Total collagen” และเปอร์เซ็นต์ของคอลลาเจนที่สามารถละลายได้เมื่อได้รับความร้อนเรียกว่า “Collagen solubility percentage” ซึ่งถ้าเนื้อมีคอลลาเจนที่ละลายได้เมื่อได้รับความร้อนและเปอร์เซ็นต์ของคอลลาเจนที่สามารถละลายได้สูงเนื้อจะมีความนุ่ม ชนิดของคอลลาเจนมีมากกว่า 19 ชนิดแต่ละชนิดมีรหัสยีนแตกต่างกันในการควบคุม แต่คอลลาเจนที่พบในกล้ามเนื้อสัตว์ ได้แก่ คอลลาเจนชนิด I II III IV V และ XI (Weston *et al*. 2002)

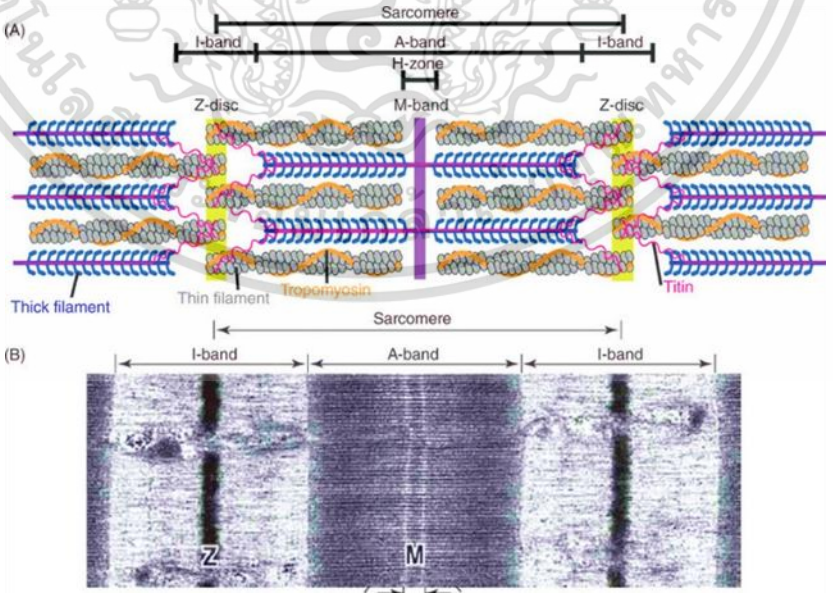
2.4.7.2 ไขมันในเนื้อ (Intramuscular fat) ไขมันที่กระจายอยู่ในเนื้อเกิดจากการสะสมของไขมันที่แทรกอยู่ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นใน (Perimysium) ที่ห่อหุ้ม Muscle bundle ระดับของไขมันแทรกในกล้ามเนื้อจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งมีปัจจัยหลายประการที่มีอิทธิพลต่อระดับไขมันแทรก เช่น ชนิดของสัตว์ พันธุ์ อายุ และชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ เป็นต้น การปรับปรุงพันธุ์ให้สุกรมีประสิทธิภาพการผลิตสูงส่งผลให้ระดับไขมันแทรกในกล้ามเนื้อต่ำลง เนื้อสุกรที่มีรสชาติดี มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นุ่ม และมีความชุ่มฉ่ำควรมีปริมาณไขมันแทรกประมาณ 2.5-3.0 เปอร์เซ็นต์ โดยไขมันแทรกในกล้ามเนื้อจะช่วยลดปริมาณโปรตีนต่อหน่วยของเนื้อทำให้ลดความหนาแน่นของโปรตีนลงส่งผลให้เนื้อมีความนุ่มเพิ่มขึ้น (Daszkiewicz *et al*. 2005; Hocquette *et al*. 2014)

2.4.7.3 ความยาวซาร์โคเมียร์ (Sarcomere length) ซาร์โคเมียร์ คือ หน่วยที่เล็กที่สุดของไมโอไฟบิลมีหน้าที่โดยตรงในการคลายและหดตัวของกล้ามเนื้อ มีลักษณะเป็นลายอันเกิดจากการเรียงตัวอย่างมีระเบียบของบริเวณทึบแสงและบริเวณโปร่งแสงสลับกันไป เรียกว่า “I band” บริเวณตรงกลางระหว่าง I-band จะมีเส้นทึบที่เรียกว่า Z-line ระยะห่างระหว่าง Z-line สองเส้นที่อยู่ติดกันเรียว่า 1 ซาร์โคเมียร์ (ภาพที่ 2.5) ในสภาวะปกติซาร์โคเมียร์จะมีความยาวประมาณ 2.5 ไมโครเมตร (Vandendriessche *et al*. 1984) ซึ่งความยาวของซาร์โคเมียร์ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อและความยาวซาร์โคเมียร์มีความสัมพันธ์กับความนุ่ม พบว่าถ้าเนื้ออยู่ในสภาวะคลายตัวความยาวซาร์โคเมียร์จะมากกว่าในเนื้อที่หดตัวและเนื้อจะมีความนุ่มมากกว่าหลังจากผ่านระยะการเกร็งตัว (Rigor mortis) สิ่งที่มีผลต่อความยาวซาร์โคเมียร์ คือ การจัดการหลังสัตว์ตาย เช่น หากทำการแช่ซากหลังสัตว์ตายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ก่อนที่ซากจะเข้าสู่ระยะเกร็งตัวจะส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว (Cold shortenning) ทำให้ซาร์โคเมียร์สั้นและเนื้อจะมีความเหนียวมาก (จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554)

จากการศึกษาของ Kannan *et al*. (2006) ได้ทำการศึกษาระดับโภชนะในอาหารที่มีผลต่อโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งระดับโปรตีนในอาหารที่ทำการศึกษาคือ 12 และ 18 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอิทธิพลของระดับโปรตีนไม่มีผลทางสถิติต่อความยาวซาร์โคเมียร์ในกล้ามเนื้อสันนอกของแพะ




**ภาพที่ 2.5** ซาร์โคเมียร์

**ที่มา :** Henderson *et al*. (2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.4 ขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fibre size) เป็นสิ่งที่ผู้บริโภคสังเกตเห็นได้ ซึ่งเนื้อที่มีความนุ่มจะมีเส้นใยขนาดเล็กและค่อนข้างละเอียด ขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับอายุ ชนิดของสัตว์ และลักษณะการใช้งานของกล้ามเนื้อ เช่น เมื่อสัตว์อายุมากขึ้นขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อจะใหญ่ขึ้น สัตว์เพศผู้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อใหญ่กว่าเพศเมีย เป็นต้น เนื้อที่มีขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อใหญ่จะมีความเหนียวมากกว่าเนื้อที่มีขนาดเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดเล็ก นอกจากนี้พบว่าเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ยังส่งผลให้ค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูง ค่าสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาและการปรุงสุกก็สูงตามไปด้วย (Bulotiene and Jukna. 2008)

2.4.7.5 ปัจจัยของพันธุ์ที่ส่งผลต่อคุณภาพเนื้อ สายพันธุ์เป็นปัจจัยสำคัญทางด้านการผลิตสัตว์ที่มีผลต่อทั้งคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ การพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์จะเน้นการปรับปรุงด้านปริมาณ คือ ต้องการซากที่มีสัดส่วนเนื้อแดงต่อไขมันสูง เนื่องจากให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูง ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่พบว่าการพัฒนาสายพันธุ์สุกรให้มีคุณภาพซากดีขึ้นแต่กลับส่งผลให้คุณภาพเนื้อลดลง เช่น Mogowan *et al.* (2011) พบว่าการคัดเลือกทางพันธุกรรมสามารถช่วยปรับปรุงรูปร่าง การเจริญเติบโต และคุณภาพซากของสุกรให้ดีมากขึ้น แต่พบว่าสุกรที่ถูกปรับปรุงพันธุ์ให้มีคุณภาพซากดีขึ้นจะแปรผกผันต่อคุณภาพเนื้อของสุกร

จากการศึกษาของจตุพร คูณแก้ว (2551) ที่ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของพันธุ์และเพศต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมือง (สุกรราด) เปรียบเทียบกับสุกรขุนลูกผสม (ลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ × ดูร็อค) โดยน้ำหนักมีชีวิตของสุกรพื้นเมืองและสุกรขุนลูกผสมเฉลี่ยเท่ากับ 83.42 และ 87.33 กิโลกรัมตามลำดับ แต่ละกลุ่มประกอบด้วยสุกรเพศผู้ตอนและสุกรเพศเมียอย่างละ 6 รวมทั้งสิ้น 24 ตัว จากการศึกษาพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และเพศต่อทุกลักษณะที่ศึกษา สำหรับคุณภาพเนื้อพบว่าพันธุ์ของสุกรมีอิทธิพลต่อค่า pH ที่ระเวลา 1 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย ค่า L* ค่า b* และความชื้นในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2.7

จากการศึกษาของ Migdal *et al.* (2017) ที่ทำการศึกษาคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองแต่ละสายพันธุ์ประกอบด้วยสุกรประเภทมันสายพันธุ์ Mangalitza และ Moravka ซึ่งเป็นสุกรพื้นเมืองของสาธารณรัฐเซอร์เบียร์ และสุกรพื้นเมืองของประเทศโปแลนด์ ได้แก่ สุกรสายพันธุ์ Zlotnicka Spotted, Zlotnicka White และ Pulawska ซึ่งสุกรพื้นเมืองกลุ่มนี้เป็นสุกรที่ไม่มีการนำไปผสมข้ามพันธุ์ทำให้ยังสามารถรักษาลักษณะคุณภาพเนื้อที่ดีไว้ได้ จากงานวิจัยพบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก ค่าสีของเนื้อ (L* a* และ b*) และไขมันในเนื้อของสุกรแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนค่า pH ที่ระยะเวลา 24 ชม.หลังสัตว์ตาย และองค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้นและโปรตีนในกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงในตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.7** ลักษณะคุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองเปรียบเทียบกับสุกรขุน

| ลักษณะที่ศึกษา | พันธุ์ | | เพศ | | P-Value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ราด | ลูกผสม | ผู้ตอน | เมีย | พันธุ์ | เพศ | พันธุ์*เพศ |
| ค่า pH 1 ชม.หลังสัตว์ตาย | 6.94 | 6.52 | 6.83 | 6.63 | * | ns | ns |
| ค่า pH 24 ชม.หลังสัตว์ตาย | 5.86 | 5.68 | 5.79 | 5.75 | ns | * | ns |
| สีของเนื้อ | | | | | | | ns |
| L* | 40.03 | 44.02 | 42.38 | 41.67 | ** | ns | ns |
| a* | 1.68 | 1.69 | 1.59 | 1.77 | ns | ns | ns |
| b* | 9.54 | 10.88 | 10.24 | 10.18 | ** | ns | ns |
| ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กก./ตร.ซม.) | 3.05 | 2.72 | 2.83 | 2.93 | ns | ns | ns |
| การสูญเสียน้ำระหว่างเก็บรักษา (%) | 4.30 | 4.39 | 4.51 | 4.18 | ns | ** | ns |
| การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (%) | 20.84 | 21.24 | 21.74 | 20.33 | ns | * | ns |
| องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อ (%) | | | | | | | |
| โปรตีน | 18.91 | 18.93 | 19.58 | 19.26 | ns | ns | ns |
| ไขมัน | 5.15 | 5.72 | 5.47 | 5.40 | ns | ns | ns |
| ความชื้น | 72.23 | 73.67 | 73.29 | 72.61 | ** | ns | ns |

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก จตุพร คูณแก้ว. (2551)

ns คือ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย * $P < 0.05$ และ ** $P < 0.01$

**ตารางที่ 2.8** คุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองสาธารณรัฐเซอร์เบียร์และสุกรพื้นเมืองประเทศโปแลนด์

| ลักษณะที่ศึกษา | พันธุ์สุกร | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Zlotnicka Spotted | Zlotnicka White | Pulawska | Mangalitza | Moravka |
| ค่า pH 24 ชม.หลังสัตว์ตาย | 5.80 | 5.72 | 5.54 | 5.55 | 5.64 |
| การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (%) | $29.32^{b}$ | $22.76^{a}$ | $26.95^{ab}$ | $25.76^{ab}$ | $24.68^{ab}$ |
| สีของเนื้อ | | | | | |
| L* (Lightness) | $46.43^{a}$ | $49.54^{ab}$ | $55.45^{b}$ | $51.35^{ab}$ | $52.35^{ab}$ |
| a* (Redness) | $8.20^{a}$ | $14.23^{b}$ | $13.82^{b}$ | $13.27^{b}$ | $20.74^{c}$ |
| b* (Yellowness) | $2.95^{a}$ | $3.34^{a}$ | $6.32^{b}$ | $7.12^{b}$ | $10.15^{c}$ |
| องค์ประกอบทางเคมี (%) | | | | | |
| ความชื้น | 72.70 | 73.70 | 73.60 | 73.30 | 72.90 |
| โปรตีน | $22.10^{b}$ | $21.70^{ab}$ | $21.40^{ab}$ | $20.70^{a}$ | $20.20^{a}$ |
| ไขมัน | $3.40^{ab}$ | $3.00^{a}$ | $3.20^{a}$ | $4.00^{b}$ | $5.10^{c}$ |

**ที่มา :** ดัดแปลงจาก Migdal *et al.* (2017)

$^{a,b,c}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวนอนเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Fiber type)

โครงสร้างกล้ามเนื้อของสัตว์ส่วนใหญ่เป็นกล้ามเนื้อลาย (Skeletal muscle) ซึ่งในเซลล์กล้ามเนื้อจะประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (Myofibril) ย่อย ๆ จำนวนมากประมาณ 80 % ของเซลล์กล้ามเนื้อ ไมโอซิน (Myosin) เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในเส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งกลุ่มโปรตีนจะมีผลทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สำหรับโครงสร้างของไมโอซินประกอบด้วย Myosin heavy chain (MHC) 2 ส่วน และ Myosin light chain 4 ส่วน ซึ่งความเร็วในการยืดหดตัวนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของ MHC เนื่องจากส่วนหัวของ MHC จะมี ATPase ซึ่งทำหน้าที่สลาย ATP ให้เป็นพลังงานที่ใช้ในการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ ความแตกต่างของปริมาณ ATPase ในเส้นใยกล้ามเนื้อสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Schiaffino and Reggiani. 1996) (ตารางที่ 2.9)

**ตารางที่ 2.9** คุณสมบัติของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิด

| คุณสมบัติ | ชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ | | |
|---|---|---|---|
| | Type I: $\beta$-red | Type IIa: $\alpha$-red | Type IIb: $\alpha$-white |
| การสร้าง ATP | ใช้ออกซิเจน | ใช้ออกซิเจน | ไม่ใช้ออกซิเจน |
| สีของกล้ามเนื้อ | แดง | ชมพูแดง | ขาว |
| ความเร็วในการหดตัว | ช้า | เร็ว | เร็ว |
| ความทนทานในการทำงาน | สูง | กลาง | ต่ำ |
| ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ | เล็ก | ปานกลาง | ใหญ่ |
| ปริมาณไกลโคเจน | ต่ำ | ปานกลาง | สูง |
| ปริมาณไมโอโกลบิน | สูง | สูง | ต่ำ |
| ปริมาณไมโตคอนเดรีย | สูง | ปานกลาง | ต่ำ |
| ปริมาณเส้นเลือดที่มาเลี้ยง | สูง | สูง | ต่ำ |

**ที่มา:** ดัดแปลงจาก Lengerken *et al.* (2002)

คุณภาพเนื้อมีความเกี่ยวข้องกับชนิดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยกล้ามเนื้อเนื่องจากโครงสร้างของกล้ามเนื้อจะประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมาก โดยเส้นใยกล้ามเนื้อมีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกัน เส้นใยกล้ามเนื้อต่างชนิดกันจะมีสีต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไมโอโกลบิน (Myoglobin) ที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อ การจัดจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.1 เส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง (Type I หรือ Red fiber)** เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนี้มีความสามารถในการหดตัวช้า (Slow twitch oxidative muscle; β-red) เซลล์กล้ามเนื้อมีขนาดเล็กกว่าเซลล์กล้ามเนื้อชนิดอื่น มีหลอดเลือดฝอยจำนวนมาก ภายในเซลล์ประกอบด้วยไมโอโกลบินและไมโตคอนเดรียจำนวนมากทำให้กล้ามเนื้อมีสีแดงและกล้ามเนื้อชนิดนี้สามารถขนส่งออกซิเจนได้มาก มีเมทาบอลิซึมแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic metabolism) แม้ว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อช้าแต่มีความทนทานต่อการเมื่อยล้าได้เป็นเวลานาน เช่น กล้ามเนื้อไหล่ กล้ามเนื้อขา และกล้ามเนื้อสันใน

**2.5.2 เส้นใยกล้ามเนื้อสีชมพูแดง (Type IIa หรือ Intermediate type)** เส้นใยชนิดนี้มีความสามารถในการหดตัวเร็ว (Fast twitch oxidative muscle; α-red ) มีไมโตคอนเดรียและหลอดเลือดฝอยจำนวนมากทำให้เนื้อมีสีค่อนข้างแดง พลังงานที่กล้ามเนื้อใช้ในการหดตัวมาจากการเผาผลาญอาหารแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ จึงทำให้เซลล์มีความพิเศษที่หดตัวได้เร็วและทนทานต่อการเมื่อยล้า เช่น กล้ามเนื้อรักบี้ และกล้ามเนื้อสันในเทียม (Karlssona *et al*. 1999)

**2.5.3 เส้นใยกล้ามเนื้อสีขาว (Type IIb หรือ White fiber)** เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่มีการหดตัวเร็ว (Fast twitch glycolytic muscle; α-white ) กล้ามเนื้อชนิดนี้มีเซลล์กล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่ มีสีซีดจางเนื่องจากปริมาณไมโอโกลบินและเส้นเลือดฝอยมีน้อย พลังงานที่ใช้ในการหดตัวมาจากกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic metabolism) เป็นหลัก เช่น กล้ามเนื้อสันนอก กล้ามเนื้อพับใน และกล้ามเนื้อพับนอกในสุกร (Karlssona *et al*. 1999)

นอกจากนี้ยังพบเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่าง type IIa และ type IIb ซึ่งมีการหดตัวเร็ว คือ เส้นใยกล้ามเนื้อ type IIx หรือ type IId หรือ Intermediate fast twitch glycolytic muscle (Schiaffino and Reggiani. 1996)

จากการศึกษาของ Ryu and Kim (2005) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อกับคุณภาพเนื้อสันนอกของสุกรลูกผสม (ดูร็อค×ยอร์คเชียร์-แลนด์เรซ) พบว่าปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์กับลักษณะคุณภาพเนื้อ โดยปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ type I มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าแรงตัดผ่านเนื้อ I ($r = 0.23$, $P < 0.05$) แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่า L* ($r = -0.18$, $P < 0.01$) ปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIa มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า pH ที่ 24 ชั่วโมงหลังจากสัตว์ตาย ($r = 0.28$, $P < 0.001$) แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่า L* ($r = -0.23$, $P < 0.01$) ค่า b*($r = -0.20$, $P < 0.01$) การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ($r = -0.28$, $P < 0.001$) และปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb ($r = -0.23$, $P < 0.01$) ปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา ($r = 0.36$, $P < 0.001$) ค่าสีของเนื้อ L* ($r = 0.34$, $P < 0.001$) และ b* ($r = 0.19$, $P < 0.01$)

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่าถ้าในกล้ามเนื้อของสุกรมีปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb มากจะส่งผลเสียต่อค่า pH ที่ลดลงอย่างรวดเร็ว การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาและสีของเนื้อที่ซีดมากขึ้น เนื่องจากอัตราการลดลงของค่า pH หลังสัตว์ตายสูงเพราะเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb มีการสะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไกลโคเจนสูงกว่า type I ดังนั้นหลังจากสัตว์ตายการสลายพลังงานจะเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งทำให้เกิดการสะสมกรดแลกติคในปริมาณที่สูงกว่าส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากกว่า นอกจากนี้มีรายงานที่กล่าวว่าชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อมีอิทธิพลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในกล้ามเนื้อจึงส่งผลต่อคุณภาพเนื้อโดยเฉพาะความสามารถในการอุ้มน้ำเนื่องจากเป็นผลจากการลดลงของค่า pH ภายในกล้ามเนื้อหลังสัตว์ตายด้วย (Sonesson *et al*. 1998; Brocks *et al.* 2000)

สำหรับวิธีการจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อสามารถจำแนกได้หลายวิธี ดังนี้

(1) วิธีการฮิสโตเคมิสทรี (Histochemistry) เป็นวิธีการจำแนกชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อตามลักษณะการเกิดขบวนการเมทาบอลิซึมแบ่งออกเป็นแบบ Slow twitch type I และ Fast twitch type II (Lefaucheur and Gerrard. 2000) ด้วยการทำ m-ATPase staining โดยที่ type I m-ATPase จะถูกยับยั้งหลังจาก Alkaline pre-incubation และ type II จะถูกยับยั้งหลังจาก Acid pre-incubation (Picard *et al*. 2002) หรืออีกวิธีหนึ่งคือ การวัดจากกิจกรรมของเอนไซม์ในขบวนการเมทบอลิซึมในไมโตคอนเดรีย เช่น Oxidative enzyme succinate dehydrogenase (SDH) โดยเส้นใยกล้ามเนื้อสีแดง และเส้นใยกล้ามเนื้อสีขาวสามารถแยกได้ด้วย SDH staining (Gauthier. 1969) เมื่อรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกันโดยจะทำการแบ่งระหว่าง Slow type I และ Fast type II ด้วย mATPase-based จากนั้นทำการแบ่งระหว่าง Fast oxidative และ Fast glycolytic ด้วย Metabolic enzyme based ซึ่งสารละลายกรดจะยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ mATPase ในกล้ามเนื้อชนิด Fast fiber แต่จะไม่มีผลต่อเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด Slow fiber และสารละลายด่างจะยับยั้ง mATPase ซึ่งจะเกิดเฉพาะในกล้ามเนื้อชนิด Slow fiber เท่านั้น ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ ATP จะทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานและสารตั้งต้น คือ ฟอสเฟต ดังนั้นประสิทธิภาพของฟอสเฟตที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการย่อยสลาย ATP โดยในเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด Fast fiber จะสลาย ATP ได้เร็วกว่า Slow fiber ที่เวลาเท่ากัน

การจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อด้วยวิธี Histochemistry ใช้เวลาค่อนข้างมาก ปัจจุบันจึงมีการนำเอาวิธีการอื่นเพื่อนำใช้ในการจำแนกเส้นใยกล้ามเนื้อ เช่น การแบ่งตาม Myosin Heavy Chain isoforms โดยหลักการ Immune-histochemistry ซึ่งอาศัยแอนติบอดี้ (Antibodies) ที่มีความจำเพาะเจาะจงกับ MHC isoforms หรือวิธีอิเล็กโตรโฟริสิส (Electrophoresis) นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกตามการแสดงออกของยีน (Gene expression) ได้อีกด้วย วิธีเหล่านี้สามารถจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อได้รวดเร็วกว่าแบบดั้งเดิม

(2) วิธีอิเล็กโตรโฟริสิส (Electrophoresis) โดยอาศัยหลักการที่โปรตีนมีประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วที่ตรงข้ามกันด้วยกระแสไฟฟ้า โดยจะผ่านแผ่นเจลซึ่งโครงสร้างภายในมีลักษณะเป็นรูพรุนและเชื่อมต่อกันเป็นร่างแห จึงทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดโปรตีน ทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่เคลื่อนที่ช้ากว่าโปรตีนขนาดเล็ก ดังนั้นการเคลื่อนที่ของ MHC จากการเคลื่อนที่เร็วที่สุดจะอยู่ด้านล่างของเจลและช้าที่สุดอยู่ด้านบนของเจล คือ MHC I MHC IIa และ MHC IIx ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) วิธีการจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อตามการแสดงออกของยีน วิธีนี้ คือ การวัดปริมาณการแสดงออกของยีนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดนั้น ๆ Wimmers *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาการจำแนกชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อสุกรด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่าปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่จำแนกด้วยวิธี Histochemistry มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการจำแนกด้วยวิธี Real-time PCR (ตารางที่ 2.10 )

**ตารางที่ 2.10** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดที่จำแนกด้วยวิธี Histochemistry และวิธี Real-time PCR

| ชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ (%) | วิธี Histochemistry | วิธี Real-time PCR | ค่าสหสัมพันธ์ |
|---|---|---|---|
| MHC I | 16.10±1.90 | 18.30±1.80 | 0.72** |
| MHC IIa | 3.50±0.60 | 12.80±3.00 | 0.67** |
| MHC IIx | - | 16.50±2.60 | - |
| MHC IIb | 80.40±1.90 | 52.40±5.00 | 0.53** |

**ที่มา :** Wimmers *et al.* (2008)

มีนัยสำคัญทางสถิติโดย *P < 0.05 และ **P < 0.01

## 2.6 ยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ (Meat quality related genes)

ในกระบวนการถอดรหัสของยีน (Transcription) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญในการเป็นยีนแม่แบบในการสร้างโปรตีนในร่างกายสัตว์ ในกระบวนการนี้จะเกิดการถอดรหัสจากดีเอ็นเอ (DNA) มาเป็นอาร์เอ็นเอ (RNA) โดยโมเลกุลของเอ็มอาร์เอ็นเอ (Messenger ribonucleotide acid; mRNA) โพลีนิวคลีโอไทด์สายคู่ของ DNA จะคลายเกลียวออกจากกันแล้วสร้างโพลีนิวคลีโอไทด์สายเดี่ยว (mRNA) ขั้นตอนต่อไปจะเกิดกระบวนแปลรหัสพันธุกรรม (Translation) โดยการทำงานร่วมกันระหว่าง ทีอาร์เอ็นเอ(Transfer RNA ; tRNA) และอาร์อาร์เอ็นเอ (Ribosomal RNA ; rRNA) ที่เป็นองค์ประ กอบหลักของไร โบโซม (Brooker. 2005)

ดังนั้นร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่ประกอบด้วยเซลล์ที่ทำหน้าที่แตกต่างกันและทุก ๆ เซลล์จะมีดีเอ็นเอ (DNA) เป็นองค์ประกอบเหมือนกัน แต่ที่ทำให้ลักษณะปรากฏแตกต่างกัน คือ ปริมาณการแสดงออกของยีน ซึ่งเกิดจากกระบวนการเรียงลำดับเบสของนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกันและยังส่งผลต่อปริมาณโปรตีนที่ผลิตอีกด้วย (Kapuscinski and Jacobson. 1987) โดยระดับการแสดงออกของยีนในเนื้อเยื่อนั้นอาจมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ สายพันธุ์และชนิดของกล้ามเนื้อ (Whipple *et al*. 1990; Koohmaraie *et al*. 1991) ดังนั้นการศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อสุกรจึงอาจเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงความนุ่มและคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทยได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความนุ่มของเนื้อเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคยินดีที่จะจ่ายเงินมากขึ้นเพื่อให้ได้เนื้อที่ตรงตามความต้องการ ซึ่งคุณภาพเนื้อของสุกรส่วนหนึ่งถูกควบคุมด้วยลักษณะทางพันธุกรรม (ยีน) รวมทั้งอาหารและการจัดการที่ดี โดยเฉพาะการจัดการหลังจากสัตว์ตายนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความนุ่มของเนื้อสุกร เนื่องจากหลังจากสัตว์ตายจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกล้ามเนื้อโดยการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับความนุ่มของเนื้อซึ่งมีดังต่อไปนี้

**2.6.1 ยีนในระบบเอนไซม์คาลเปน (Calpain system)**

(1) ยีน CAPN1 มีความยาวมากกว่า 15,000 bp จะอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 2 ประกอบด้วย 23 exons และอยู่ที่ตำแหน่ง NC_010444.4 (NCBI. 2017) ยีนนี้ควบคุมการสร้างเอนไซม์ Calpain 1 หรือ μ-Calpain เป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงหลังจากสัตว์ตาย Calpain 1 จัดเป็นไอโซฟอร์มของ Calcium dependent thiol protease ที่สามารถทำงานได้เมื่อมีความเข้มข้นของ $Ca^{2+}$ ในระดับที่เหมาะสม โดยต้องการ $Ca^{2+}$ มากระตุ้นการทำงานในระดับต่ำ คือ micromolar (50-100 μM ) (Morgan *et al*. 1993)

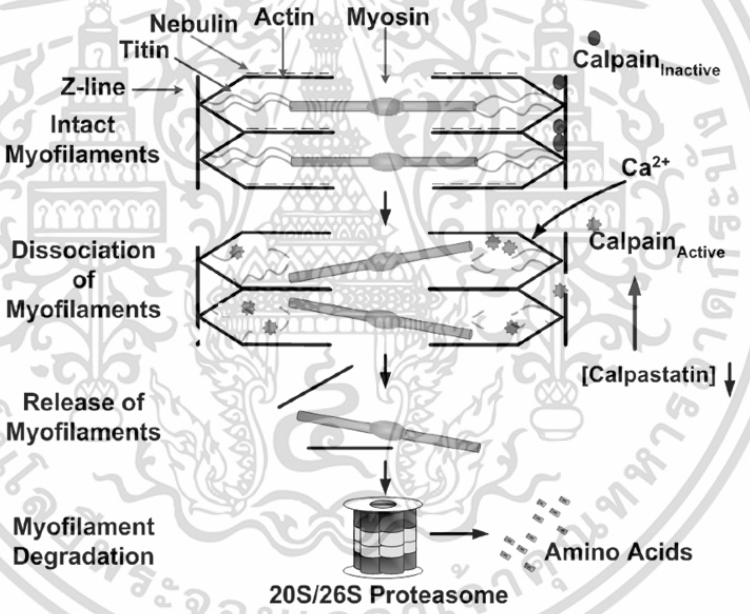
(2) ยีน CAPN2 อยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 10 ประกอบด้วย 21 exons และอยู่ที่ตำแหน่ง NC_010452.4 (NCBI. 2017) ควบคุมการสร้างเอนไซม์ Calpain 2 หรือ m-Calpain มีบทบาทต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงหลังจากสัตว์ตายเช่นเดียวกับ Calpain 1 สำหรับการทำงานของเอนไซม์ Calpain 2 ต้องการ $Ca^{2+}$ มากระตุ้นการทำงานในระดับสูง คือ millimolar (1-2 mM) (Morgan *et al*. 1993)

เอนไซม์คาลเปนสามารถพบได้ทั่วไปในซาร์โคพลาสซึม (Sarcoplasm) ของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อสัตว์ การทำงานของเอนไซม์คาลเปนจะทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางหรือค่า pH ประมาณ 7.5 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งเอนไซม์กลุ่มคาลเปนจะทำงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วย $Ca^{2+}$ หลังจากที่สัตว์ตายพลังงานในรูป ATP ถูกใช้เกือบหมด เกิดการหดเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (Rigor mortis) ซึ่งส่งผลให้ผนังของซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมและไมโตคอนเดรียไม่สามารถเก็บ $Ca^{2+}$ ไว้ได้ ทำให้ $Ca^{2+}$ ถูกปล่อยสู่ซาร์โคพลาสซึม (Jeacocke. 1993) ซึ่งปริมาณของ $Ca^{2+}$ ที่เพิ่มขึ้นนี้จะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คาลเปนให้ย่อยสลายโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อบริเวณ Z-line ทำให้เกิดการแตกหักของ Troponin I, Desmin, Troponin T และ Titin โดยหลังจากการทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนแล้วเอนไซม์คาลเปนจะเกิดการสลายตัว (Autolysis) ในภาพที่ 2.6 จำลองการทำงานของเอนไซม์คาลเปนเกิดขึ้นบริเวณ Z-line ในช่วงแรกเอนไซม์ยังไม่มีการทำงานจนมีแคลเซียมไอออนถูกปลดปล่อยออกมากระตุ้นให้เอนไซม์เกิดการทำงานส่งผลทำให้เกิดการแตกหักของโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อต่าง ๆ เช่น Titin Nebulin Actin และ Myosin (Koohmaraie *et al*. 1991; Koohmaraie. 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ยีน CAST อยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 2 ประกอบด้วย 35 exons และอยู่ที่ตำแหน่ง NC_010444.4 ยีน CAST จะควบคุมการสร้างโปรตีนคาลปาสเตตินเป็นซึ่งเป็นตัวยับยั้งการทำงานเอนไซม์คาลเปน

คาลปาสเตตินเป็นโปรตีนที่มีการค้นพบหลังจากการศึกษาการทำงานของเอนไซม์คาลเปน โปรตีนคาลปาสเตตินมีขนาดผันแปรตั้งแต่ 34-300 กิโลดาลตัน สามารถยับยั้งการทำงานของ m-calpain และ μ-calpain ต้องการ $Ca^{2+}$ ปริมาณ 40-50 μM และ 250-500 μM ในการจับกับเอนไซม์ μ-calpain และ m-calpains ตามลำดับ โปรตีนคาลปาสเตตินมีหลายไอโซฟอร์มซึ่งสร้างจากยีนที่กำหนดการสร้างเพียง 1 ชุด ในเนื้อเยื่อแต่ละชนิดจะพบอย่างน้อย 1 ไอโซฟอร์ม คาลปาสเตตินจะเข้ายับยั้งอย่างจำเพาะต่อเอนไซม์คาลเปนเท่านั้นไม่พบว่ามีการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนตัวอื่น เช่น ปาเปน (Papain) คาเท็บซิน (Cathepsin) เปบซิน (Pepsin) และโบรมิลิน (Bromelin) เป็นต้น (Crawford. 1990; Melloni *et al.* 1998)



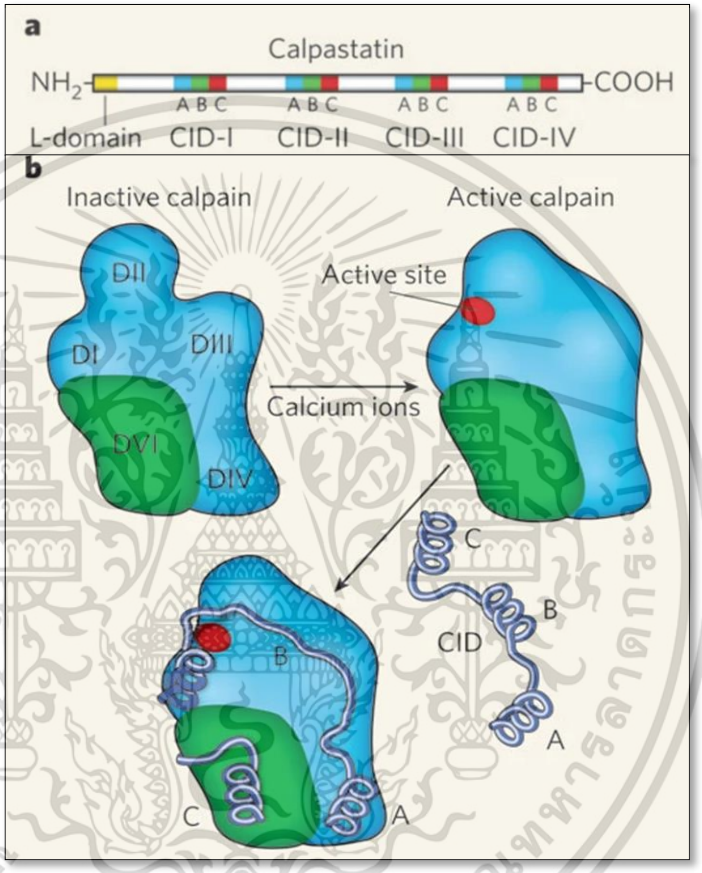

**ภาพที่ 2.6** จำลองกลไกการทำงานของเอนไซม์คาลเปน

**ที่มา :** Scott *et al*. (2004)

การจับกันระหว่างโปรตีนคาลปาสเตตินกับเอนไซม์คาลเปนแสดงในภาพที่ 2.7 ส่วน a จำลองโครงสร้างของโปรตีนคาลปาสเตตินมีลักษณะเป็นสายยาวมีด้านหนึ่งของสายเป็นปลายอะมิโน (L-domain) และอีกด้านหนึ่งเป็นปลายของคาร์บอกซิล (-COOH) ซึ่งภายในสายประกอบด้วย 4 โดเมนหลัก (Calpastatin inhibitory domains, CIDs) คือ CIDI, CIDII, CIDIII, และ CIDIV ในแต่ละโดเมนหลักมีโดเมนย่อย A B และ C ส่วนภาพ b จำลองโครงสร้างเอนไซม์คาลเปน ประกอบด้วย 5 โดเมน คือ I II III IV และ VI เมื่อเอนไซม์คาลเปนทำงานจากการกระตุ้นของแคลเซียมไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณ Active site ขณะเดียวกันโปรตีนคาลปาสเตตินก็จะเข้าไปยับยั้งการทำงานโดยเข้าจับโมเลกุลของเอนไซม์คาลเปนที่โดเมน IV และ VI ใช้กรดอะมิโนจำนวน 14 ตัวของโดเมนย่อย A เข้าจับโดเมน IV ของเอนไซม์คาลเปน และใช้กรดอะมิโนจำนวน 14 ตัวของโดเมนย่อย C เข้าจับโดเมน VI ของเอนไซม์คาลเปน ซึ่งการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์คาลเปนจะสมบูรณ์เมื่อมีการเข้าจับโดเมนทั้งสองของเอนไซม์คาลเปน (Nishimura and Goll. 1991)




**ภาพที่ 2.7** โครงสร้างจำลองของโปรตีนคาลปาสเตตินและเอนไซม์คาลเปน

**ที่มา:** Mellgren. (2008)

**2.6.1 ยีนในกลุ่ม Matrix Metalloproteinase (MMPs)**

(1) ยีน MMPs จะอยู่บนโครโมโซมคู่ที่ 6 ประกอบด้วย 13 exons และอยู่ในตำแหน่ง NC_010448.4 ควบคุมการสังเคราะห์เอนไซม์ Matrix Metalloproteinase หรือ MMPs โดยเอนไซม์นี้จัดอยู่ในกลุ่มโปรติโอไลซิส

MMPs เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่พบในพืช สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และสัตว์มีกระดูกสันหลัง จัดอยู่ในกลุ่มโปรติเอส (Protease) สามารถย่อยสลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue) การทำงานของเอนไซม์จะเกี่ยวข้องกับการควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ภายนอกเซลล์ และมีบทบาทในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อยสลายเมทริกนอกเซลล์ (Extracellular matrix: ECM) ในระหว่างการเจริญเติบโตของตัวอ่อน การเคลื่อนย้ายเซลล์ในร่างกาย (Cell migration) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสิ่งมีชีวิต (Morphogenesis) เป็นต้น Marsh *et al.* (1988) กล่าวว่าเอนไซม์ MMPs มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อในด้านความนุ่มของเนื้อ เนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายหลังจากสัตว์ตายจะมีการทำงานของเอนไซม์กลุ่มย่อยโปรตีน (Proteolysis) ที่ส่งผลต่อเส้นใยกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้นในระหว่างการบ่ม (Aging) พบว่ามีการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องหลายชนิด เช่น คาเท็บซิน (Cathepsin) ยูบิคิวติน (Ubiquitin) การทำงานของเอนไซม์คาลเปน-คาลปาสเตติน (Calpain-Calpastatin) รวมถึงการทำงานของเอนไซม์ MMPs ซึ่งมีความสำคัญในการย่อยสลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน Sylvestre *et al*. (2002) กล่าวว่าเอนไซม์ MMPs มีบทบาทต่อการย่อยสลายคอลลาเจน (Collagen) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความนุ่มของเนื้อ เนื่องจากคอลลาเจนเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีอยู่ในร่างกายสัตว์สูงที่สุดและมีความยืดหยุ่นต่ำ ดังนั้นการย่อยสลายคอลาเจนจึงมีผลทำให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มมากขึ้น

เอนไซม์ในกลุ่ม MMPs มีหลายชนิดและมีบทบาทการทำงานที่ค่อนข้างคล้ายกัน แต่จะมีเอนไซม์ในกลุ่ม MMPs ที่มีความสำคัญและมีผลต่อความนุ่มของเนื้อ ได้แก่ MMP-2 (Gelatinase A) และ MMP-9 (Gelatinase-B) สามารถย่อยสลายคอลลาเจนชนิด IV VII และ X และ MMP-1 (Collagenase-1) และ MMP-8 (Collagenase-2) จะย่อยสลายคอลลาเจนชนิด I II และ III เป็นต้น เอนไซม์ MMPs กลุ่มนี้สามารถย่อยสลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีส่วนประกอบเป็นโปรตีนชนิดต่าง ๆ เช่น คอลลาเจน (Collagen) โปรติโอไกลแคน (Proteoglycan) และไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการย่อยสลายอิลาสติน (Elastin) ไฟโบเนคติน (Fibronectin) ลามินิน (Laminin) และโปรตีนอื่น ๆ ใน Extracellular matrix (ECM) อีกด้วย (Carmeli *et al*. 2004)

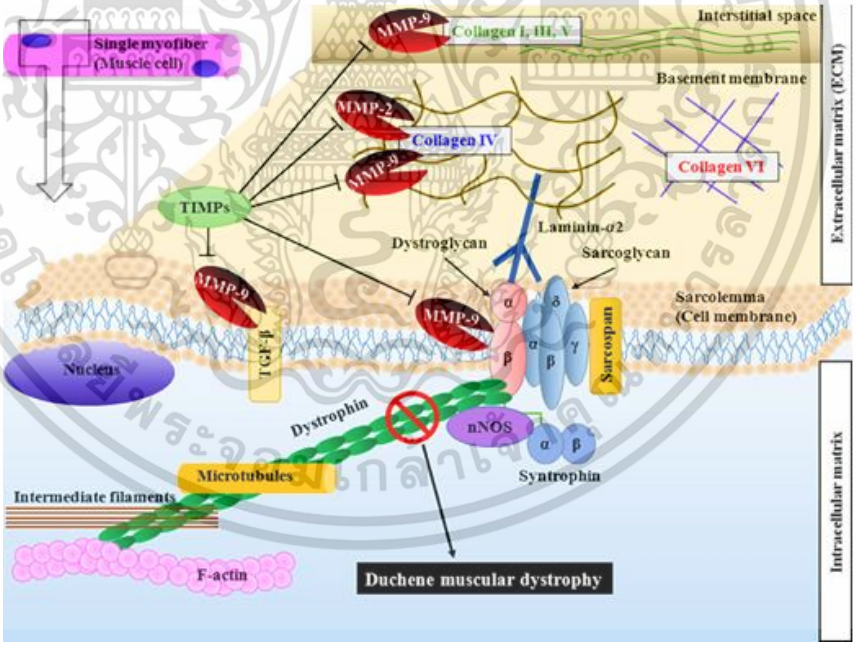
(2) ยีน TIMP อยู่บนโครโมโซม X ประกอบด้วย 5 exons และอยู่ที่ตำแหน่ง NC_010461.5 ยีน TIMPs จะควบคุมการสร้างโปรตีน Tissue Inhibitors of Matrix Metalloproteinases (TIMPs) โดยเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ MMPs

TIMPs พบในเนื้อเยื่อหลายชนิดทั้งในร่างกายมนุษย์และสัตว์ มีการทำงานในลักษณะการส่งสัญญาณเพื่อควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ประกอบด้วยสองโดเมนที่แตกต่างกันด้าน N (N-terminal) มีกรดอะมิโนเป็นส่วนประกอบประมาณ 125 ตัว และด้าน C (C-terminal) มีกรดอะมิโนประมาณ 65 ตัว ซึ่งแต่ละด้านจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ TIMPs มีบทบาทในการควบคุมการย่อยสลายโปรตีนภายนอก (Extracellular proteolysis) หรือเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ MMPs ซึ่งควบคุมการทำงานของเอนไซม์ MMPs ตั้งแต่มีการสังเคราะห์ (Transcription) และเอนไซม์ MMPs ที่ยังไม่สามารถทำงานได้ (Zymogen) ดังนั้น TIMPs จึงมีความสำคัญต่อการสร้างเนื้อเยื่อ (Tissue remodeling) การเปลี่ยนแปลงเมทริกซ์ภายนอก (ECM) และกิจกรรมของเซลล์ต่าง ๆ (Williamson *et al*. 1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMPs มี 4 ชนิดที่แตกต่างกัน ได้แก่ TIMP-1 TIMP-2 TIMP-3 และ TIMP-4 โดยที่แต่ละชนิดจะมีบทบาทในการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ MMPs ต่างชนิดกัน การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ MMPs จะเกิดขึ้นในรูปแบบที่เป็น Pro-MMPs คือ ในสภาพที่เอนไซม์ยังไม่สามารถทำงานได้ โดยที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับส่วนโดเมน C ของ TIMP กับ Pro-MMP ในส่วนของ Hemopexin ซึ่งการจับกันจะเป็นไปอย่างเฉพาะเจาะจง เช่น TIMPS-2 TIMPS-3 หรือ TIMPS-4 กับ pro-MMP-2 และTIMPS-1 หรือ TIMPS-3 กับ MMP-9 เป็นต้น (Nagase and Murphy. 2008) จากบทบาทการทำงานของ TIMPs ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ MMPs ได้ ดังนั้น TIMPs จึงอาจจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อเพราะฉะนั้นถ้ามีปริมาณการแสดงออกของยีน TIMPs มากก็อาจจะมีความสัมพันธ์กับความเหนียวของเนื้อ

ภาพที่ 2.8 จำลองการทำงานของเอนไซม์ MMPs และการถูกยับยั้งการทำงานโดย Tissue Inhibitors of Matrix Metalloproteinases (TIMPs) เกิดขึ้นบริเวณเซลล์กล้ามเนื้อ การทำงานของเอนไซม์ MMPs และ TIMPs จะเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ (Extracellular matrix) โดยเอนไซม์ MMP-2 และ MMP-9 จะย่อยทำลายคอลลาเจนชนิด IV นอกจากนี้ MMPs-9 ยังทำลายคอลลาเจนชนิด I III และ V และยังทำลายโปรตีนชนิดอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์อีกด้วย




**ภาพที่ 2.8** ภาพจำลองการทำงานของเอนไซม์ MMPs และ TIMPs

**ที่มา**: Ogura *et al*. (2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ (The Expression of Meat Quality Related Genes )

การหาปริมาณการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิคเรียล-ไทม์ พีซีอาร์ (Real-time PCR) คือ การเพิ่มจำนวนดีเอ็นอที่ต้องการศึกษาอย่างจำเพาะและสามารถติดตามวัดปริมาณการเพิ่มจำนวนของดีเอ็นเอเป้าหมายได้ในทุก ๆ รอบของการเพิ่มจำนวนในขณะปฏิกิริยาดำเนินอยู่ โดยอาศัยการตรวจวัดสัญญาณสารเรืองแสงที่ถูกปล่อยออกมา ปริมาณแสงที่วัดได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณดีเอ็นเอที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาในแต่ละรอบ ซึ่งเทคนิค Real-time PCR เหมาะกับการตรวจวัดดีเอ็นเอเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) เช่น การวัดระดับการแสดงออกของยีน (Gene expression) หรือวัดปริมาณเชื้อไวรัสในผู้ป่วย (Viral load) เป็นต้น การตรวจวัดปริมาณการเพิ่มจำนวนของดีเอ็นเอด้วยสารเรืองแสงในเทคนิค Real-time PCR สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้ (อารีย์รัตน์ หนูนวล. 2550; เหมือนฝัน โวหารกล้า. 2561)

1. DNA binding fluorescent dyes คือ การตรวจวัดปริมาณสายดีเอ็นเอที่สร้างขึ้นใหม่โดยใช้สารฟลูออเรสเซนซ์ที่สามารถจับกับดีเอ็นเอสายคู่ได้ (DNA binding fluorescent dyes) โดยทั่วไปที่นิยมใช้ คือ SYBR Green I ซึ่งสามารถจับกับบริเวณ Minor groove ของดีเอ็นเอสายคู่แบบไม่จำเพาะ เมื่อจับแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเปล่งแสงออกมา

2. Probe-based assay คือ การตรวจวัดปริมาณสายดีเอ็นเอที่สร้างขึ้นใหม่โดยใช้โพรบ (Probe) ไปเกิดการไฮบริไดเซชัน (Hybridization) กับสายดีเอ็นเอที่สร้างขึ้นใหม่ โดยโพรบที่ใช้จะเป็นนิวคลีโอไทด์ขนาดสั้น ๆ (Oligonucleotide) ที่เป็นสายเดี่ยวและมีลำดับนิวคลีโอไทด์ที่เข้าคู่ได้กับบริเวณที่ต้องการศึกษา โพรบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ TaqMan probe, Molecular Beacons, FRET Hybridization probes, และ Scorpion probe เป็นต้น

ขั้นตอนการตรวจสอบการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Real-time PCR จะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. การสกัดอาร์เอ็นเอให้บริสุทธิ์จากตัวอย่าง

2. การสร้าง cDNA (Complementary DNA) โดยการทำปฏิกิริยา Reverse-Transcription Polymerase

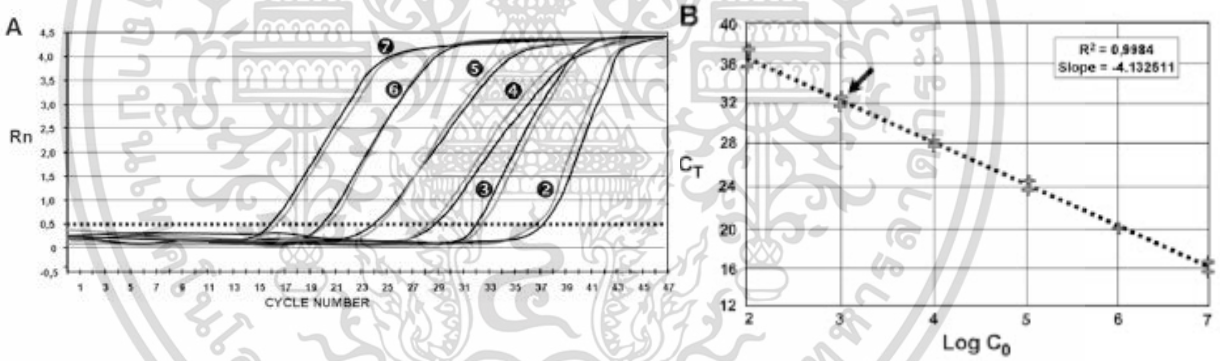
3. นำ cDNA ที่ได้มาประเมินการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิค Real-time PCR โดยอาศัยหลักการ Polymerase Chain Reaction (PCR) และใช้ primer ที่เฉพาะเจาะจงกับยีน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยา PCR แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) Denaturation เป็นขั้นตอนที่เพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อแยกสายดีเอ็นเอต้นแบบจากสายคู่ (Double strand DNA; dsDNA) เป็นสายเดี่ยว (Single strand DNA; ssDNA) โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะใช้อุณหภูมิประมาณ 90-95 ºC ประมาณ 30-60 วินาที (2) Annealing เป็นขั้นตอนที่ลดอุณหภูมิลงให้อยู่ประมาณ 50-66 ºC ประมาณ 30 วินาทีเพื่อให้ไพรเมอร์เข้าจับกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายดีเอ็นเอตัวอย่างที่ต้องการศึกษา อุณหภูมิที่ใช้จะขึ้นกับค่าตำแหน่งของสายดีเอ็นเอและ Melting temperature ($T_m$) ของ primers ที่ใช้ในปฏิกิริยา และ (3) Extension เป็นขั้นตอนการสร้างดีเอ็นเอสายใหม่ในทิศทางจาก 5' ไป 3' ที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ Complementary กับดีเอ็นเอต้น แบบโดยเป็นการสร้างต่อจากไพรเมอร์ที่เกาะอยู่กับดีเอ็นเอต้นแบบ ปกติ Taq DNA polymerase จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 72 °C ประมาณ 30-180 วินาที

4. การวัดปริมาณของ Real time PCR มี 2 วิธี ได้แก่ (คะนึงนิจ คงพ่วง และคณะ. 2550)

- Absolute quantitation ทำได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐานโดยการ plot ระหว่างค่า log ของ template DNA ที่ทราบความเข้มข้นกับค่า Threshold cycle ($C_T$) ของค่าความเข้มข้น และทำการสร้างสมการเส้นตรงโดยใช้การวิเคราะห์ จากนั้นนำ ค่า $C_T$ ของตัวอย่างที่ยังไม่ทราบค่าความเข้มข้นมาคำนวณจากสมการที่ได้ (ค่า $C_T$ คือ จำนวนรอบของ PCR ที่กราฟของสัญญาณตัดกับ Threshold) ความลาดของเส้นกราฟ (Slope) หรือสมการสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพของปฏิกิริยา PCR (PCR efficiency) (ดังภาพที่ 2.9) แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นและจำนวนรอบของปฏิกิริยา PCR (A) และการสร้างกราฟมาตรฐานโดยการ plot ระหว่างค่า log ของ template DNA ที่ทราบความเข้มข้นกับค่า Threshold cycle ($C_T$) (B)




**ภาพที่ 2.9** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นและจำนวนรอบของปฏิกิริยา PCR
**ที่มา:** เหมือนฝัน โวหารกล้า. (2561)

- Relative quantitation (การวัดปริมาณแบบสัมพัทธ์) เป็นการตรวจวัดปริมาณของเป้าหมายเทียบกับสารที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบที่อยู่ในตัวอย่างเดียวกัน วิธีนี้ใช้มากในการวิเคราะห์การแสดงออกของยีน (Gene expression) เช่น เปรียบเทียบ Gene expression ในตัวอย่างต่าง ๆปริมาณของโมเลกุลเป้าหมายจะถูก Normalized ด้วยยีนอ้างอิง (Reference gene) การเปรียบเทียบด้วยวิธี $\Delta\Delta C_T$ จะใช้ได้เมื่อประสิทธิภาพของการเพิ่มจำนวนของยีนอ้างอิงเหมือนกับประสิทธิภาพของยีนเป้าหมาย ข้อมูลของตัวอย่างและ Calibrator เริ่มต้นต้องทำ Normalization เพื่อลดความแปรปรวนของตัวอย่างทั้งด้านคุณภาพและปริมาณค่า Normalized value คือ $\Delta C_T$ คำนวณจากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta C_T \text{ sample} = C_T \text{ target} - C_T \text{ reference} \text{ -------(1)}$$

$$\Delta C_T \text{ calibrator} = C_T \text{ target} - C_T \text{ reference} \text{ ----(2)}$$

คำนวณหาค่า $\Delta\Delta C_T$ ด้วยสูตร

$$\Delta\Delta C_T = \Delta C_T \text{ sample} - \Delta C_T \text{ calibrator} \text{-------(3)}$$

จำนวน Target gene expression ที่ได้ Normalized ด้วย Reference gene และเทียบกับ Calibrator จะเท่ากับ $2^{-\Delta\Delta CT}$

**2.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนในระบบคาลเปนกับคุณภาพเนื้อ**

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าการทำงานของเอนไซม์คาลเปนและโปรตีนคาลปาสแตตินมีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงกล้ามเนื้อหลังจากสัตว์ตาย จากการศึกษาของ Pringle *et al*. (1997) กล่าวว่าหลังจากสัตว์ตายเมื่อเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ หากมีปริมาณโปรตีนคาลปาสเตตินมากจะมีผลทำให้เอนไซม์คาลเปนทำงานได้น้อยลง จากการศึกษาพบว่าปริมาณการแสดงออกของยีนคาลปาสเตติน (CAST) มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าแรงตัดผ่านเนื้อโคที่ระยะเวลาหลังสัตว์ตาย 5 และ 14 วัน ($r = 0.44$, $r = 0.34$, $P < 0.01$) (Koohmaraie *et al*. 1991; Sensky *et al*. 1998; Parr *et al*. 1999) ดังนั้นการศึกษาการแสดงออกของยีน CAPN และ CAST ซึ่งเป็นการศึกษายีนที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์คาลเปนและโปรตีนคาลปาสเตตินก็จะสามารถทำให้ทราบถึงปริมาณการแสดงออกของยีนทั้งสองชนิดในกล้ามเนื้อสุกรพื้นเมืองไทย เพื่อที่จะสามารถบ่งบอกคุณลักษณะของเนื้อสุกรพื้นเมืองไทยได้ ซึ่งมีงานวิจัยที่ทำการศึกษายีนที่ควบคุมการทำงานของเอนไซม์คาลเปนและโปรตีนคาลปาสเตติน Linholm-Perry *et al*. (2009) ได้ทำการศึกษาการแสดงออกของยีน CAST กับลักษณะความนุ่มของเนื้อสันนอกสุกรโดยใช้สุกรลูกผสม (ดูร็อค × แลนด์เรซ × ยอร์คเชียร์) พบว่าการแสดงออกของยีน CAST มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าแรงตัดผ่านเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Piorkowska *et al*. (2015) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของการแสดงออกของยีนกลุ่มคาลเปน (CAPN) และลักษณะความนุ่มของเนื้อไก่ที่มีอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดยใช้ไก่เนื้อ 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) ไก่เนื้อพันธุ์ Hubbard Flex ใช้ระยะเวลาการเลี้ยง 42 วัน (Fast-growing; FG) และ 2) ไก่เนื้อพันธุ์ Hubbard JA957 ใช้ระยะเวลาการเลี้ยง 56 วัน (Slow-growing; SG) จากการศึกษาพบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่าแรงตัดผ่านเนื้ออกไก่ในกลุ่ม FG เพศเมีย ($r = -0.43$, $P < 0.05$) และไก่กลุ่ม FG เพศเมียมีปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 สูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งส่งผลให้มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อต่ำกว่ากลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Buajoom *et al*. (2017) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนกลุ่มคาลเปนและความนุ่มของเนื้อสุกรพันธุ์ดูรอคและสุกรลูกผสม พบว่ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 ($r = 0.71$, $P < 0.01$) และสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการแสดงออกของยีน CAST และ CAPN1 ($r = 0.53$, $P < 0.01$) รวมถึงการแสดงออกของยีน CAST และ CAPN2 ($r = 0.44$, $P < 0.05$) (ตารางที่ 2.11)

Gandolfi *et al*. (2011) กล่าวว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAST กับกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Calpain และมีความสัมพันธ์กับค่าแรงตัดผ่านเนื้อ โดยพบว่าการแสดงออกของยีน CAPN1 ที่สูงขึ้นมีความสอดคล้องกับการแสดงออกของโปรตีน Calpain 1 ที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ Calpain 1 ที่เพิ่มขึ้นด้วย สำหรับโปรตีน Calpastatin พบว่ามีการแสดงออกของยีนสูงขึ้น 29% ในเนื้อที่มีค่า SF สูง

**ตารางที่ 2.11** ความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนในกลุ่มคาลเปนและความนุ่มของเนื้อสุกรพันธุ์ดูรอค และสุกรลูกผสม

| Traits | CAPN2 | CAST | SF Day 1 | SF Day 5 |
|---|---|---|---|---|
| CAPN1 | 0.71** | 0.53** | 0.37 | -0.29 |
| CAPN2 | | 0.44* | 0.39* | -0.27 |
| CAST | | | 0.22 | 0.07 |
| SF Day 1 | | | | 0.19 |

**ที่มา:** Buajoom *et al*. (2017)

*มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย *P<0.05 **P<0.01

### 2.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนกลุ่ม MMPs กับคุณภาพเนื้อ

จากกระบวนการทำงานของเอนไซม์ MMPs ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นพบว่าสามารถย่อยสลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพันได้จึงมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาการทำงานของเอนไซม์ MMPs กับปริมาณเนื้อเยื่อเกี่ยวพันซึ่งส่งผลต่อคุณภาพเนื้อโดยเฉพาะความนุ่มของเนื้อ จากการศึกษาของ Sylvestre *et al*. (2002) ได้ทำการศึกษาปริมาณคอลลาเจนและการย่อยสลายโปรตีนหลังจากสัตว์ตายในกล้ามเนื้อแกะที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงและมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ศึกษากับกิจกรรมของเอนไซม์ MMP-2 จากการศึกษาพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ MMP-2 มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับคอลลาเจนที่ไม่ละลาย (Insoluble collagen) หลังจากสัตว์ตาย ($P < 0.05$, $r = -0.78$) จากรายงานของ Nishimura. (2013) กล่าวว่ากิจกรรมการทำงานของ MMP-2 และ MMP-9 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณการแสดงออกของยีน MMP-2 และ MMP-9 ด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Qi *et al*. (2016) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีน MMP-1 MMP-2 และ MMP-8 กับคุณภาพเนื้อในกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) ของโคเนื้อ จากการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนกับปริมาณไขมันแทรก (Intramuscular fat, IMF) แต่พบว่ามีความสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างการแสดงออกของยีน MMP-1 และ MMP-2 กับค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Shear force, SF) และการแสดงออกของยีน MMP-1 มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (Cooking loss, CL) นอกจากนี้ยังพบว่ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity, WHC) (ตารางที่ 2.12)

**ตารางที่ 2.12** สหสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนกลุ่ม MMPs กับคุณภาพเนื้อ

| Gene Name | IMF | SF | CL | WHC |
|---|---|---|---|---|
| MMP-1 | 0.02 | -0.43** | -0.68** | 0.73** |
| MMP-2 | 0.37 | -0.54** | -0.32 | 0.07 |
| MMP-8 | 0.03 | 0.02 | 0.18 | 0.34 |

**ที่มา:** Qi *et al*. (2016)

*มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย * $P < 0.05$ และ ** $P < 0.01$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินงานวิจัย

## 3.1 สัตว์ทดลอง

สุกรพื้นเมืองไทยเพศผู้ตอน ทั้งหมด 41 ตัว น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 21.23 ± 6.10 กิโลกรัม ซึ่งเป็นสุกรพื้นเมืองที่มาจากแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ประกอบด้วย (1) สุกรพื้นเมืองภาคเหนือในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 18 ตัว (2) สุกรพื้นเมืองภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานีจำนวน 12 ตัว และ (3) สุกรพื้นเมืองภาคใต้ ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 11 ตัว สุกรจากแต่ละภูมิภาคถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มเพื่อได้รับอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน 4 ระดับ จำนวนสุกรแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** จำนวนสุกรที่มาจากแหล่งต่าง ๆ และได้รับอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน (ตัว)

| แหล่งที่มาของสุกร | ระดับโปรตีนในอาหาร (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 12 | 14 | 16 | 18 |
| จังหวัดแม่ฮ่องสอน | 4 | 4 | 6 | 4 |
| จังหวัดนครศรีธรรมราช | 3 | 4 | 2 | 3 |
| จังหวัดอุบลราชธานี | 3 | 3 | 3 | 3 |
| รวม | 9 | 11 | 11 | 10 |

## 3.2 อาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์

อาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรแต่ละกลุ่ม คือ อาหารที่มีระดับโปรตีนที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ประกอบด้วยโปรตีนในอาหาร 12 14 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประกอบของอาหารดังแสดงในตารางที่ 3.2 สุกรได้รับอาหารและน้ำอย่างเต็มที่ (*ad libitum*)

## 3.3 วิธีการทดลอง

สุกรพื้นเมืองทั้งหมดจะถูกเลี้ยงในโรงเรือนเปิด ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา แบบคอกขังเดี่ยว ทำการเลี้ยงสุกรจนถึงน้ำหนักตัวประมาณ 60 กิโลกรัม จึงนำสุกรเข้าสู่โรงฆ่าของศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร เก็บข้อมูลคุณภาพซากและเก็บตัวอย่างเนื้อสันนอกเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพเนื้อและการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3.2** ส่วนประกอบอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรพื้นเมือง

| ส่วนประกอบ | เปอร์เซ็นต์โปรตีนในอาหาร (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 12 | 14 | 16 | 18 |
| ปลายข้าว | 58.00 | 55.40 | 53.00 | 53.50 |
| รำละเอียด | 30.00 | 26.00 | 24.00 | 18.00 |
| กากถั่วเหลือง | 8.90 | 15.50 | 15.90 | 20.40 |
| ปลาป่น | - | - | 4.00 | 5.00 |
| ไดแคลเซียมฟอสเฟต | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| เกลือป่น | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| ไลซีน | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| พรีมิกซ์ | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| รวม | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| ราคาอาหาร (บาท/กก) | 13.75 | 14.41 | 15.51 | 16.27 |
| องค์ประกอบที่ได้จากการคำนวณ (%) | | | | |
| โปรตีน (Crude protein, CP) | 12.17 | 14.37 | 16.35 | 18.22 |
| เยื่อใย (Crude fiber, CF) | 3.58 | 3.51 | 3.88 | 3.61 |
| ไขมัน (Ether extract, EE) | 4.21 | 3.77 | 3.85 | 3.27 |
| ไลซีน (Lysine) | 0.66 | 0.81 | 0.97 | 1.11 |
| แคลเซียม (Total calcium) | 0.54 | 0.55 | 0.75 | 0.81 |
| ฟอสฟอรัส (Total phosphorus) | 0.54 | 0.54 | 0.65 | 0.66 |
| เมทไธโอนีน (Methionine) | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.38 |
| พลังงาน (Kcal/kg) | 3282.41 | 3251.45 | 3115.41 | 3119.75 |

## 3.4 อุปกรณ์และสารเคมี

### 3.4.1 อุปกรณ์

3.4.1.1 อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลลักษณะซาก

1) เครื่องชั่งน้ำหนักสุกร

2) เครื่องชั่งน้ำหนักซาก

3) อุปกรณ์ในการชำแหละ และตัดแต่งซาก เช่น มีด และเขียง

4) เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และวัดอุณหภูมิของเนื้อ (Metler-Toledo: SevenGo™ pH meter SG2, China)

3.4.1.2 อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลลักษณะเนื้อ

1) ถุงพลาสติกชนิดสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เครื่องบรรจุสุญญากาศ (Ramon VP-600A, Germany)

3) ตู้แช่ควบคุมอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส (SEPCI49; Panasonic, Thailand)

4) ตู้แช่ควบคุมอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส (DW-36L366A; Haier, China)

5) เครื่องชั่งชนิดหยาบ (ML802, Metter Toledo, Switzerland)

6) เครื่องชั่งชนิดละเอียด (ML104, Metter Toledo, Switzerland)

7) เครื่องวัดสี (MiniScan EZ, Hunterlab, USA)

3.4.1.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

1) เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (EZ-SX, Shimadzu, Japan)

2) เครื่องชั่งแบบดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (ML802, Metter Toledo, Switzerland)

3) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath; Memmert, Germany)

4) เครื่องวัดอุณหภูมิ (4 Channels Thermometer Model; TM-1947SD, Taiwan)

5) ตู้แช่ควบคุมอุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส (SEPCI49; Panasonic, Thailand)

6) ถุงพลาสติก (High density polyethylene, HD

7) มีดสำหรับตัดแต่ง และเขียงพลาสติก

3.4.1.4 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

1) เครื่องบดละเอียด (WSG30E, Waring, USA)

2) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Tanita 1144, Tanita Corporation, Japan)

3) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Basic, Sartorius, Germany)

4) เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Speed Digester; K-439, Buchi, Thailand)

5) เครื่องกลั่น (Distillation Unit; B-324, Buchi, Thailand)

6) เครื่อง Scrubber (Scrubber; B-414, Buchi, Thailand)

7) เครื่องสกัดไขมัน (Sox 416, Gerhaedt, Germany)

8) ตู้อบลมร้อน (Memmert, Germany)

9) เตาเผา (Stuart Scientific)

10) โถดูดความชื้น (Desicator)

3.4.1.5 อุปกรณ์สำหรับวัดความยาวซาร์โคเมียร์

1) ขวดแก้วสำหรับใส่ชิ้นเนื้อ

2) เครื่อง Helium-Neon Laser (IHS Engineering 360; model SC-31004, USA)

3) แผ่นสไลด์

4) คีมคีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.6 อุปกรณ์สำหรับหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อด้วยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์ (Real-time PCR)

1) อุปกรณ์สำหรับสกัดอาร์เอ็นเอ (RNA Extraction)

(1) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius; Basic, Germany)

(2) เครื่องบดละเอียด (Moulinex; Minipimer MR 430 HC, France)

(3) เครื่อง Homogenizer (Ika, Switzerland)

(4) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge; Labogene; Scanspeed 1580R, Denmark)

(5) หลอดพลาสติก

(6) หลอดใส่สาร (Eppendrof tube) ขนาด 1.5 มิลลิลิตร

(7) ไมโครปิเปต (Micropipett; Thermo Scientific)

(8) เครื่องผสมสาร (Vortex mixer, Labnet)

(9) เครื่อง Spectrophotometer (Bio-Rad, USA)

(10) คิวเวทท์ (Cuvette)

2) อุปกรณ์สำหรับการสลายดีเอ็นเอ (DNase Step)

(1) หลอดใส่สาร (Eppendrof 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)

3) อุปกรณ์สำหรับหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อด้วยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์

(1) หลอดใส่สาร (Eppendrof 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)

**3.4.2 สารเคมี**

3.4.2.1 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อ

1) Petroleum ether (RCI Labscan, Thailand)

2) Sulfuric acid 98 % (Conc. $H_2SO_4$; Ajax finechem, Australia)

3) Sulfuric acid 0.1 N ($H_2SO_4$; Ajax Finechem, Australia)

4) Boric acid ($H_3BO_3$; RCI Labscan, Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) Hydrochloric acid (HCl; Merck, Germany)

6) Copper sulfate ($CuSO_4$; Merck, Germany)

7) Potassium chloride (KCl; Ajax Finechem, Australia)

3.4.2.2 สารเคมีสำหรับหาความยาวซาร์โคเมียร์

1) Potassium chloride (KCl; Ajax Finechem, Australia)

2) Boric acid ($H_3BO_3$; Fisher Scientific, UK)

3) Ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt (EDTA; Univer, Australia)

4) Glutaraldehyde ($C_5H_8O_2$; Loba Chemie, India)

5) Distilled water

3.4.2.3 สารเคมีสำหรับหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อด้วยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์ (Real-time PCR)

1) สารเคมีสำหรับการสกัดอาร์เอ็นเอ (RNA Extraction)

(1) Trizol (Invitrogen, Karlsruhe, Germany)

(2) Chloroform (RCI Labscan, USA)

(3) NaCi (Ajax Finechem, Australia)

(4) Ethanol (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 (Thermo scientific, USA)

(5) DNase I (Thermo scientific, USA)

3) สารเคมีสำหรับหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อด้วยเทคนิคเรียลไทม์พีซีอาร์ (Real-Time PCR)

(1) random primer (Thermo scientific, USA)

(2) Nuclease free water

(3) first strand 5X reaction buffer (Thermo scientific, USA)

(4) deoxynucleoside triphosphate (DNTP ;Thermo scientific, USA)

(5) Revert Aid reverse transcriptase (Thermo scientific, USA)

(6) Ribolock RNase inhibitor (Thermo scientific, USA)

(7) SYBR Green (SensiFast™ SYBR, BIOLINE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 การเก็บข้อมูล

### 3.5.1 การเก็บข้อมูลสมรรถภาพการผลิต

ชั่งน้ำหนักสุกรแต่ละตัวก่อนเริ่มทำการทดลอง มีการบันทึกน้ำหนักของสุกรแต่ละตัวทุก ๆ สามสัปดาห์ ชั่งและบันทึกน้ำหนักอาหารที่สุกรแต่ละตัวกินเพื่อนำมาคำนวณเป็นปริมาณอาหารที่สุกรกินทั้งหมด ปริมาณอาหารที่สุกรกินแต่ละวัน และนำมาคำนวณสมรรถภาพการผลิตรวมถึงต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

### 3.5.2 การวัดคุณภาพซาก

เมื่อสุกรพื้นเมืองมีน้ำหนักตัวประมาณ 60 กิโลกรัม จึงนำสุกรทั้งหมดเข้าฆ่าโดยทำการอดอาหารเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง นำเข้าฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์ศูนย์วิจัยและพัฒนาสุกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ทำการเก็บข้อมูล ดังนี้

1) ชั่งน้ำหนักสุกรมีชีวิตก่อนเข้าฆ่า หลังจากนั้นนำสุกรเข้าคอกพักและทำการอดอาหารเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

2) สุกรจะถูกทำสลบด้วยเครื่องช็อตไฟฟ้า หลังจากสลบสุกรจะถูกแขวนเพื่อจะทำการแทงคอแล้วนำเลือดออกภายในเวลา 2-5 นาที

3) นำสุกรเข้าเครื่องลวกซากและขูดขน ซึ่งภายในจะประกอบด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส

4) นำซากสุกรออกมา เจาะขาหลัง แล้วแขวนซากด้วยตะขอ ล้างซากสุกรด้วยน้ำสะอาดเพื่อกำจัดเศษขนออก จากนั้นทำการตัดหัวสุกรออกแล้วชั่งน้ำหนัก

5) ทำการผ่าซากสุกรด้วยเลื่อยไฟฟ้าเป็น 2 ซีก ชั่งน้ำหนักซาก วัดความยาวซากและวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของกล้ามเนื้อสันนอกระหว่างกระดูกซี่โครงซี่ที่ 10-11 ที่ระยะเวลา 45 นาทีภายหลังสัตว์ตายโดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ทำการชั่งน้ำหนักซากอุ่น แล้วนำซากมาบ่มที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อสันนอกอีกครั้งที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงภายหลังสัตว์ตายและวัดความหนาไขมันสันหลังสามตำแหน่ง คือ กระดูกซี่โครงซี่แรก กระดูกซี่โครงซี่สุดท้าย และกระดูกสันหลังข้อสุดท้ายแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ประเมินความหนาไขมันสันหลัง

6) ทำการตัดแต่ง แยกส่วนเนื้อ ไขมัน และกระดูก ชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนจากการตัดแต่ง แล้วนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ชิ้นส่วน ได้แก่ กระดูก ไขมันและหนัง เนื้อแดง ประกอบด้วย สะโพก ไหล่ สันนอก สันใน และขาหน้า

### 3.5.3 การเก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสุกรพื้นเมือง

เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอก (*Longissimus dorsi*) ภายในเวลา 1 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย โดยเก็บจากชิ้นเนื้อบริเวณซี่โครงซี่ที่ 10-11 จากซากซีกซ้ายของสุกรแต่ละตัวประมาณ 100 กรัม นำเนื้อมาหั่นขนาดชิ้นละ 2 เซนติเมตรเก็บในถุงพลาสติกและนำตัวอย่างเนื้อไปแช่ในไนโตรเจนเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำตัวอย่างไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อและปริมาณการแสดงออกของยีน Myosin Heavy Chain isoforms

เก็บตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกจากซากซีกขวาของสุกรแต่ละตัวที่ผ่านการบ่มซากเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส โดยนำส่วนกล้ามเนื้อสันนอกมาตัดแบ่งเป็นชิ้นส่วนย่อย 3 ชิ้นเพื่อใช้ในการศึกษาคุณภาพเนื้อ ดังนี้

ชิ้นที่ 1 ตัดเนื้อหนา 3 เซนติเมตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อวัดค่าสีของเนื้อ วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกและค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

ชิ้นที่ 2 ตัดเนื้อหนา 2 เซนติเมตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อ

ชิ้นที่ 3 ตัดเนื้อหนา 1.5 เซนติเมตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเพื่อวิเคราะห์ความยาวซาร์โคเมียร์

**3.5.4 การวัดคุณภาพเนื้อ**

3.5.4.1 ค่าสีเนื้อ (Color)

ชิ้นเนื้อที่ 1 จากซีกขวาของสุกรที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส นำมาทำละลายโดยแช่ไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 1-4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่ จากนั้นนำมาซับน้ำและตัดผิวหน้าเนื้อออกประมาณ 0.5 เซนติเมตรแล้วปล่อยให้สัมผัสอากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วสุ่มวัดสีเนื้อจาก 3 ตำแหน่ง

3.5.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อ

ใช้วิธีของ AOAC (2005) สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นำมาทำละลายโดยแช่ไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 1-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดเนื้อเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Crude protein, CP) ไขมัน (Ether extract, EE) ความชื้น (Moisture) และเถ้า (Ash)

3.5.4.3 การวิเคราะห์ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ

ตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกสุกรพื้นเมืองหลังจากวัดสีเรียบร้อยแล้ว

1) นำตัวอย่างกล้ามเนื้อสันนอกมาทำการตัดแต่งโดยทำการเลาะไขมันออก จากนั้นทำการซับน้ำเลือดออกจากตัวอย่าง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นน้ำหนักก่อนต้ม จากนั้นบรรจุตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก

2) นำตัวอย่างลงไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดอุณหภูมิใจกลางเนื้อ เมื่ออุณหภูมิถึง 70 องศาเซลเซียส จึงนำออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการลดอุณหภูมิตัวอย่างโดยเปิดน้ำไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำตัวอย่างออกจากถุงพลาสติกแล้วซับน้ำด้วยกระดาษทิชชู จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นน้ำหนักหลังต้ม แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างปรุงสุก (Cooking loss)

4) ใช้มีดตัดตัวอย่างให้มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (1 x 3 x 1 เซนติเมตร) แล้วนำตัวอย่างไปวัดค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (Warner-Bratzler shear force) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะสัมผัสโดยกำหนดหน่วยเป็นกิโลกรัม

3.5.4.4 การหาความยาวซาร์โคเมียร์ (Sarcomere length)

วัดความยาวซาร์โคเมียร์ ตามวิธีที่แนะนำโดย Cross *et al.* (1981)

1) นำตัวอย่างเนื้อสันนอกที่แช่แข็งมาทำละลายโดยเก็บที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตัดแต่งส่วนของไขมันออก ตัดเนื้อหนาชิ้นละ ละ 3×3×2 เซนติเมตร แช่ใน Solution A เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (KCl 7.46 กรัม Boric acid 2.49 กรัม และ EDTA 1.85 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติม Glutaraldehyde 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่า pH ให้เท่ากับ 7.1 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร)

2) หลังจากชิ้นเนื้อแช่ใน Solution A ครบ 2 ชั่วโมงแล้วทำการย้ายชิ้นเนื้อมาแช่ใน Solution B ( Boric acid 2.49 กรัม EDTA 1.85 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติม Glutaraldehyde 25 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ทำการปรับค่า pH ให้เท่ากับ 7.1 หลังจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร)

3) นำชิ้นเนื้อนั้นมาทำให้แตกเป็นเส้นใยขนาดเล็กนำมาวางบนแผ่นสไลด์ แล้วจึงนำไปวัดความยาวซาร์โคเมียร์ด้วยเครื่อง Helium-Neon Laser แล้วนำค่าที่วัดได้มาคำนวณความยาวซาร์โคเมียร์ (ในหน่วยไมโครเมตร) ตามสูตรคำนวณดังนี้ Cross *et al.* (1981)

$$\text{Sarcomere length} = 0.6328 \sqrt{\left(\frac{D}{T}\right)^2 + 1}$$

เมื่อ D = ระยะห่างระหว่างแผ่นสไลด์กับจอรับภาพ = 15 เซนติเมตร

$$T = \frac{\text{ระยะระหว่างแถบสว่าง 2 แถบ}}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.5.5 การศึกษาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ**

3.5.5.1 การสกัดอาร์เอ็นเอ (RNA Extraction)

1) ชั่งตัวอย่างเนื้อที่บดละเอียดแล้วประมาณ 0.15 กรัมลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Trizol ปริมาตร 1,000 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) จากนั้นดึงส่วนใสด้านบนใส่ Microtube ขนาด 1.5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิห้อง จากนั้นเติม Chloroform 200 ไมโครลิตร ทำการเขย่าด้วยมือตั้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที

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

5) สังเกตตะกอนสีขาวอยู่บริเวณด้านล่างของ Microtube ให้นำของเหลวใสทั้งหมดออก แล้วเติมด้วย 75 เปอร์เซ็นต์ Ethanol นำเข้าไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 13,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำส่วนใสทั้งหมดออกแล้วตั้งทิ้งให้แห้ง เติม RNase free water 40 ไมโครลิตร (Stock RNA)

6) ทำการการวัดความเข้มข้นของ RNA โดยใช้ Stock RNA จำนวน 2 ไมโครลิตร ผสมกับ RNase free water 198 ไมโครลิตรไปวัดความเข้มข้นของ RNA ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 260 และ 280 นาโนเมตร เพื่อตรวจสอบคุณภาพของ RNA โดยสัดส่วนค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 1.8 ถึง 2.0 แสดงว่า RNA ที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์หรือมีคุณภาพดี

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

3.5.5.2 การสลายดีเอ็นเอ (DNase step)

1) หลังจากวัดค่าความเข้มข้นของ RNA ในแต่ละตัวอย่างแล้วนำค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากเครื่อง Spectrophotometer ปรับให้ความเข้มข้นของ RNA เป็น 1 ไมโครกรัมต่อไมโครลิตรด้วย 10x reaction buffer with $MgCl_2$ 1 ไมโครลิตร Ribolock 1 unit 1 ไมโครลิตร DNaseI 1 ไมโครลิตร และปรับปริมาตรด้วย DEPC water ให้ได้ปริมาตรสุทธิ 10 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผสมให้สารละลายเข้ากัน แล้วนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงให้สารละลายตกลงมาบริเวณด้านล่าง นำ microtube ที่บรรจุสารละลาย RNA บ่มในเครื่อง Thermal Cycler ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาเติม EDTA 1 ไมโครลิตร แล้วนำไปบ่มต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที

3.5.5.3 การเตรียม cDNA

1) สังเคราะห์ First-strand cDNA จากตัวอย่าง RNA ที่ได้จากขั้นตอน DNase step โดยการเติม Random primer 1 ไมโครลิตร RNA 5 ไมโครลิตรและ 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 ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

3.5.5.4 การหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อด้วยเทคนิค Real-Time PCR

1) เตรียมกราฟมาตรฐาน (Standard Curve) โดยนำเอา cDNA ของตัวอย่างทั้งหมดมารวมกันในปริมาตรที่เท่า 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 3.3)
- SYBR Green ซึ่งประกอบไปด้วย SYBR Green I dye, DNA polymerase, Deoxynucleoside triphosphate และ Deoxyuridine triphosphate และ stabilizers and enhancers ในปฏิกิริยาปริมาตร 10 ไมโครลิตร

3) ขั้นตอนการทำ Polymerase activation ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที การ Denaturation ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที ขั้นตอนการ Annealing และ Extension ใช้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที จำนวนรอบ 40 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแต่ละตัวอย่างทำ 2 ซ้ำ เปรียบเทียบความเข้มข้นของตัวอย่างที่วัดได้จาก Standard Curve จากโปรแกรม CFX Manager™ Software โดยผลการวิเคราะห์การแสดงออกของยีนจะนำเสนอในรูปของอัตราส่วนระหว่าง ค่า SQ (Starting quantity) ของยีนที่สนใจต่อค่า SQ ของยีนอ้างอิง คือ GAPDH

**ตารางที่ 3.3** ไพร์เมอร์ที่ใช้ในการศึกษาลักษณะความนุ่มของเนื้อสุกร

| Gene | Primer sequence (5′ to 3′) | Accession no. |
|---|---|---|
| CAST[1] | Forward: AGGCTGTAAAAACAGAACCTG<br>Reverse: ATTTCTCTGATGTTGGCTGCTC | M20160 |
| CAPN1[2] | Forward: GACACCCTCCTGCACCGA<br>Reverse: TCCACCCACTCCCCAAACT | AF263610 |
| CAPN2[2] | Forward: ACATGCACACCATCGGCTTT<br>Reverse: CGCTCTGTGCGTCAGGAAG | U01181 |
| MMP2[3] | Forward: TACACCTATACCAAGAACTTCCG<br>Reverse: TGTCCGCCAGATGAACCG | NM214192 |
| TIMP1[3] | Forward: AGCCAGGAGTTTCTCATAGC<br>Reverse: TCACAGCCAGCAGCATAG | NM213857 |
| GAPDH[1] | Forward: GCGTGAACCATGAGAAGTATGA<br>Reverse: GGTAGAAGCAGGGATGATGTTC | AF017079 |

**ที่มา :** [1]Lindholm-Perry *et al*. (2009); [2]Chaosap *et al*. (2011); [3]Kiczak *et al*. (2013)

3.5.5.5 การวิเคราะห์การแสดงออกของยีน Myosin heavy chain isoforms ด้วยเทคนิค Real-time PCR

ทำตามขั้นตอนในข้อที่ 3.5.5.4 ในข้อย่อยที่ 1-2 ใช้ Forward และ Reverse primers ดังแสดงในตารางที่ 3.4 เมื่อถึงขั้นตอนการทำ Polymerase activation ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที การ Denaturation ใช้อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที จำนวนรอบ 40 รอบ ขั้นตอนการ Annealing และ Extension ใช้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสนาน 15 วินาที เปรียบเทียบความเข้มข้นของตัวอย่างที่วัดได้จากกราฟมาตรฐาน (Standara curve) จากโปรแกรม Biorad-Rad CFX Manager นำค่า E (PCR reaction efficiencies) และ Ct ที่ได้ไปคำนวณหาสัดส่วนของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ (MyHC) ด้วยสมการ (Hemming *et. al*. 2009) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$rER = \frac{1 + E(MHC\ target\ gene)^{-Ct\ (MHC\ target\ gene)}}{1 + E(MHC\ control\ gene)^{-Ct\ (Control\ gene)}}$$

เมื่อ E : PCR reaction efficiencies

rER : Relative expression ratio

Ct : Cycle threshold

**ตารางที่ 3.4** ไพร์เมอร์ที่ใช้ในการศึกษาชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ

| Gene | Primer sequence (5' to 3') | Accession no. |
|---|---|---|
| MyHC-I | Forward: AAGGGCTTGAACGAGGAGTAGA<br>Reverse: TTATTCTGCTTCCTCCAAAGGG | AB053226 |
| MyHC-IIa | Forward: GCTGAGCGAGCTGAAATCC<br>Reverse: ACTGAGACACCAGAGCTTCT | AB025260 |
| MyHC-IIx | Forward: AGAAGATCAACTGAGTGAACT<br>Reverse: AGAGCTGAGAAACTAACGTG | AB025262 |
| MyHC-IIb | Forward: ATGAAGAGGAACCACATTA<br>Reverse: TTATTGCCTCAGTAGCTTG | AB025261 |

**ที่มา:** Wimmers *et al*. (2008)

## 3.6 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

1) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเปรียบเทียบสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก คุณภาพเนื้อและการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized complete block design) ที่มีระดับโปรตีนในอาหารเป็นทรีตเมนท์ (มี 4 ทรีตเมนท์) และมีแหล่งที่มาของสุกรเป็นบล็อก (มีแหล่งที่มา 3 จังหวัด ได้แก่ แม่ฮ่องสอน อุบลราชธานีและนครศรีธรรมราช) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 16 โดยใช้วิธี General linear model (GLM) มีแบบหุ่นทางสถิติในการวิเคราะห์ ดังนี้

$$Yij = \mu + Bi + Tj + €ij$$

Yij = ค่าของสมรรถภาพการผลิต ลักษณะคุณภาพซาก คุณภาพเนื้อ ปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mu$ = ค่าเฉลี่ยประชากรทั้งหมด

Bi = อิทธิพลของแหล่งที่มาของสุกรพื้นเมือง (i=1 2 3)

Tj = อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหาร (j= 1 2 3 4)

$\epsilon$ij = อิทธิพลอย่างสุ่มของหน่วยทดลอง ij

2) วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อและลักษณะคุณภาพเนื้อที่ศึกษาด้วยการหาค่า Pearson Correlation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

## 4.1 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองไทย

จากการศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองไทยพบว่าสุกรพื้นเมืองที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันมีน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน (ADFI) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก (FCR) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่พบว่าต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (FCG) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสุกรที่กินอาหารที่มีโปรตีนสูงมีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมสูงกว่าต้นทุนค่าอาหารของสุกรที่กินอาหารที่มีโปรตีนต่ำกว่าเนื่องจากต้นทุนราคาอาหารสูงตามระดับโปรตีนที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.1) ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Liu *et al*. (2015) ที่ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างโปรตีนกับพลังงานในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร 2 พันธุ์ คือ สุกรพันธุ์แลนด์เรซ (Landrace) และสุกรพันธุ์บามา มินิ (Bama mini-pigs) ซึ่งเป็นสุกรพื้นเมืองของประเทศจีน จากผลการศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรพันธุ์ Bama mini-pigs พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนในอาหารแตกต่างกันมีน้ำหนักตัวสุดท้าย ADG ADFI และ FCR ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ในขณะที่ผลการศึกษาครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับรายงานของ Vasupen *et al*. (2007 b) ที่รายงานว่าระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันมีผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของสุกรพื้นเมืองไทย (พันธุ์กระโดน) ที่มีน้ำหนักตัวเริ่มต้น 6.50-7.00 กิโลกรัมจนมีน้ำหนักตัวสุดท้าย 11.30-12.90 กิโลกรัม เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 14 16 18 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสุกรพันธุ์กระโดนที่กินอาหารโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ มี ADG และน้ำหนักสุดท้ายสูงที่สุดเท่ากับ 161.40 กรัมต่อวันและ 12.90 กิโลกรัมตามลำดับ ($P < 0.05$) มี FCR เท่ากับ 1.60 และมีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมเพียง 17.30 บาท เมื่อเทียบกับสุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ที่มี ADG เท่ากับ 120.20 กรัมต่อวัน FCR เท่ากับ 2.00 และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมเท่ากับ 19.80 บาท Pires *et al.* (2016) พบว่าสุกรขุนลูกผสมสามสาย (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ – แลนด์เรซ) ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนต่างกัน คือ 13 และ 16 เปอร์เซ็นต์ มี ADG ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (G:F) และ ADFI แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับรายงานก่อนหน้านี้ Le Bellego *et al*. (2002) พบว่าสุกรขุนลูกผสมสามสาย (เปียแตรง × แลนด์เรซ - ลาร์จไวท์) กินอาหารที่มีโปรตีนต่างกัน คือ 15.8 16.3 และ 20.3 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักตัวสุดท้าย ADG ระยะเวลาการเลี้ยง และปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่สุกรมี FCR แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ สุกรที่กินอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีน 16.1 เปอร์เซ็นต์ มี FCR เท่ากับ 1.98 ซึ่งดีกว่าเมื่อเทียบกับสุกรที่กินอาหารโปรตีน 20.3 และ 15.8 เปอร์เซ็นต์ (2.07 และ 2.12 ตามลำดับ) ทศพล มูลมณี และคณะ (2560) ทำการทดสอบสูตรอาหารที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสุกรลูกผสมสามสายพันธุ์ (สุกรพื้นเมือง × เหมยซาน × เปียแตรง) ที่มีน้ำหนักระหว่าง 30-60 กิโลกรัม พบว่าอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกันคือ 14 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สุกรมี ADG FCR และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมแตกต่างกัน คือ สุกรที่กินอาหารที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ มี ADG เท่ากับ 770.00 กรัมต่อวัน FCR และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่ำกว่า คือ 3.12 และ 38.68 บาทตามลำดับ เมื่อเทียบกับสุกรที่กินอาหารที่มีโปรตีน 16 เปอร์เซ็นต์ มี ADG เท่ากับ 680.00 กรัมต่อวัน FCR เท่ากับ 3.50 และต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัมเท่ากับ 44.13 บาท เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของสุกรพื้นเมืองไทยในการศึกษาครั้งนี้พบว่าสุกรพื้นเมืองมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้นจากการรวบรวมข้อมูลของกรวรรณ ศรีงามและคณะ (2560) พบว่าการเลี้ยงสุกรของชาวบ้านในภาคเหนือของประเทศไทยพบว่าสุกรพื้นเมืองมีอัตราการเจริญเติบโต 390 กรัมต่อวันและใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงนาน 103 วัน กว่าจะได้น้ำหนักตัวปะรมาณ 60 กิโลกรัม ขณะที่สุกรพื้นเมืองจากการศึกษาในครั้งนี้มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยวันละ 530 กรัมต่อวันและใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงจนถึงน้ำหนักตัวประมาณ 60 กิโลกรัม เฉลี่ย 77 วัน

จากการศึกษาในครั้งนี้อาจสรุปได้ว่าระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมือง อาจเนื่องจากสุกรพื้นเมืองไทยในการทดลองครั้งนี้มีอายุเริ่มการทดลองประมาณ 5 เดือน ซึ่งเป็นช่วงอายุที่เกินจากช่วงที่สุกรกำลังมีการเจริญเติบโตเพราะฉะนั้นแม้ว่าสุกรจะได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงขึ้นก็ไม่ส่งผลให้สุกรมีการเจริญเติบโตและสร้างกล้ามเนื้อมากขึ้น ดังนั้นเมื่อสุกรอายุมากขึ้นจะมีการสะสมไขมันมากกว่าการสร้างกล้ามเนื้อ นอกจากนี้แล้วสุกรพื้นเมืองไทยเป็นสุกรที่มีขนาดตัวเล็กและสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารคุณภาพต่ำได้ดี แม้ว่าจะเพิ่มระดับโปรตีนในอาหารก็ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตที่ดีกว่าอาหารที่มีโปรตีนต่ำ แต่จะมีผลต่อต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักเนื่องจากสุกรที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงราคาต้นทุนค่าอาหารจะแพงกว่า ดังนั้นการเลี้ยงสุกรพื้นเมืองไทยควรจะเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ก็น่าจะเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองไทย

(Mean ± Sd)

| ลักษณะที่ศึกษา | ระดับโปรตีนในอาหาร (%) | | | | P-value | เฉลี่ยรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 | 14 | 16 | 18 | | |
| น้ำหนักเริ่มต้น (กก) | 21.33±8.57 | 20.41±4.48 | 21.41±5.40 | 21.85±6.62 | 0.94 | 21.23±6.10 |
| น้ำหนักสิ้นสุด (กก) | 61.33±4.60 | 59.90±3.16 | 60.00±4.21 | 61.00±1.50 | 0.55 | 60.55±3.48 |
| น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (กก) | 40.20±7.79 | 39.48±3.68 | 38.59±3.69 | 39.14±7.19 | 0.95 | 39.31±5.56 |
| ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน) | 79.56±17.89 | 75.36±11.39 | 75.45±15.63 | 74.40±17.37 | 0.91 | 76.07±15.14 |
| อัตราการเจริญเติบโต (กก/วัน) | 0.51±0.11 | 0.54±0.10 | 0.53±0.08 | 0.53±0.06 | 0.98 | 0.53±0.09 |
| ปริมาณการกินอาหาร (กก/วัน) | 1.76±0.12 | 1.78±0.16 | 1.77±0.22 | 1.82±0.12 | 0.83 | 1.78±0.16 |
| ปริมาณการกินทั้งหมด (กก) | 139.98±34.51 | 133.73±19.65 | 131.35±19.34 | 135.42±30.86 | 0.93 | 134.87±25.54 |
| อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก | 3.54±0.82 | 3.42 ±0.59 | 3.40±0.37 | 3.47±0.49 | 0.97 | 3.45±0.56 |
| FCG (บาท)[1] | 48.72±11.20[a] | 49.21±8.43[a] | 52.76±5.69[ab] | 56.43±7.92[b] | 0.04 | 51.81±8.64 |

[1]FCG (Feed cost per gain) = ต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (FCR*ราคาอาหาร (บาท/กก))

[abc] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

### 4.2 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อคุณภาพซากสุกรพื้นเมืองไทย

จากการศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันต่อคุณภาพซากของสุกรพื้นเมืองไทยพบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน มีน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากอุ่น น้ำหนักซากเย็น ความยาวซาก เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น เปอร์เซ็นต์ซากเย็น เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง เปอร์เซ็นต์กระดูก พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และความหนาไขมันสันหลังแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.2) ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้ผลใกล้เคียงกับรายงานของ Le Bellego *et al*. (2002) ที่พบว่าสุกรขุนลูกผสมสามสาย (เปียแตรง × แลนด์เรซ - ลาร์จไวท์) เลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน คือ 15.8 16.3 และ 20.3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าน้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากอุ่น เปอร์เซ็นต์ซากอุ่น เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง เปอร์เซ็นต์ไขมัน และความหนาไขมันสันหลังของสุกรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Pires *et al.* (2016) ที่ศึกษากับสุกรขุนลูกผสมสามสาย (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ – แลนด์เรซ) ซึ่งสุกรกินอาหารที่มีโปรตีนเท่ากับ 13 และ 16 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันมีผลทำให้น้ำหนักซากอุ่น ความหนาไขมันสันหลัง และน้ำหนักเนื้อสันนอกแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สำหรับกรวรรณ ศรีงาม และคณะ (2560) รายงานว่าสุกรพื้นเมืองในเขตภาคเหนือที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับสุกรพันธุ์ควาย ซึ่งเลี้ยงในลักษณะแบบหมูหลุมผสมอาหารให้สุกรกินเองจากวัตถุดิบผักและเศษเหลือในท้องถิ่น มีการเสริมอาหารข้นเข้าไปบางส่วน พบว่าสุกรมีสมรรถภาพการผลิต คือ มี ADG เท่ากับ 393.00 กรัมต่อวัน น้ำหนักมีชีวิตเท่ากับ 66.90 กิโลกรัม น้ำหนักซาก 45.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ซากอุ่นเท่ากับ 68.53 เปอร์เซ็นต์ ความยาวซากเท่ากับ 83.50 เซนติเมตร และความหนาไขมันสันหลัง 1.45 นิ้ว Vasupen *et al.* (2007 a) กล่าวว่าการเลี้ยงสุกรพื้นเมืองพันธุ์กระโดนที่จังหวัดสกลนคร สุกรเพศผู้มีน้ำหนักเข้าฆ่า 23.20 กิโลกรัม และสุกรเพศเมียมีน้ำหนัก 26.10 กิโลกรัม พบว่าเปอร์เซ็นต์ซากอุ่นของสุกรพันธุ์กระโดนเพศผู้เท่ากับ 64.85 เปอร์เซ็นต์ และของเพศเมียเท่ากับ 66.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาผลการศึกษาคุณภาพซากในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงสุกรพื้นเมืองในลักษณะเดียวกับสุกรขุนจะทำให้สุกรพื้นเมืองมีคุณภาพซาก คือ น้ำหนักซากอุ่นและเปอร์เซ็นต์ซากอุ่นดีกว่าสุกรพื้นเมืองที่เลี้ยงแบบพื้นบ้านดังรายงานของกรวรรณ ศรีงานและคณะ (2560)

**ตารางที่ 4.2** อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อคุณภาพซากสุกรพื้นเมืองไทย (Mean ± Sd)

| ลักษณะที่ศึกษา | ระดับโปรตีนในอาหาร (%) | | | | P-Value | เฉลี่ยรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 | 14 | 16 | 18 | | |
| น้ำหนักมีชีวิต (กก) | 64.89±5.80 | 63.71±5.25 | 62.70±6.81 | 62.89±4.06 | 0.49 | 63.50±5.45 |
| น้ำหนักซากอุ่น (กก) | 49.17±8.72 | 49.04±5.05 | 47.64±7.43 | 49.14±7.14 | 0.92 | 48.71±6.88 |
| น้ำหนักซากเย็น (กก) | 46.91±7.20 | 46.73±4.54 | 45.09 ±6.12 | 44.25±6.74 | 0.53 | 45.72±6.03 |
| ความยาวซาก (ซม) | 74.67±4.92 | 75.09 ±4.68 | 76.54±5.20 | 77.40±3.60 | 0.40 | 75.95±4.60 |
| ซากอุ่น (%) | 76.50±5.88 | 76.66± 4.32 | 76.23±4.53 | 77.04± 8.18 | 0.97 | 76.60±5.65 |
| ซากเย็น (%) | 73.13±4.02 | 73.07±3.58 | 72.27±3.41 | 69.77±10.47 | 0.54 | 72.06±6.09 |
| เนื้อแดง (%) | 43.45±1.59 | 43.26 ±2.88 | 43.92±3.07 | 42.12 ±1.53 | 0.44 | 43.44±7.16 |
| กระดูก (%) | 12.95±1.62 | 12.84±2.31 | 13.66±1.47 | 13.70±0.81 | 0.33 | 13.61±2.63 |
| ไขมัน (%) | 22.80±3.81 | 22.66±3.76 | 22.38 ±3.31 | 23.08±3.70 | 0.92 | 22.72±3.51 |
| พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (ซม$^2$) | 14.72±2.32 | 14.86±2.43 | 16.23±2.81 | 15.25±2.78 | 0.29 | 15.29±2.58 |
| ความหนาไขมันสันหลัง (นิ้ว) | 1.63±0.21 | 1.66±0.29 | 1.52±0.24 | 1.47±0.26 | 0.30 | 1.57±0.26 |

### 4.3 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อคุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองไทย

ผลการศึกษาพบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันมีคุณภาพเนื้อแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) คือ ค่า $pH_{45}$ มีค่าอยู่ในช่วง 6.13-6.26 ค่า $pH_{24}$ มีค่าอยู่ในช่วง 5.44-5.58 ค่าของสีเนื้อ ได้แก่ ค่า L* อยู่ในช่วง 56.94-58.08 ค่า a* อยู่ในช่วง 4.17-6.05 และค่า b* อยู่ในช่วง 14.11-15.29 ค่าแรงตัดผ่านเนื้ออยู่ในช่วง 5.21-5.95 กิโลกรัม การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกอยู่ในช่วง 17.30-17.81 เปอร์เซ็นต์ และความยาวซาร์โคเมียร์อยู่ในช่วง 1.86-1.93 ไมโครเมตร (ตารางที่ 4.3) จากผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Pires *et al.* (2016) ที่กล่าวว่าสุกรขุนที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน คือ 13 และ 16 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ค่า $pH_{45}$ $pH_{24}$ ค่าสีของเนื้อ และค่าแรงตัดผ่านเนื้อของสุกรขุนลูกผสมสามสาย (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ – แลนด์เรซ) แตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) การศึกษาของ Choi *et al*. (2008) พบว่าสุกรพื้นเมืองเกาหลีที่ได้รับระดับโภชนะในอาหารแตกต่างกันโดยมีระดับโปรตีนในสูตรอาหารเท่ากับ 14.00 15.20 และ 16.70 เปอร์เซ็นต์ มีความยาวซาร์โคเมียร์ไม่แตกต่างกันทางสถติ (P > 0.05) เช่นเดียวกับ Alonso *et al*. (2010) ที่รายงานว่าสุกรลูกผสมสองสาย (Large White × Landrace-Large White) ที่กินอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน คือ 14.92 และ 17.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่า pH ค่าสีของเนื้อ (L*, a*) และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) แต่พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารโปรตีน 17.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่า b* ต่ำกว่าแต่มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อสูงกว่า (P < 0.05) โดยมีค่า b* เท่ากับ 6.46 และ 7.04 และค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 7.80 และ 6.54 กิโลกรัมตามลำดับ Alonso *et al.* (2010) อธิบายว่าเนื้อของสุกรที่ได้รับอาหารโปรตีนต่ำกว่ามีปริมาณไขมันอิ่มตัวและไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสูงขึ้นส่งผลทำให้ความแน่นและความเหนียวของเนื้อลดลงทำให้เนื้อสุกรนุ่มขึ้น

สำหรับผลของระดับโปรตีนที่แตกต่างในอาหารต่อองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อสุกรพื้นเมือง พบว่าระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) คือ มีความชื้นอยู่ในช่วง 70.96-71.81 เปอร์เซ็นต์ ไขมันอยู่ในช่วง 2.57-3.64 เปอร์เซ็นต์ และเถ้าอยู่ในช่วง 1.15-1.23 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Choi *et al*. (2008) พบว่าสุกรพื้นเมืองเกาหลีที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีนแตกต่างกัน คือ 14.00 15.20 และ 16.70 เปอร์เซ็นต์ มีองค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถติ (P > 0.05) สอดคล้องกับการศึกษาของ Fang *et al*. (2019) พบว่าสุกรลูกผสม (ยอร์คเชียร์ - แลนด์เรซ × ดูร็อค) ที่กินอาหารมีโปรตีนแตกต่างกันคือ 14.3 15.3 และ 16.3 เปอร์เซ็นต์ มีองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรในทุกองค์ประกอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P > 0.05) แตกต่างจากรายงานก่อนหน้านี้ของ Goerl *et al*. (1995) รายงานว่าสุกรพันธุ์แฮมเชียร์ในช่วงน้ำหนักตัว 20-50 กิโลกรัม เลี้ยงสุกรด้วยอาหารที่ระดับโปรตีน 10-25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าระดับโปรตีนที่สูงขึ้นส่งผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีในกล้ามเนื้อ ได้แก่ ความชื้นและโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นแบบเส้นโค้ง (Quadratic) ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ไขมันที่ลดลงแบบเส้นโค้ง (P < 0.01) ทั้งนี้ไม่พบว่าระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารมีผลต่อเปอร์เซ็นต์เถ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับโปรตีนในอาหารที่สูงขึ้นมีผลต่อโปรตีนในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรพื้นเมืองไทยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05) โดยสุกรที่กินอาหารโปรตีน 16 และ 14 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนในเนื้อสูงที่สุดเท่ากับ 23.67 และ 23.47 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสุกรที่กินอาหารโปรตีน 12 เปอร์เซ็นต์ (21.76 เปอร์เซ็นต์) เมื่อพิจารณาผลการศึกษาพบว่ากล้ามเนื้อสันนอกของสุกรพื้นเมืองมีปริมาณไขมันแทรกภายในกล้ามเนื้อค่อนข้างสูง จากค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณไขมันพบว่ามีค่าเท่ากับ 3.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเนื้อสุกรที่มีรสชาติดี มีความนุ่มและความชุ่มฉ่ำจะมีปริมาณไขมันแทรกประมาณ 2.5-3.0 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาร่วมกับเนื้อสุกรขุนลูกผสมทางการค้าพบว่ามีปริมาณไขมันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง 2.0-2.4 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (น้ำฝน เตจ๊ะศรี. 2558; กรองแก้ว แก้วถาวร. 2559; รัชกฤช เลิศภัทรโกมล. 2562) เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเนื้อของสุกรพื้นเมืองมีปริมาณไขมันแทรกสูง ดังนั้นเนื้ออาจจะมีความนุ่มและความชุ่มฉ่ำมากกว่าเนื้อสุกรขุนทั่วไป

จากการศึกษาครั้งนี้แม้ว่าระดับโปรตีนในสูตรอาหารจะไม่มีผลทางสถิติต่อคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมือง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาผลการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าคุณภาพเนื้อ คือ ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ ความยาวซาร์โคเมียร์ ปริมาณไขมันและโปรตีนในกล้ามเนื้อของสุกรพื้นเมืองที่ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ดีกว่ากลุ่มอื่น ๆ และจากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าเนื้อของสุกรพื้นเมืองมีความนุ่มและความชุ่มฉ่ำมากกว่าเนื้อของสุกรขุนลูกผสมทางการค้า จากการศึกษาก่อนหน้านี้โดย กรองแก้ว แก้วถาวร. (2559) รายงานว่าสุกรขุนลูกผสมมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อเท่ากับ 5.60 กิโลกรัมและมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกเท่ากับ 21.03 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาของรัชกฤช เลิศภัทรโกมล. (2562) พบว่าสุกรขุนลูกผสมสามสาย (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ) มีค่าแรงตัดผ่านเนื้อและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกเท่ากับ 6.28 กิโลกรัม และ 22.50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อพิจารณาร่วมกับคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองที่กินโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.30 กิโลกรัม และ 17.47 เปอร์เซ็นต์ จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าเนื้อสุกรพื้นเมืองมีค่าแรงตัดผ่านเนื้อค่อนข้างต่ำและมีการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกน้อยกว่าเนื้อของสุกรขุนทั่วไป

**ตารางที่ 4.3** อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อคุณภาพเนื้อและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสุกรพื้นเมืองไทย (Mean ± Sd)

| ลักษณะที่ศึกษา | ระดับโปรตีนในอาหาร (%) | | | | P-value | เฉลี่ยรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 | 14 | 16 | 18 | | |
| pH 45 นาที | 6.17±0.46 | 6.24±0.24 | 6.17±0.31 | 6.13±0.35 | 0.90 | 6.18±0.33 |
| pH 24 ชั่วโมง | 5.44±0.05 | 5.55±0.08 | 5.53±0.10 | 5.58±0.21 | 0.93 | 5.55±0.14 |
| สีเนื้อ | | | | | | |
| L* | 58.08±4.54 | 57.13±3.05 | 56.94±3.38 | 57.21±3.95 | 0.76 | 57.31±3.60 |
| a* | 6.05±1.55 | 5.21±2.52 | 5.17±1.42 | 5.19±1.16 | 0.61 | 5.38±1.74 |
| b* | 15.29±3.50 | 14.11±1.36 | 14.52±1.38 | 14.92±2.57 | 0.67 | 14.68±2.26 |
| ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ (กก.) | 5.64±1.14 | 5.30±1.38 | 5.95±1.43 | 5.21±1.25 | 0.67 | 5.53±1.30 |
| การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก (%) | 17.30±3.87 | 17.47±5.33 | 17.81±5.02 | 17.28±2.48 | 0.95 | 17.48±4.11 |
| ความยาวซาร์โคเมียร์ (ไมโครเมตร) | 1.86±0.07 | 1.91±0.13 | 1.87±0.08 | 1.93±0.13 | 0.41 | 1.89±0.11 |
| องค์ประกอบทางเคมี (%) | | | | | | |
| ความชื้น | 71.71± 0.96 | 70.96±1.63 | 71.69±1.63 | 71.81±1.63 | 0.63 | 71.53±1.49 |
| ไขมัน | 2.57±0.88 | 3.64±1.36 | 3.13±1.23 | 3.30±1.45 | 0.37 | 3.18±1.27 |
| โปรตีน | 21.76±0.43[a] | 23.47±0.69[b] | 23.67±0.97[b] | 22.80±1.05[ab] | 0.02 | 22.79±1.15 |
| เถ้า | 1.23±0.07 | 1.21±0.04 | 1.15±0.08 | 1.17±0.11 | 0.39 | 1.19±0.08 |

[abc] ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.4 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อสุกรพื้นเมืองไทย**

มีหลากหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความนุ่มของเนื้อ เอนไซม์คาลเปนและโปรตีนคาลปาสเตติน เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีบทบาทต่อความนุ่มของเนื้อโดยการเข้าไปย่อยสลายโครงสร้างกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เนื้อมีความนุ่มมากขึ้น (Goll *et al*. 1992) ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีการศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันต่อการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ในระบบคาลเปน ได้แก่ Calpain 1 (CAPN1) Calpain 2 (CAPN2) และ Calpastatin (CAST) จากการศึกษาพบว่าสุกรพื้นเมืองที่กินอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันมีปริมาณการแสดงออกของยีนในระบบคาลเปนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.4) แตกต่างจากการศึกษาของ Tang *et al*. (2010) พบว่าสุกรลูกผสม (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ - ยอร์คเชียร์) ที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันคือ 11.08 และ 14.19 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการแสดงออกของยีน μ Calpain (CAPN1) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.18±0.07 และ 0.11±0.02 ตามลำดับ สำหรับปริมาณการแสดงออกของยีน CAST มีผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษานี้คือ ระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณการแสดงออกของยีน CAST อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เช่นเดียวกับ Ji *et al*. (1992) รายงานว่าสุกรที่กินอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันคือ 10 และ 18 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการแสดงออกของยีนคาลเปนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

นอกจากการทำงานของเอนไซม์คาลเปนและโปรตีนคาลปาสเตตินที่มีความเกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อแล้ว การทำงานของเอนไซม์ Matrix Metalloproteinase (MMP2) และตัวยับยั้งการทำงาน Tissue Inhibitors of Metalloproteinase (TIMP) ก็มีบทบาทต่อความนุ่มของเนื้อเช่นกัน โดยเป็นเอนไซม์ที่จัดอยู่ในกลุ่มโปรติเอสที่มีความสำคัญในการย่อยสลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพันโดยเฉพาะคอลลาเจนซึ่งมีผลโดยตรงต่อความนุ่มของเนื้อ เอนไซม์ MMP2 สามารถย่อยสลายคอลเจนได้ทำให้เนื้อสัตว์นุ่มขึ้นได้ในระหว่างการบ่ม (Marsh *et al.* 1988; Carmeli *et al*. 2004) จากการศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารต่อปริมาณการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ดังกล่าวพบว่าระดับโปรตีนที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณการแสดงออกของยีน MMP2 และ TIMP1 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย (Mean ± Sd)

| ลักษณะที่ศึกษา | ระดับโปรตีนในอาหาร (%) | | | | P-value | เฉลี่ยรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 | 14 | 16 | 18 | | |
| CAPN1 | 1.39± 0.68 | 2.45± 2.12 | 1.49± 0.93 | 1.28 ±1.06 | 0.25 | 1.64±1.33 |
| CAPN2 | 1.34 ±0.85 | 2.53± 2.46 | 1.88± 1.54 | 1.45± 1.21 | 0.43 | 1.79±1.61 |
| CAST | 1.74± 1.71 | 1.51 ±0.86 | 1.27± 1.00 | 1.15± 1.17 | 0.78 | 1.41±1.21 |
| MMP2 | 1.01±0.43 | 1.06± 0.67 | 1.50± 1.39 | 1.01± 0.42 | 0.64 | 1.15±0.83 |
| TIMP1 | 1.99± 2.39 | 2.73± 3.42 | 1.94 ±1.75 | 2.37 ±2.87 | 0.98 | 2.24±2.53 |

CAPN1 = Calpain 1; CAPN2 = Calpain 2; CAST = Calpastatin; MMP2 = Matrix Metalloproteinase; TIMP1 = Tissue Inhibitor Matrix Metalloproteinase

### 4.5 อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อปริมาณการแสดงออกของยีน Myosin heavy chain isoforms (MyHC)

โดยปกติแล้วกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle) จะมีชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อที่เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ชนิด คือ MHC I MHC IIa MHC IIx และ MHC IIb ซึ่งเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติในการหดตัว-คลายตัว และกระบวนการเผาผลาญทางชีวเคมีที่แตกต่างกันและมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพเนื้อของสัตว์ (Klont *et al*. 1998; Karlsson *et al*. 1999; Chang. 2003) จากรายงานของ Chang (2003) กล่าวว่าสีของเนื้อสัตว์ในส่วนของสีแดง (a*) ที่เพิ่มสูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับเส้นใยกล้ามเนื้อ MHC I และ MHC IIa มากกว่า MHC IIb ส่วนเส้นใยกล้ามเนื้อ MHCIIb จะมีความสัมพันธ์กับค่าความสว่าง (L*) ที่เพิ่มสูงขึ้น สำหรับอิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารที่แตกต่างกันในการศึกษาครั้งนี้พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันมีปริมาณการแสดงออกของยีน Myosin Heavy Chain isoform ทั้ง 4 ชนิด คือ MyHC-I MyHC-IIa MyHC-IIx และ MyHC-IIb แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.5) สอดคล้องกับการศึกษาของ Li *et al* (2016) ที่ศึกษาอิทธิพลของระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในอาหารต่อปริมาณการแสดงออกของยีน Myosin Heavy Chain isoforms พบว่าสุกรลูกผสมสามสาย (ลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ × ดูร็อค) ที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกันคือ 10 13 และ 16 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-I MyHC-IIx และ MyHC-IIb แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ยกเว้นปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIa แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยที่สุกรที่กินอาหารโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIa สูงที่สุดเมื่อเทียบกับสุกรที่กินอาหารที่มีระดับโปรตีน 10 และ 16 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Karlsson *et a*l. (1993) พบว่าระดับโปรตีนที่แตกต่างกันในสูตรอาหารสำหรับสุกรพันธุ์ Swedish Yorkshire (เปอร์เซ็นต์โปรตีน 13.1 และ 18.5; เปอร์เซ็นต์ไลซีน 0.64 และ 0.96) ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อ MHC IIa และ MHC IIb ยกเว้นเส้นใยกล้ามเนื้อ MHC I ที่มีปริมาณแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าสุกรที่กินอาหารโปรตีนสูงมีปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ MHC I น้อยกว่าสุกรที่กินอาหารโปรตีนต่ำ (7.0±0.5 และ 9.0±0.6 ตามลำดับ) แต่จากรายงานของ Li *et al*. (2018) พบว่ากล้ามเนื้อสันนอกสุกรลูกผสมสามสาย (ดูร็อค × แลนด์เรซ × ยอร์คเชียร์) ที่กินอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน คือ 12 15 และ 18 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-I MyHC-IIa และ MyHC-IIx แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่พบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIb แตกกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่ากล้ามเนื้อสันนอกของสุกรพื้นเมืองมีปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-I MyHC-IIa MyHC-IIx และ MyHC-IIb เฉลี่ยเท่ากับ 1.19, 5.15, 69.45 และ 24.21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อนำผลการศึกษาครั้งนี้มาพิจารณาร่วมกับกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรขุนลูกผสมสามสายจากการศึกษาของ กรองแก้ว แก้วถาวร (2559) พบว่าสุกรขุนลูกผสมสามสาย (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ) มีปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-I MyHC-IIa MyHC-IIx และ MyHC-IIb เท่ากับ 0.46, 2.48, 33.58, และ 63.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และจากรายงานของ รัชกฤช เลิศภัทรโกมล (2562) พบว่าสุกรขุนลูกผสมสามสาย (ดูร็อค × ลาร์จไวท์ × แลนด์เรซ) มีปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-I MyHC-IIa MyHC-IIx และ MyHC-IIb เท่ากับ 0.13, 5.03, 27.51, และ 67.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากสัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิดในการศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าสุกรพื้นเมืองมีปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb น้อยกว่าสุกรขุนลูกผสม ซึ่งแสดงว่าเนื้อของสุกรพื้นเมืองมีแนวโน้มที่จะมีคุณสมบัติดีกว่าสุกรขุนลูกผสม เนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb มีปริมาณไกลโคเจนสะสมอยู่มากและจะใช้พลังงานจากกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนเป็นหลัก จะส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างภายหลังสัตว์ตายลดลงมากกว่า (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539) นอกจากนี้เส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb ยังเป็นเส้นใยกล้ามเนื้อที่มีปริมาณไมโอโกลบินต่ำทำให้เนื้อมีสีซีด (Lefaucheur. 2006) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่มีผลทำให้เนื้อมีความเหนียวและมีค่าการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้น (Ryu and Kim. 2005; Bulotiene and Jukna. 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** อิทธิพลของระดับโปรตีนในอาหารต่อปริมาณการแสดงออกของยีน Myosin Heavy Chain isoforms (MyHC) (Mean ± Sd)

| ลักษณะที่ศึกษา | ระดับโปรตีนในอาหาร (%) | | | | P-value | เฉลี่ยรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 | 14 | 16 | 18 | | |
| MyHC - I | 0.52 ± 0.48 | 3.06 ± 4.74 | 0.33 ± 0.40 | 0.89 ± 1.22 | 0.12 | 1.19±2.56 |
| MyHC - IIa | 7.17 ± 7.21 | 3.35 ± 1.99 | 5.40 ±7.09 | 4.72 ± 3.72 | 0.40 | 5.15±5.35 |
| MyHC - IIx | 66.36 ± 10.64 | 70.55 ± 11.47 | 71.37 ± 10.10 | 69.52 ± 9.54 | 0.78 | 69.45±10.11 |
| MyHC - IIb | 25.95 ± 8.92 | 23.04 ± 9.72 | 22.90 ± 5.97 | 24.87 ± 8.16 | 0.87 | 24.21±8.01 |

MyHC-I = Myosin heavy chain type I; MyHC-IIa = Myosin heavy chain type IIa; MyHC-IIx = Myosin heavy chain type IIx; MyHC-IIb = Myosin heavy chain type IIb

**4.6 ผลการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ศึกษา**

สำหรับผลการศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะที่ศึกษาพบว่าค่า $pH_{24}$ มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความยาวซาร์โคเมียร์แต่มีความสัมพันธ์ในทางลบกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกและค่าสี b* สำหรับค่าสี L* พบว่ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวซาร์โคเมียร์แต่พบว่ามีความสัมพันธ์ทางลบกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก ส่วนค่าสี a* มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า b* ส่วนเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับควาวยาวซาร์โคเมียร์ เมื่อค่า pH สูงมีจะทำให้โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำได้ดี ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกน้อยลง และถ้าค่า pH ต่ำจะทำให้โปรตีนไม่สามารถจับน้ำไว้ได้ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำออกมาบริเวณผิวหน้าเนื้อส่งผลให้สีของเนื้อซีดมากขึ้นหรือมีค่า L* สูงเมื่อนำไปปรุงสุกน้ำที่สูญเสียในระหว่างปรุงสุกก็จะน้อยลงตามไปด้วย (สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สวรรค์. 2537)

ผลการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความนุ่มของเนื้อพบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวซาร์โคเมียร์แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก นอกจากนี้พบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN2 มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่าสี b* ส่วนปริมาณการแสดงออกของยีน CAST มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ ค่า a* จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถ้ามีปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 CAPN2 มากจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุกน้อยลงและมีความยาวซาร์โคเมียร์มากขึ้น เนื้ออาจจะมีความนุ่มและความชุ่มฉ่ำมากขึ้น และยังพบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN2 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Coria *et al.* (2020) ที่พบสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 ในเนื้อโค ($r = 0.98$, $P < 0.01$) ในทำนองเดียวกับการศึกษาของ Buajoom *et al.* (2017) พบสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 ในกล้ามเนื้อสันนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสุกรลูกผสมสามสาย (r=0.71, P < 0.01) ในการศึกษานี้พบว่าปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณการแสดงออกของยีน CAST เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Buajoom *et al*. (2017) พบความสัมพันธ์เชิงบวกของปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN2 และ CAST ในเนื้อสันนอกสุกร (r=0.44, P < 0.05) ซึ่งความสัมพันธ์ในทางบวกของปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN และ CAST แสดงให้เห็นว่าการทำงานของเอนไซม์ในระบบคาลเปนมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นเมื่อมีการทำงานของเอนไซม์คาลเปน โดยการกระตุ้นของ $Ca^{2+}$ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการทำงานของโปรตีนคาลปาสเตตินด้วยเช่นกัน นอกจากพบความสัมพันธ์ของการแสดงออกของยีนในระบบคาลเปนกับคุณภาพเนื้อแล้วยังพบว่าปริมาณการแสดงออกยีนในกลุ่ม MMPs คือ ปริมาณการแสดงออกของยีน TIMP1 มีสหสัมพันธ์เชิงบวกับความยาวซาร์โคเมียร์และปริมาณการแสดงออกของยีน MMP2 แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่า a*

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อและคุณภาพเนื้อพบว่าปริมาณการแสดงออกยีน MyHC-I มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวซาร์โคเมียร์และปริมาณการแสดงออกของยีน CAPN1 และ CAPN2 ส่วนปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIa มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า L* แต่มีสหสัมพันธ์เชิงลบกับค่า $pH_{45}$ สอดคล้องกับการศึกษาของ Hwang *et al.* (2010) ที่พบว่าความยาวซาร์โคเมียร์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับเปอร์เซ็นต์เส้นใยกล้ามเนื้อ type I (r = 0.33, P<0.001) ในเนื้อโคพื้นเมืองเกาหลี ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังจากสัตว์ตายโดยการทำงานของเอนไซม์ในระบบคาลเปนก่อให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนเส้นใยกล้ามเนื้อ เกิดการแตกหักและส่งผลต่อความยาวซาร์โคเมียร์ที่มากขึ้น (Lomiwes *et al.* 2014) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Kolczak *et al.* (2003) พบว่าการขยายตัวของ I-band บนเส้นใยย่อย ทำให้เกิดการยืดออกของ A-band และส่งผลทำให้ซาร์โคเมียร์มีความยาวเพิ่มขึ้นอีกด้วย จากความสัมพันธ์ของปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIb พบว่าถ้ามีปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อ type IIb มากจะส่งผลให้เนื้อมีสีซีดและมีค่า pH ต่ำ จากผลการศึกษาในครั้งนี้อาจจะสรุปได้ว่าถ้ามีปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIa ในกล้ามเนื้อสันนอกของสุกรพื้นเมืองมากก็อาจจะส่งผลเสียต่อคุณภาพเนื้อ

จากการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIa และ MyHC-IIx และพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC-IIb และ MyHC-IIx สอดคล้องกับการศึกษาของฐิติพร สง่าเพ็ชร (2560) ที่พบสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณการแสดงออกของยีน MyHC IIb และ MyHC IIx (r= -0.71, P < 0.05) นอกจากนี้ Chang *et al*. (2003) พบว่ามีสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างปริมาณเส้นใย type IIb และ type IIx ในกล้ามเนื้อสันนอกสุกรทั้ง 4 สายพันธุ์ได้แก่ เบิร์คเชียร์ ดูร็อค ลาร์จไวท์และแทมเวิท (r=-0.62, -0.54, -0.44, และ -0.82 ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.6** สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่ศึกษา

| Traits | $pH_{24}$ | L* | a* | b* | SF | CL | Sar | CALP1 | CALP2 | CAST | MMP2 | TIMP1 | MyHC-I | MyHC-IIa | MyHC-IIb | MyHC-IIx |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $pH_{45}$ | -0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.25 | -0.01 | -0.25 | 0.24 | 0.25 | 0.20 | -0.08 | 0.02 | -0.07 | 0.16 | -0.40* | -0.10 | 0.25 |
| $pH_{24}$ | | 0.21 | -0.11 | -0.49** | 0.23 | -0.35* | 0.35* | 0.30 | 0.28 | 0.16 | 0.16 | 0.13 | 0.14 | 0.02 | 0.00 | -0.05 |
| L* | | | -0.21 | 0.32 | -0.24 | -0.44* | 0.52* | 0.17 | 0.15 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.00 | 0.35* | -0.04 | -0.16 |
| a* | | | | 0.40* | 0.00 | 0.16 | -0.26 | -0.34 | -0.33 | 0.38* | -0.21 | -0.45* | -0.22 | -0.15 | 0.03 | 0.11 |
| b* | | | | | -0.27 | 0.03 | 0.12 | -0.33 | -0.35* | -0.22 | -0.21 | -0.22 | -0.20 | 0.01 | -0.10 | 0.13 |
| SF | | | | | | 0.17 | -0.02 | -0.03 | -0.10 | 0.04 | -0.33 | 0.12 | 0.14 | 0.05 | 0.08 | -0.12 |
| CL | | | | | | | 0.50** | -0.36* | -0.34* | -0.26 | -0.23 | -0.13 | -0.16 | -0.23 | 0.14 | 0.06 |
| Sar | | | | | | | | 0.48** | 0.42* | 0.21 | 0.12 | 0.40* | 0.40* | 0.00 | -0.23 | 0.08 |
| CAPN1 | | | | | | | | | 0.96** | 0.40* | 0.38* | 0.48** | 0.81** | 0.09 | -0.10 | -0.17 |
| CAPN2 | | | | | | | | | | 0.38* | 0.49** | 0.44* | 0.75** | 0.12 | -0.03 | -0.23 |
| CAST | | | | | | | | | | | 0.28 | 0.83** | 0.17 | 0.40* | 0.18 | -0.40* |
| MMP2 | | | | | | | | | | | | 0.29 | 0.04 | 0.22 | 0.01 | -0.13 |
| TIMP1 | | | | | | | | | | | | | 0.37' | 0.32 | 0.18 | -0.40* |
| MyHC-I | | | | | | | | | | | | | | -0.02 | 0.01 | -0.25 |
| MyHC-IIa | | | | | | | | | | | | | | | 0.04 | -0.55** |
| MyHC-IIb | | | | | | | | | | | | | | | | -0.81** |

มีนัยสำคัญทางสถิติ โดย * P<0.05 และ ** P<0.01

$pH_{45}$ และ $pH_{24}$= ค่าความเป็นกรดด่างที่ระยะเวลา 45 นาที และ 24 ชั่วโมงหลังสัตว์ตาย; SF = ค่าแรงตัดผ่านเนื้อ; CL= เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำระหว่างปรุงสุก; Sar = ความยาวซาร์โคเมียร์

# บทที่ 5
# สรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนำสุกรพื้นเมืองไทยมาเลี้ยงในโรงเรืองระบบเปิดด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน คือ 12 14 16 และ 18 เปอร์เซ็นต์ โดยเริ่มทดลองเลี้ยงสุกรอายุเฉลี่ย 5 เดือน น้ำหนักตัวเริ่มต้นเฉลี่ย 21.23 กิโลกรัม และทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลาเฉลี่ย 76 วัน ผลการทดลองพบว่าสุกรแต่ละกลุ่มมี สมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก คุณภาพเนื้อ รวมทั้งปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ทั้งนี้พบว่าสุกรที่ได้รับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์ในอาหารมีต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่ำและให้เนื้อที่มีคุณภาพดี คือ มีปริมาณโปรตีนในกล้ามเนื้อสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าสุกรกลุ่มนี้ให้เนื้อที่มีปริมาณไขมันในเนื้อสูงกว่ากลุ่มอื่นด้วย ดังนั้นระดับโปรตีนในอาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสุกรพื้นเมืองควรเลี้ยงด้วยอาหารที่มีระดับโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองในครั้งนี้ร่วมกับคุณภาพเนื้อของสุกรขุนลูกผสมทางการค้าที่มีการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าสุกรพื้นเมืองมีปริมาณไขมันแทรกในกล้ามเนื้อสูงกว่า ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.18 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สุกรขุนลูกผสมทางการค้ามีเปอร์เซ็นต์ไขมันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งพบว่าสุกรพื้นเมืองมีชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อที่เป็นลักษณะ Slow type มากกว่าสุกรขุน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสุกรพื้นเมืองมีคุณภาพเนื้อที่ดีกว่าสุกรขุนลูกผสมทางการค้า

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ส่งเสริมให้เกษตรกรรายย่อยหรือผู้ประกอบธุรกิจการเลี้ยงสุกรที่มีความสนใจที่จะเลี้ยงสุกรพื้นเมืองไทยด้วยระบบการขุนแบบสุกรขุนทางการค้าควรเลี้ยงสุกรพื้นเมืองด้วยอาหารที่มีโปรตีน 14 เปอร์เซ็นต์

5.2.2 ในการทดลองครั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของปริมาณสารไรโบนิวคลีโอไทด์ในเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย ซึ่งสารไรโบนิวคลีโอไทด์จะมีผลต่อรสอร่อยหรือที่เราเรียกว่า รสอูมามิ (Umami) ของเนื้อ เพื่อจะทำให้สามารถทราบถึงความแตกต่างของรสชาติระหว่างเนื้อสุกรพื้นเมืองไทย และสุกรขุนมากขึ้น

5.2.3 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของปริมาณการแสดงอออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างไขมันแทรกในกล้ามเนื้อ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์สุกรพื้นเมืองต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

กรวรรณ ศรีงาม ศุภมิตร เมฆฉาย ประภาส มหินชัย และ วรรณพร ทะพิงค์แก. 2560. **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการย่อยที่ 2: การคัดเลือก ปรับปรุงสุกรสายพันธุ์แท้ (สายพันธุ์พื้นเมือง) เพื่อให้เหมาะสมกับการเลี้ยงบนพื้นที่สูง**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กรองแก้ว แก้วถาวร. 2559. " ผลของการใช้สารแรคโตพามีนที่ระดับ 20 และ 40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ppm) ผสมลงในอาหารต่อคุณภาพเนื้อของสุกรขุน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กลุ่มวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพ สำนักพัฒนาพันธุ์สัตว์ กรมปศุสัตว์. 2558. **สัตว์พื้นเมือง.** [Online]. Available: http://breeding.dld.go.th/biodiversity/new%20elearning/animal%20nativos.html

กัตติกา วุฒิจารี. 2547. "องค์ประกอบของสิ่งขับถ่ายและสมรรถนะการผลิตของสุกรระยะรุ่นถึงขุนโดยใช้อาหารโปรตีนต่ำ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

คะนึงนิจ คงพ่วง พงษ์วิทย์ บัวล้อมใบ อำไพ ดารกะพงษ์ และ เยาวเรศ กังใช้ง้วน. 2550**. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2550: ระบาดวิทยาระดับโมเลกุลของการติดเชื้อมาลาเรียแบบผสมใน 10 จังหวัดชายแดนที่มีไข้มาลาเรียสูง.** กรุงเทพฯ: สำนักโรคติดต่อนำโดยแมลงกรมควบคุมโรค.

จตุพร คูณแก้ว. 2551. "การศึกษาลักษณะซาก และคุณภาพเนื้อสุกรพื้นเมืองไทย." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะสัตวศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

จันทร์พร เจ้าทรัพย์. 2554. **เทคโนโลยีการฆ่าสัตว์**. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตรอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตรเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จุฑารัตน์ ศรีพรหมมา. 2528. "ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเนื้อแดงของสุกร." **สุกรสาส์น**. 12(45) : 15- 22

จุฑารัตน์ ศรีพรหมมา และทรงศักดิ์ ตันพิพัฒน์. 2529. "การเปรียบเทียบวิธีการวัดซากเพื่อประเมินคุณภาพซากสุกร." **วารสารแก่นเกษตร**. 14(2): 97-103.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2539. **เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ขั้นสูง**. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. 2540. **การจัดการโรงฆ่าสัตว์**. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529. **วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์**. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

ไชยา อุ้ยสูงเนิน. 2544. **คู่มือสุกร**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เทพพิทักษ์การพิมพ์.

ฐิติพร สง่าเพ็ชร์. 2560. “อิทธิพลของการตอนด้วยหลักภูมิคุ้มกันวิทยาต่อปริมาณการแสดงออกยีน Myosin Heavy Chain Isoforms เอนไซม์คาลเปนและการสลายตัวของโทรโปนินที.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ทศพล มูลมณี สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์ กัญญารัตน์ พวกเจริญ และ ปุณณะวุทฒ์ ยะมา. 2560. **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการย่อยที่ 1: การคัดเลือก ปรับปรุงพันธุ์สุกรลูกผสม และการทดสอบสูตรอาหารที่เหมาะสม**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

นภาพร อภิรดีวจีเศรษฐ์. 2539. **คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อหมูและผลของวิธีประกอบอาหารต่อปริมาณไขมันและวิตามิน.** [Online]. Available: http://www.tnrr.in.th/2558/?page=result_search&record_id=304804

นันทนา นิรมิตเจียรพันธุ์. 2531. “การเกรดซาก และการคาดคะเนเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงของซากสุกรขุน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทลัยเกษตรศาสตร์.

น้ำฝน เตจ๊ะศรี. 2558. “อิทธิพลของสุกรลูกผสมทางการค้าต่อลักษณะซากและคุณภาพเนื้อ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิโลบล เนื่องตัน. 2542. **ชีวเคมี 1-2**. กรุงเทพ ฯ: คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

ประภาส มหินชัย สุรศักดิ์ โสภณจิตร และสายพิณ เจริญสนองกุล. 2548. **รายงานหารวิจัยฉบับสมบูรณ์ มูลนิธิโครงการหลวง: การคัดเลือกและการปรับปรุงพันธุ์สุกรพื้นเมืองในภาคเหนือของประเทศไทย**. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์เชียงใหม่

ปรัชญา ปรัชญลักษณ์ วิโรจน์ วนาสิทธิ ชัยวัฒน์ และ เถลิงศักดิ์ โนนทนวงศ์. 2534. “การใช้โปรตีนระดับต่างกันในอาหารสุกรลูกผสมดูร็อค-เหมยซาน.” **ฐานข้อมูลงานวิจัยสุกร: โครงการวิจัยลำดับที่ 32-1325-34**: 89-97.

พงษ์ชาญ ณ ลำปาง. 2543. หน่วยที่ 13: การปรับปรุงพันธุ์และการจัดการขยายพันธุ์สุกร. หน้า 287-331 ใน เอกสารการสอนชุดวิชาการปรับปรุงพันธุ์และการสืบพันธุ์สัตว์หน่วยที่ 8-15, คณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชาการปรับพันธุ์และสืบพันธุ์สัตว์. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรรณิภา สินะนนท์ นาม ศิริเสถียร และ สุชีพ รัตรสาร. 2524. “ผลของระดับพลังงานและโปรตีนในอาหารต่อลักษณะและคุณสมบัติของสุกร.” **สุกรสาส์น** 27 (7): 37-45.

พรรณิภา ศิวะพิรุฬห์เทพ. 2530. **การผลิตสุกรเป็นการค้า**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พร้อมลักษณ์ สมบูรณ์ปัญญากุล. 2555. **คุณค่าทางด้านโภชนาการของเนื้อโค**. [Online]. Available: http://extension.dld.go.th/th1/index.php?option=com_content&view=arti cle & id05-10-2438&Itemid=40.

ภัทรผกา ใจปินตา. 2550. “ผลของระดับโปรตีน พลังงานในอาหารและเพศที่มีต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรพื้นเมืองและลูกผสมพื้นเมือง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รณชัย สิทธิไกรพงษ์. 2540. **การผลิตสุกร**. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รัชกฤช เลิศภัทรโกมล. 2562. “การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อของสุกรขุนลูกผสมที่เกิดจากสุกรพ่อพันธุ์ปากช่อง 5 และสุกรขุนลูกผสมที่เกิดจากสุกรพ่อพันธุ์ทางการค้า.” วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ลดาวัลย์ พวงจิต. 2550. **การเจริญเติบโตและพัฒนา**. [Online]. Available: http://203.158.100.139/charud /general/1/silviculture/lesson3.1.htm

วินัย ประลมพ์กาญจน์. 2527. **การผลิตสุกร**. สงขลา: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

วินัย ประลมพ์กาญจน์ และ ผกาพรรณ สกุลมั่น. 2543. **เอกสารการสอนชุดวิชาการปรับปรุงพันธุ์และการสืบพันธุ์สัตว์ หน่วยที่ 1-7**. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ศรีสุวรรณ ชมชัย สมโภชน์ ทับเจริญ เนรมิตร สุขมณี อุทัย คันโธ สมชัย จันทร์สว่าง และ หนูจันทร์ มาตา. 2541. สมรรถภาพการผลิตสุกรทดสอบพันธุ์ ณ สถานีทดสอบกลางกำแพงแสนรุ่นที่ 1-8. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36**: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 70-78.

ศุภลักษณ์ สรภักดี. 2560. **คู่มือปฏิบัติการเทคนิคในการตรวจวัดคุณภาพเนื้อ.** กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมาคมผู้เลี้ยงสุกรแห่งชาติ. 2563. **สถานการณ์สินค้าสุกรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2564**. [Online]. Available: https://www.swinethailand.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญชัย จตุรสิทธา. 2543. **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์**. เชียงใหม่. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,

สัญชัย จตุรสิธา. 2547. **การจัดการเนื้อสัตว์.** เชียงใหม่: โรงพิมพ์มิ่งเมือง

สินชัย พารักษา. 2537 “การเลี้ยงหมู.” สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. เล่มที่ 18: 9-10.

สุทธิพงศ์ อุริยะพงศ์สรรค์. 2537. **เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์.** ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

แสงเดือน จุ้ยเพชร. 2548. “ผลของระดับโปรตีนและสารปรับสมดุลสารละลายไฟฟ้าต่อสมรรถภาพการผลิตและปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายของสุกรขุน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เหมือนฝัน โวหารกล้า. 2561. “การวิเคราะห์การแสดงออกของยีนจากข้อมูลไมโครอาร์เรย์ของเซลล์แมคโครฟาจ RAW264.7 ที่ถูกกระตุ้นด้วยไลโพพอลิแซกคาไรด์.” วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

อนันต์ ศรีปราโมช. 2545. **การเลี้ยงสุกร.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โครงการหนังสือเกษตรชุมชน.

อภิชญา พึ่งสุข. 2559. “อิทธิพลของชนิดกล้ามเนื้อต่อคุณภาพเนื้อแพะลูกผสมพันธุ์บอร์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสัตวศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อารีย์รัตน์ หนูนวล. 2550. **การตรวจหาการแสดงออกของยีนด้วยเทคนิคเรียล-ไทม์ พีซีอาร์.** [Online]. Available: https://meded.psu.ac.th/binlaApp/class02/B2_364_221/ Molecular_genetic_part2/index7.html

อุทัย คันโธ. 2529. **อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก**. นครปฐม. ภาควิชาสัตวบาล ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาเขตกำแพงแสน.

Aberle, E.D., Forrest, J.C., Gerrard, D.E. and Mills, E.W. 2001. **Principles of Meat Science.** 4th ed. Dubuque, IA: Kendall Hunt Pub

Adzitey, F., and Huda, N. 2011. “ Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meat: Causes and measures to reduce these incidences- A mini review.” **International Food Research Journal** 18(1): 11-20.

Alonso, V., Campo, M.,M., Provincial, L., Roncalés, P. and Beltrán, J. A. 2010. “Effect of Protein Level in Commercial Diets on Pork Meat Quality.” **Meat Science** 85: 7–14

AOAC. 2005. **Officials Methods of Analysis.** 18th ed. Association of official analytical chemist International, Maryland, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Brocks, L., Klont1, R.E., Buist, W., Greef, K. de, Tieman, M., and Engel, B. 2000. "The Effects of Selection of Pigs on Growth Rate vs Leanness on Histochemical Characteristics of Different Muscles." **Animal Science** 78: 1247–1254.

Buajoom, W., Chaosap, C. and Sivapirunthep, P. 2017. "The Differences and Relationship in the Gene Expression of Calpain System and Pork Tenderness between Duroc Purebred and Crossbred Pigs." **International Journal of Agricultural Technology** 13(7.1): 1167-1174.

Bulotiené, G. and Jukna, V. 2008. "The Influence of Muscle fibre Area on Pork Quality." **Veterinarija IR. Zootechika**. 42(64) : 34-37.

Carmeli, E., Moas, M., Reznick, A. Z., and Coleman, R. 2004. "Matrix Metalloproteinases and Skeletal Muscle: a Brief Review." **Muscle Nerve** 29: 191–197.

Chang, K.C., da Costa, N., Blackley, R., Southwood, O., Evans, G., Plastow, G., Wood, J.D., and Richardson, R.I. 2003. "Relationships of Myosin Heavy Chain Fibre Types to Meat Quality Traits in Traditional and Modern Pigs." **Meat Science** 64: 93–103.

Chaosap, C., Parr, T., and Wiseman, J. 2011. "Effect of Compensatory Growth on Forms of Glycogen, Postmortem Proteolysis, and Meat Quality in Pigs." **Journal Animal Science** 89: 2231-2242.

Choi, Y.S., Park, B.Y., Lee, J.M., Chae, B.J., and Lee, S.K. 2008. "Effect of Nutritional Level on The Growth and Meat Quality of Korean Native Black Pigs." **Korean Journal Food Science Animal Resource** 28: 39-44.

Coria, S.M., Reineri, P.S., Pighin, D., Barrionuevo1, M.G., Carranza, P.G., Grigioni, G., and Palma1, G.A. 2020 "Feeding strategies alter gene expression of the calpain system and meat quality in the longissimus muscle of Braford steers." **Asian-Australian Journal of Animal Science** 33: 753-762

Crawford, C. 1990. **Protein and peptide inhibitors of calpains. In: Intracellular Calcium-Dependent Proteolysis**. Boca Raton. FL: CRC

Cross, H.R., West, R.L. and Dutson, T.R. 1981. "Comparison of Methods for Measuring Sarcomere Length in Beef Semitendinosus Muscle." **Meat Science**. 5(4) : 261-266.

Edwards, D.B., Bates, R.O. and Osburn, W.N. 2003. "Evaluation of Duroc- vs. Pietrain-Sire Pigs for Carcass and Meat Quality Measures." **Journal of Animal Science** 81 : 1895-1899.

FAO. 2009. **Farmer's Handbook on Pig Production (For the small holders at village level)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fang, L, H, Jin, Y,H., Do, S, H, Hong, J, S., Kim, B, O., Han, T, H., and Kim, Y, Y. 2019 "Effects of dietary energy and crude protein levels on growth performance, blood profiles, and carcass traits in growing-finishing pigs." **Journal of Animal Science and Technology** 61(4): 204-215.

Gandolfi, G., Pomponio, L., Ertbjerg, P., Karlsson, A., Costa, L., Lametsch, R., and Davoli, R. 2011. "Investigation on CAST, CAPN1 and CAPN3 porcine gene polymorphisms and expression in relation to post-mortem calpain activity in muscle and meat quality." **Meat Science** 88(4): 694-700.

Gauthier, G. F. 1969. "On the relationship of ultrastuctural and cytochemical features to color in mammalian skeletal muscle." **Zeitschrift fur Zellforschung und mikroskopische Anatomie** 95: 463-482.

Giusti, J., Castan, E., Pai, M. D., Arrigoni, M. D. B., Baldin, S. R., and Oliveira, H. N. D. 2013. "Expression of genes related to quality of *Longissimus dorsi* muscle meat in Nellore (Bos indicus) and Canchim (5/8 *Bos taurus*×3/8 *Bos indicus*) cattle." **Meat Science** 94: 247–252.

Goerl, K, F, Eilert, S. J., Mandigo, R. W., Chen, H. Y., and Miller, P. S. 1995. "Pork Characteristics as Affected by Two Populations of Swine and Six Crude Protein Levels." **Journal of Animal Science**. 73(12): 3621–3626.

Goll, D.E., Thompson, V.F., Taylor, R.G., and Christiansen, J.A. 1992. "Role of the calpain system in muscle growth." **Biochimie** 74: 225-237.

Elstelä, H. 2019. **Swine Production.** [Online]. Available: https://slideplayer.in.th/slide/16165534/

Hemming, K.M. Parr, T. Daniel, Z.C.T.R. Picard, B. Butter, P.J. and Brameld, J.M. 2009. "Examination of myosin heavy chain isoform expression in ovine skeletal muscle." **Journal of animal science**. 87: 3915-3922.

Henderson, C., A., Gomez, C., G., Novak, S., M., and Gregorio, C., C. 2017. "Overview of the Muscle Cytoskeleton." **Comprehensive Physiology** 7(3) : 891-944.

Heyer, A. 2004. "Performance, Carcass and Meat Quality in Pigs Influence of Rearing System, Breed and Feeding" Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Hocquette, J. F., Gondret, F., Baéza, E., Médale F., Jurie, C. and Pethick, D. W. 2014. "Intramuscular fat content in meat-producing animals: development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers." **Animal** 4(2) : 303 – 319.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hwang, Y.H., Kim, G.D., Jeong, J.Y., Hur, S.J., and Joo, S.T. 2010. "The relationship between muscle fiber characteristics and meat quality traits of highly marbled Hanwoo (Korean native cattle) steers." **Meat Science** 86: 456–461.

Jeacocke, R. E. 1993. "The Concentrations of free magnesium and free calcium-ions both increase in skeletal-muscle fibers entering rigor-mortis." **Meat Science** 35: 27–45.

Ji, S. Q., Hancock, D. L., Bidwell, C. A., and Anderson, D. B. 1992. "Effect of ractopamine on expression of skeletal muscle specific calcium-dependent protease in finishing pigs fed high and low dietary protein." **Journal of Animal Science** 70 (Suppl.1) 208 (Abstr.).

Kannan, G., Gadiyaram, K.M., Galipalli, S., Carmichael, A., Kouakou, B., Pringle, T.D., McMillin, K.W., and Gelaye, S. 2006."Meat quality in goat as influenced by dietary protein and energy levels and postmortem aging." **Small Ruminant Research.** 61 : 45-52.

Kapuscinski, A. R., and Jacobson, L. D. 1987. **Genetic guidelines for fisheries management: Minnesota Sea Grant**. Minnesota: University of Minnesota Duluth.

Karlsson, A., Enfalt, A.C., Gustavssont, B.E., Lundstrom, K., Rydhmer, L., and Stern, S. 1993. "Muscle Histochemical and Biochemical Properties in Relation to Meat Quality During Selection for Increased Lean Tissue Growth Rate in Pigs." **Journal Animal Science** 71: 930-938.

Karlsson ,A., H., Klont, R., E., and Fernandez X. 1999. "Skeletal muscle fibres as factors for pork quality". **Livestock Production Science**. 60: 255–269.

Keonouchanh, S., Egerszegi I., Ratky, J., Bounthong, B., Manabe, N., and Brüssow, K.,P. 2011. "Native pig (Moo Lat) breeds in Lao PDR." **Archiv Tierzucht** 54: 600-606.

Kerry, J. and Ledward, D. 2002. **Meat Processing: Improving Quality**. New York : CRC Press

Kiczak, L., A., Tomaszek, J., Bania, U., Paslawska, M., Zacharski, A., Noszczyk-Nowak, A., Janiszewski, P., Skrzypczak, H., Ardehali, E.,A., Jankowska and Ponikowski1, P. 2013. "Expression and Complex Formation of MMP9, MMP2, NGAL, and TIMP1 in Porcine Myocardium but Not in Skeletal Muscles in Male Pigs with Tachycardia-Induced Systolic Heart Failure." **Biomedical Research International** 2013: 1-12.

Klont, R. E., Brocks, L., and Eikelenboom, G. 1998. "Muscle Fibre Type and Meat Quality." **Meat Science**. 49: 219-229.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kolczak, T., Pospiech, E., Palka, K. and Lacki, J. 2003. “Changes in structure of *psoas major* and *minor* and *semitendinosus* muscles of calves, heifers and cows during post-mortem ageing.” **Meat Science**. 64: 77-83.

Koohmaraie, M. 1992. “Role of the neutral proteinases in postmortem muscle protein degradation and meat tendernees.” **American Meat Science Association**. 45: 63-74.

Koohmaraie, M. 1996. “Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat.” **Meat Science** 43: S193–S201.

Koohmaraie, M., and Geesink, G.H. 2006. “Contribution of Postmortem Muscle Biochemistry to the Delivery of Consistent Meat Quality with Particular Focus on The Calpain System.” **Meat Science** 74: 34–43

Koohmaraie, M., Whipple, G., Kretchmar, D. H., Crouse, J. D., and Mersmann, H. J. 1991. “Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb, and pork carcasses.**”** **Journal of Animal Science** 69: 617–624.

Le Bellego, L., Milgen, J. van and Noblet, J. 2002. “Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs.” **Journal of Animal Science** 80: 691–701.

Lefaucheur L., and Gerrard D.E. 2000. “Muscle fiber plasticity in farm mammals.” **Journal of Animal Science**. 77:1-19.

Lefaucheur, L. 2006. “Myofibre typing and its relationships to growth performance and meat quality.” **Archiv fur Tierzucht Dummerstorf**. 49: 4-17.

Lengerken, G. V., Maak, S., and Wicke, M. 2002. “Muscle metabolism and meat quality of pigs and poultry.” **Veterinarija ir Zootechnika**. 20: 82-86.

Li, Y, Li, F., Wu, L., Wei, H., Liu, Y., Li, T., Tan, B., Kong, X., Yao, K., Chen, S., Wu, F., Duan, Y., and Yin, Y. 2016. “Effects of dietary protein restriction on muscle fiber characteristics and mTORC1 pathway in the skeletal muscle of growing-finishing pigs.” **Journal of Animal Science and Biotechnology** 7:47-58.

Li, Y. H., Li, F. N., Duan, Y.H., Guo, Q.P., Wen, C.Y., Wang, W.L., Huang, X.G., and Yin Y.L. 2018. “Low-protein diet improves meat quality of growing and finishing pigs through changing lipid metabolism, fiber characteristics, and free amino acid profile of the muscle.” **Journal of Animal Science** 96: 3221–3232.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lindholm-Perry A.K, Rohrer G.A., Holl J.W., Shackelford S.D., Wheeler T.L., Koohmaraie, M. and Nonneman, D. 2009. "Relationships among calpastatin single nucleotide polymorphisms, calpastatin expression and tenderness in pork longissimus." **Animal Genetics** 713-721: 1365-2052.

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/

Liu, Y., Kong,X., Jiang,G., Tan B., Deng, J., Yang, X., Li, F., Xiong, X., and Yin, Y. 2015. "Effects of dietary protein/energy ratio on growth performance, carcass trait, meat quality, and plasma metabolites in pigs of different genotypes." **Journal of animal science and biotechnology** 6:36-45.

Lomiwes, D., Farouk, M. M., Wu, G. and Young, O. A. 2014. "The development of meat tenderness is likely to be compartmentalized by ultimate pH." **Meat Science** 96(1): 646-651.

Lonergan, H., Mitsuhashi,T., Beekman, D.D., Parrish, F.C., Olson, D.G., and Robson, R.M. 1996. "Proteolysis of Specific Muscle Structural Proteins by mu-calpain at Low pH and." **Journal Animal science** 74: 993-1008.

Malloni, E., de Tullio, R., Averna, M., Tedesco, I., Salamino, F., Sparatore, B., and Ponttremoli, S. 1998. Properties of calpastatin isoforms in rat brain. **FEBS Letters**. 431: 55-58.

Marsh ,B.B., Ringkob, T.P., Russell, R.L., Swaetz, D.R. and Pagel, L.A. 1988. "Mechanisms and strategies for improving meat tenderness." 113-118. In **Reciprocal Meat conference proceeding**.

Mehenni, H. 2016. **Protein Metabolism.** [Online]. Available: https://www.slideshare.net/ hakimmehenni5/the-proteins-metabolism-67861143

Mellgren, R.L. 2008. "Structural biology: Enzyme knocked for a loop." **Nature** (456): 337-338.

Migdal, W. Radovic, C., Zivkovic, V., Gwiazda, E., Migdal, L., Migdal, A., Walczycka, M., Wesierska, E., Zajac, M., Tkaczewska, J., Kulawik, P., and Krepa-Stefanik, K. 2017. "Quality of Meat from Native Pigs." 189-203. In **Proceedings of the 11th International Symposium Modern Trends in Livestock Production**.

Mogowan, E., Moss, B., Fearon, A. and Ball, E. 2011. Effect of Breed, Finish Weight and Sex on Pork Meat and Eating Quality and Fatty Acid Profile. [Online]. Available: http://www.afbini.gov.uk.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Morgan, J. B., Wheeler, T. L., Koohmaraie, M., Savell, J. W. and Crousez, J. D. 1993. "Meat Tenderness and the Calpain Proteolytic System in Longissimus Muscle of Young Bulls and Steers." **Journal Animal Science** 71: 1471-1476.

Nagase, H. and Murphy, G. 2008. **Tailoring TIMPs for selective metalloproteinase inhibition**. New York. The Cancer Degradome, Springer Science. Netherlands.

NCBI. 2020. **CAPN1 calpain 1 [ *Sus scrofa* (pig) ].** [Online]. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?Db=gene&Cmd=DetailsSearch&Term=397027

Ngapo, T.M., Martin, J.F. and Dransfield, E. 2007. "International preferences for pork appearance: Consumer choice." **Journal Food Quality and Preference** 18: 26-36.

Nishimura. 2017. "Role of extracellular matrix in development of skeletal muscle and postmortem aging of meat." **Meat Science** 109: 48–55

Nishimura, T., and Goll, D.E. 1991. "Binding of calpain fragments to calpastatin." **Journal Biology Chemistry** 266: 11842-11850.

NRC. 1998. National Research Council. **Nutrient Requirements of Swine**. 10th Ed. National Academy Press. Washington, D. C. 189 p.

Ogura, Y., Tajrishi, M., M., Sato, S. Hindi, S. M., and Kumar, A. 2014. "Therapeutic potential of matrix metalloproteinases in Duchenne muscular dystrophy." **Frontiers in Cell and Development Biology** 2: 1-11.

Parr, T., Sensky, P. L., Scother, G. P., Bardsley, R. G., Buttery, P. J., Wood, J. D., and Warkup, C. 1999. "Immunochemical study of the calpain system in porcine longissimus muscle with high and low shear force values". **Journal Animal Science** 77 (Suppl.1): 164. (Abstr.)

Phengsavanh, P., Ogle, B., Stür, W., Frankow-Lindberg B., E. and Lindberg, J., E. 2010. "Feeding and performance of pigs in smallholder production systems in Northern Lao PDR." **Tropical Animal Health and Production** 42(8): 1627-1633.

Picard, B., Lefaucher, L., Berri, C. and Duclos, M. J. 2002. "Muscle fiber ontogenesis in farm animal species." **Reproduction Nutrition Development** 42: 415-431.

Piorkowska, K., Nowak, J., and Poltowicz, K. 2015. "The normalisation of CAPN gene expression in M. pectoralis superficialis in broiler lines differing in growth rate and their relationship to breast muscle tenderness." **British Poultry Science** 56: 452–458.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pires, V. M. R., Madeira, M. S., Dowle, A. A., Thomas, J., Almeidaa, A. M. and Pratesa, J. A. M. 2016. "Increased intramuscular fat induced by reduced dietary protein in finishing pigs: effects on the longissimus lumborum muscle proteome." **Molecular Bio Systems** 17:43-54.

Pond, W. G., Church, D. C., and Pond, K. R. 1995. **Basic Animal Nutrition**. 4th Ed. John Wiley and Sons. Inc., Florida. 1059 p.

Pringle, T.D., Williams, S.E., Lamb, B.S., Johnson, D.D., and West, L.R. 1997 "Carcass Characteristics, the Calpain Proteinase System, and Aged Tenderness of Angus and Brahman Crossbred Steers." **Journal of Animal Science** 75: 2955–2961.

Qi, Y.X., Zhang, X.H., Wang, Y.Q., Pang, Y.Z., Zhang, Z.B., Zhang T.L., and Zhang, Z.X. 2016. "Expression of MMP-1, -2, and -8 in longissimus dorsi muscle and their relationship with meat quality traits in cattle." **Genetics and Molecular Research** 15 (1): 1-8.

Rattanronchart, S. 1995. **Thai Native Pig**. [Online]. Available: http://www.angelfire.com/mi/fafontwin/thaipig.html

Ryu, Y. C. and Kim, B. C. 2005. "The relationship between muscle fiber characteristics, postmortem metabolic rate, and meat quality of pig *longissimus dorsi* muscle". **Meat Science** 71: 351-357.

Schiaffino, S. and Reggiani, C. 1996. "Molecular diversity of myofibrillar proteins, gene regulation and functional significance." **Physiological Reviews.** 76 : 371-423.

Scott, K. P., Andreas N. K., and Keith C. De R. 2004. " Mechanisms of disuse muscle atrophy: role of oxidative stress." **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology.** 288: 337–344.

Sensky, P. L., Parr, T., Scothern, G. P., Perry, A., Bardsley, R. G., Buttery, P. J., Wood, J. D. and Warkup, C. C. 1998. "Differences in the calpain enzyme system in tough and tender samples of porcine longissimus dorsi." **Proceedings of the British Society of Animal Science 16**

Sonesson, A. K., Greef, K. H. de, and Meuwissen, T. H. E. 1998. "Genetic parameters and trends of meat quality, carcass composition and performance traits in two selected lines of large white pigs." **Livestock Production Science** 57: 23–32.

Souphannavong, C. 2016. "Influence of pig breeds on growth performance and immunity during pre-weaning period." **International Journal of Environmental and Rural Development** 7-1: 22-28.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sutton, S. 2014. **Muscle Structure**. [Online]. Available: https://pixels.com/featured/1- skeletal-muscle-structure-illustration-spencer-sutton.html.

Sylvestre, M.N., Balcerzak D., Feidt C., Baracos V.E. and Brun Bellut J. 2002. "Elevated rates of collagen solubilization and post mortem degradation in muscles of lambs with high growth rates : Possible relationship with activity of matrix metalloproteinases." **Journal of Animal Science** 80: 1871-1878.

Tang, R., Yu, B., Zhang, K., Guo, X., Tian, G., Huang, Z., Chen, X., and Chen, D. 2010. "Effects of nutritional level on pork quality and gene expression of u-calpain and calpastatin in muscle of finishing pigs." **Meat Science** 85: 768–771

Vandendriessche, F., Buts, B., Claey, E., and Dendooven, R. 1984. Sarcomere length by laser diffraction and light microscopy. *In* **Proceeding 30th European Meeting of Meat Research workers.** Gent: Gent University. 110-111.

Vasupen, K., editor. 2007a. **Nutritional studies in native, Thai Kadon pigs: Carcass and meat characteristics of Kadon pigs**. Sakon Nakhon: Rajamangala University of Technology Isan.

Vasupen, K., editor. 2007b. **Nutritional studies in native, Thai Kadon pigs: Effect of increasing dietary protein level on feed intake, growth performance and nitrogen utilization in Kadon pigs**. Sakon Nakhon: Rajamangala University of Technology Isan.

Weston, A.R., Roger, R.W., Pas, and Althen, T.G. 2002. "Review: The Role of Collagen in Meat Tenderness." **The Professional Animal Scientist** 18: 107-111.

Whipple, G., Koohmaraie, M., Dikeman, M.E., Crouse, J.D., Hunt, M.C., and Klemm, R.D. 1990. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in Bos taurus and Bos indicus cattle. **Journal Animal Science** 68: 2716-2728.

Williamson, R. A., Marston, F. A., Angal, S., Koklitis, P., Panico, M., Morris, H.R., Carne, A.F., Smith, B.J., Harris, T.J., and Freedman, R.B. 1990."Disulphide bond assignment in human tissue inhibitor of metalloproteinases (TIMP)." **Biochemical Journal** 268: 267–274.

Wimmers, K., Ngu, N. T., Jennen, D. G. J., Tesfaye, D., Murani, E., Schellander, K., and Ponsuksili, S. 2008. "Relationship between myosin heavy chain isoform expression and muscling in several diverse pig breeds." **Journal of Animal Science** 86: 795–803.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ก** สุกรพื้นเมืองไทยจากแต่ละภูมิภาค

ภาคเหนือ-จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ภาคใต้-จังหวัดนครศรีธรรมราช

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ-จังหวัดอุบลราชธานี

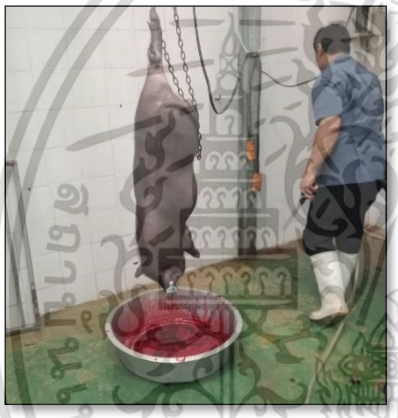
ลักษณะการเลี้ยงในคอกขังเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข** กระบวนการฆ่าสุกร

1. สุกรอยู่ในคอกพักสัตว์

2. ทำสลบสุกรด้วยเครื่องช็อตไฟฟ้า



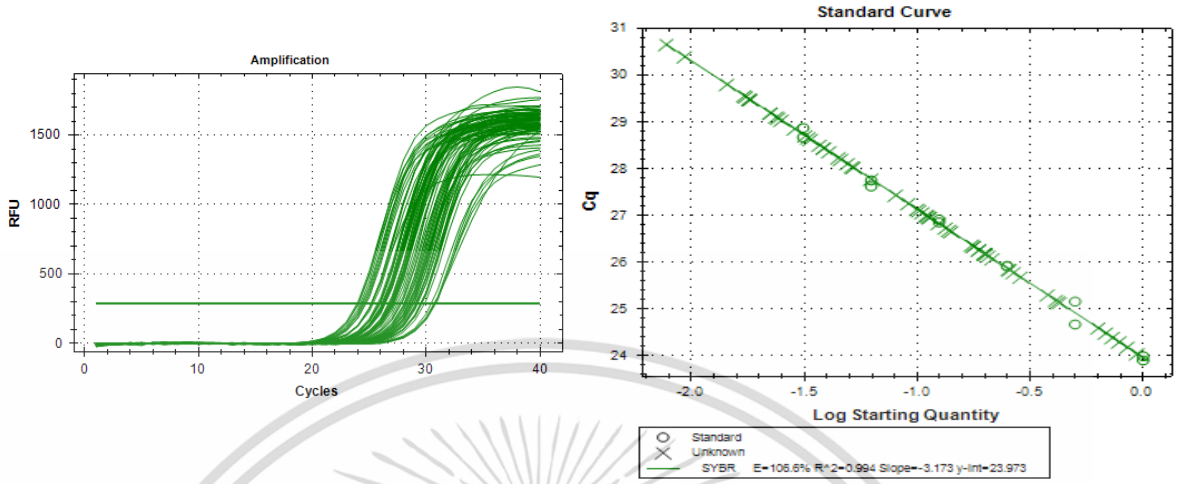
3. แทงคอแล้วนำเลือดออก

4. นำสุกรเข้าเครื่องขูดขนและลวกซาก (อุณหภูมิ 60 c)

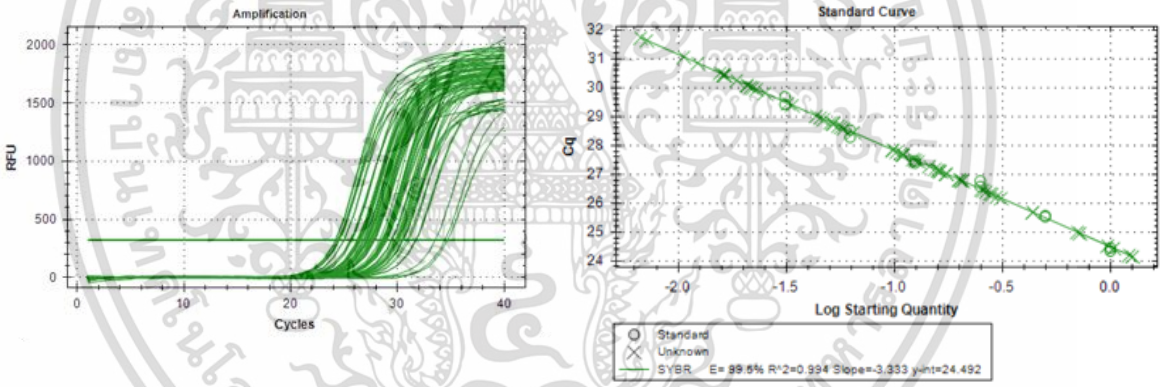
5. ตัดหัวแล้วผ่าซากสุกรด้วยเลื่อยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

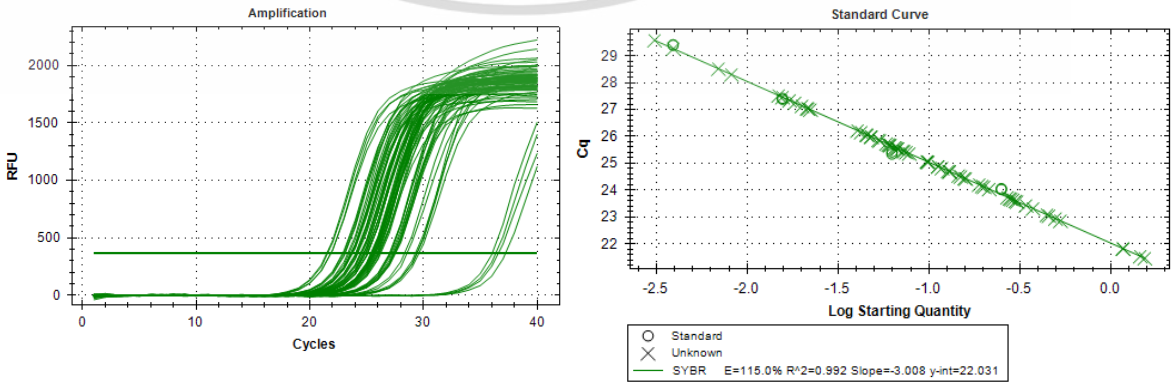
**ภาคผนวก ค** จำนวนรอบ (Cycle) และ Standard Curve ของการหาปริมาณการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพเนื้อด้วยเทคนิค Real-time PCR




Calpain1 (CAPN1)

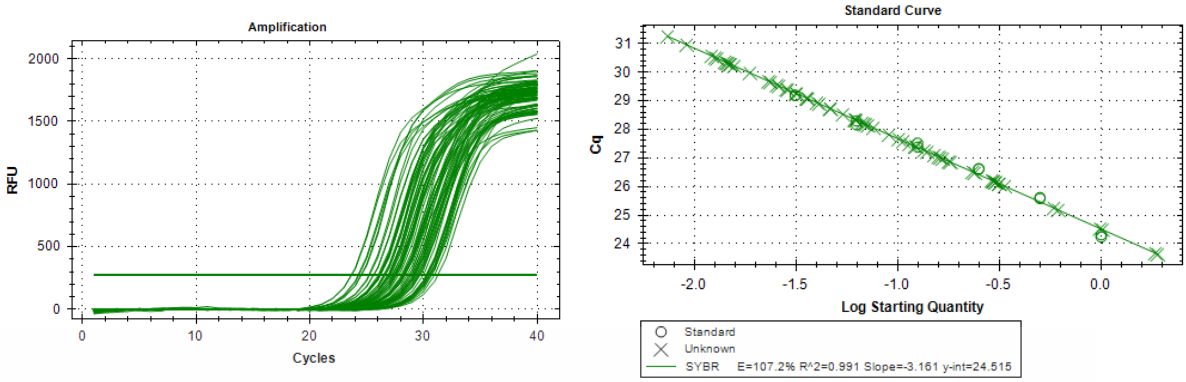



Calpain2 (CAPN2)

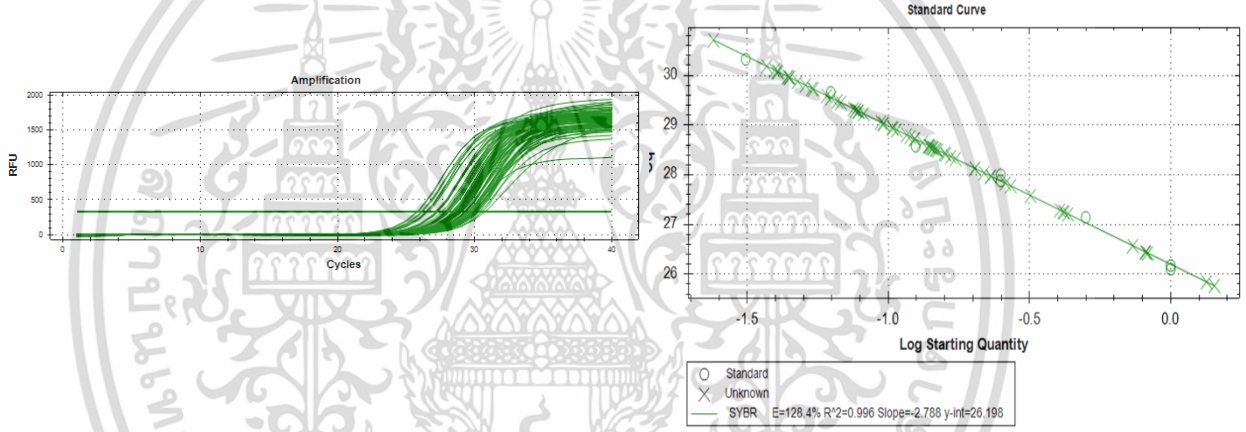



Calpastatin (CAST)

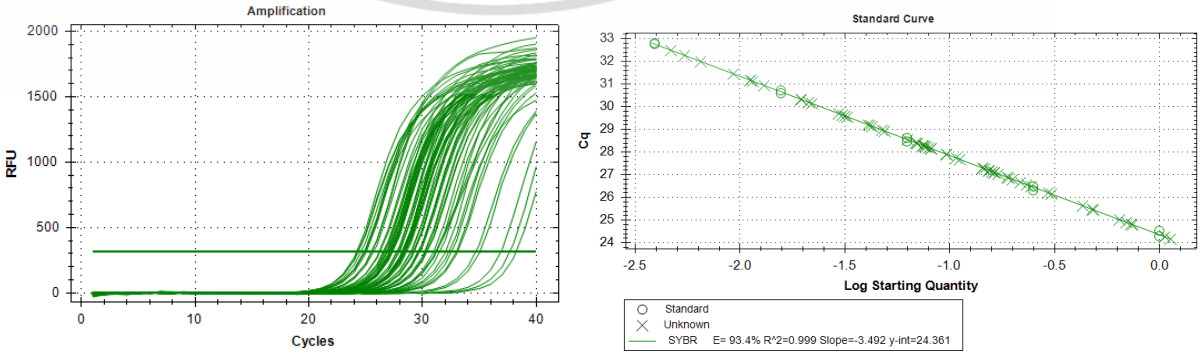
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




Matrix Metalloproteinase (MMP2)

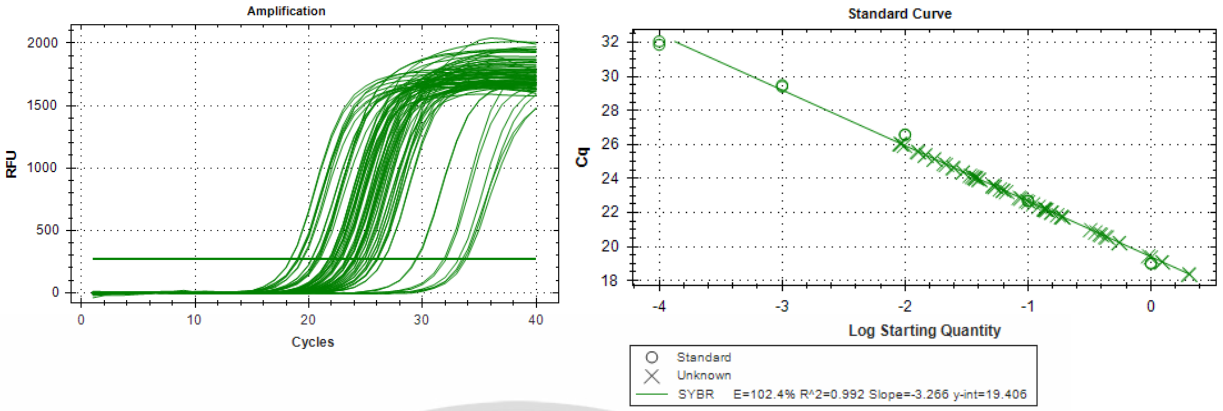



Tissue Inhibitor of Matrix Metalloproteinase (TIMP1)

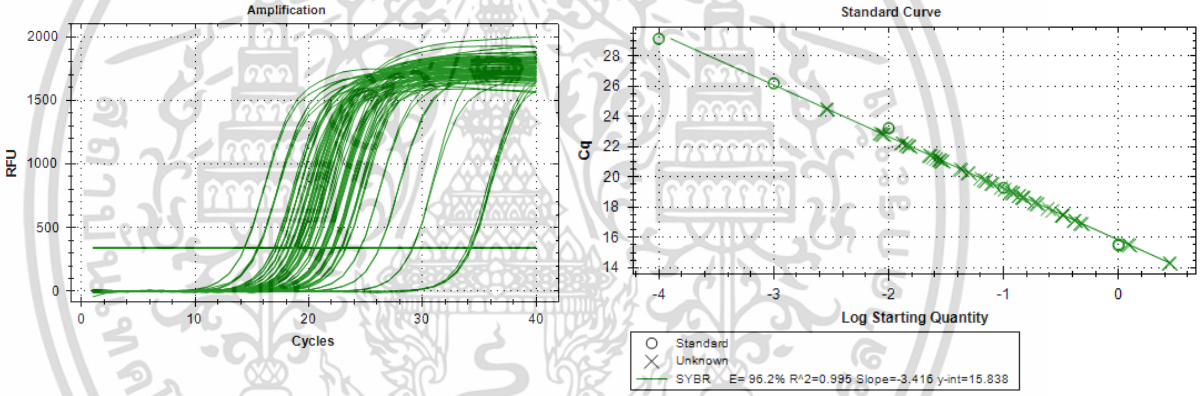



MyHC-I

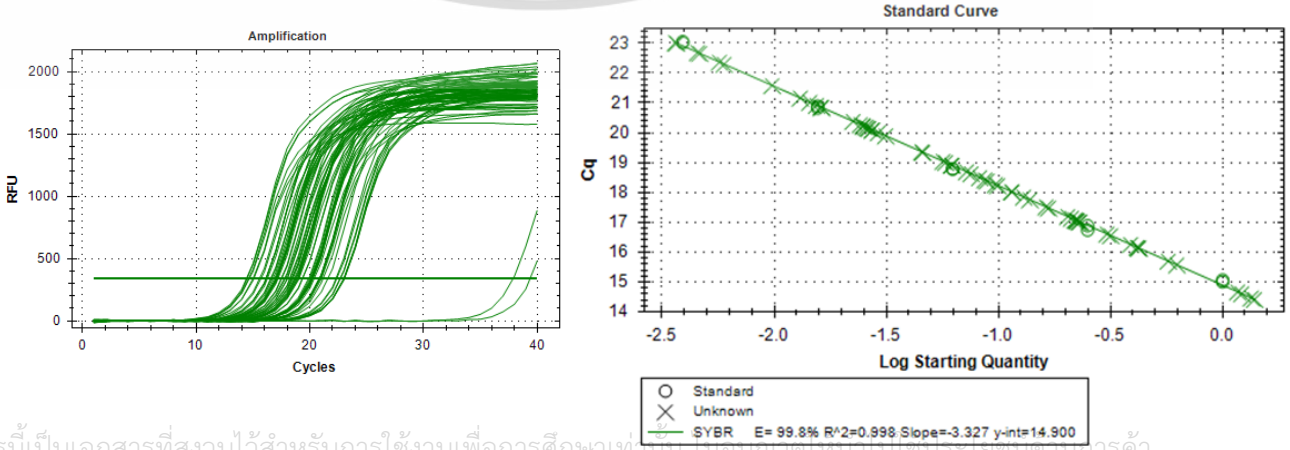
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




MyHC-IIa




MyHC-IIx




MyHC-IIb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นางสาวเนตรอนงค์ ผลเกตุ |
| วัน เดือน ปีเกิด | 30 กันยายน 2538 |
| ที่อยู่ | 11 หมู่ 11 ตำบลบ้านข่อย อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000 |
| ประวัติการศึกษา | 2560 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสัตว์ศาสตร์ (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาเทคโนโลยีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ผลงานวิชาการ | ผลงานตีพิมพ์ “ผลของระดับโปรตีนในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพซาก และคุณภาพเนื้อของสุกรพื้นเมืองไทย” วารสารเกษตรพระจอมเกล้าปีที่ 39 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มีนาคม) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้